

VOL. 30(1) ENERO - JUNIO, 2018

REVISTA científica unet

Universidad Nacional Experimental del Táchira
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA



DEPÓSITO LEGAL: P.P. 87-0343
ISSN: 1316-869X11C
REVENCYT: RVR 001
LATINDEX CATÁLOGO
FONACIT: REG-2006000001



**UNIVERSIDAD NACIONAL
EXPERIMENTAL DEL TÁCHIRA**

Raúl Casanova Ostos
Rector
Alexander Contreras
Vicerrector Académico
Martín Paz
Vicerrector Administrativo
Elcy Yudit Núñez
Secretaría
Silverio Bonilla
Decano de Docencia
José A. Molina
Decano de Extensión
Lissette Santos
Decano de Desarrollo Estudiantil
Luis Villanueva
Decano de Investigación
Miguel García
Decano de Postgrado



CONSEJO EDITORIAL FEUNET

Decanato de Investigación
Ildefonso Méndez Salcedo
Juan C. Zambrano
Decanato de Docencia
Jhon E. Amaya
María E. Porras
Decanato de Extensión
Ronald Angola
Salvador Galiano
Decanato de Postgrado
Mary C. Bernal
Yennifer Rojas
Decanato de Desarrollo Estudiantil
Blanca Figueras
María G. Roperio



creative commons

**COMITÉ EDITORIAL
REVISTA CIENTÍFICA UNET**

DIRECTOR
Luis Villanueva

EDITOR JEFE
Gustavo Perruolo L.

INDUSTRIAL
María Josefina Torres
José Andrickson
Jhon Amaya
Ángel Gil

SOCIO ECONÓMICO CULTURAL

Luis Villanueva
Solvey Romero
Rosalba Bortone
Josefina Balbo
Ildefonso Méndez Salcedo
Luis Salazar
María Gabriela Rivero
Sara Medina
Darcy Carrero

CIENCIAS EXACTAS

Gustavo Perruolo
Willian Tovar
Irma Sanabria
América Quintero
Arelis Díaz
Luis Bautista

AGROPECUARIA

Alexis Valery
Ramón Zambrano
Eudi Arellano
Bridget Moreno
Norelys Rodríguez

Melissa Manrique; Jesús Darío Lara;
Rosa Corzo

Revisión ortotipográfica

Luz Ángela Cañas; Belkys Moncada;
Clevia Pérez.

Revisión resumen en inglés

Carolina Wong
Diagramación y Montaje

Karina Torres; Lizzey Silva; Gabriela
Duarte
Diseño de Portada

REVISTA CIENTÍFICA UNET

La Revista Científica UNET es un órgano divulgativo de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, cuyo objetivo es difundir primordialmente los productos de investigación. Abarca las diferentes áreas de las Ciencias: Físicas, Matemáticas, Biológicas, Sociales, de la Tierra y del Medio Ambiente. En ésta se publican todos aquellos artículos originales aprobados por el Comité Editorial, producidos tanto por el personal de la UNET como de otras instituciones nacionales e internacionales, previa solicitud escrita por parte de los interesados.

La Revista Científica UNET es una revista venezolana, de actualización científica,

creada por el Consejo Universitario de la UNET N° 003.88 de 12 de febrero de 1988, apareciendo su primer número el 10 de noviembre de 1987. La Revista es arbitrada por destacados investigadores internacionales, nacionales y regionales. A lo largo de los últimos años se ha venido consolidando en varios aspectos, tales como: 1.) Soporte tecnológico, que incluye administrador de contenidos y administrador de base de datos de usuarios inscritos a través de la lista de canje y donación de la Biblioteca UNET; 2.) Periodicidad a través de la regularización de su publicación semestral garantizando los dos números por año; 3.) Digitalización de los artículos para ser colocados en servidores Web.

Para contactos dirigirse a:

Comité Editorial de Revista Científica UNET, Universidad Nacional Experimental del Táchira, Decanato de Investigación, Avenida Universidad Paramillo, San Cristóbal, Estado Táchira. República Bolivariana de Venezuela.
Teléfono: 0276-3530422 Ext. (313 - 314- 404) / Telefax 0276 - 3532454. 3532949).

Apartado Postal 02 IPOSTEL-UNET.

Correo Electrónico: rcunet@unet.edu.ve

Se aceptan canjes con instituciones académicas y gubernamentales nacionales e internacionales, las cuales publiquen o distribuyan con carácter periódico, revistas, publicaciones o informes estadísticos.

EDITORIAL

***“Musa de la verdad. Verbo infinito.
Dad vuestro apoyo al que os demanda
aliento”***

Félix Rubén (Darío) García Sarmiento (1867-1916)

Por nervadura y firmamento académico me uno a las consignas del corazón y del trabajo cotidiano, bajo los aleros de mi familia que me los brindó y de la Universidad que hemos amado con hidalguía, lealtad y firmeza de principios. Siempre he actuado, en medio de la vorágine, de los fulgores y penumbras, con humildad, amplitud, generosidad y ferviente apego a nuestras convicciones democráticas y universitarias.

He procurado, junto a mis sueños, alentar proyectos e iniciativas nacidas de la capacidad creadora de nuestros investigadores, científicos, profesores e intelectuales, pues creo en las ensoñaciones de todos los hombres y en la materia cristalina de las utopías cuando en sus arterias circula la sabia del trabajo que fecunda, vigoriza y enaltece nuestra institución.

Todos sabemos que la actividad científica es un modo de *ser*; de *hacer*; de *sentir* y tiene que ver con la producción seria y sistematizada del conocimiento, una mezcla de razón y emoción, de ilusión y de pasión. Concebimos, que la investigación alimenta a la enseñanza y nos lanza al mundo, abre la casa mental. Por eso, cuando se hace investigación es necesario salir de la dimensión doméstica y entender que, en cualquier país, la universidad es la mayor productora de conocimientos científicos. Pero, cabe la crítica de que no son muchos los que están comprometidos e implicados oficialmente en dicha búsqueda.

No obstante, hoy, después de un periplo de ausencia involuntaria, retomamos la verdadera universidad; renace desde el Decanato de Investigación el “Congreso Binacional de Investigación UNET 2018, *Un espacio para la innovación y el desarrollo*” y un intervalo para mostrar lo que se hace aquí y allá. Y esto ocurre como señal de vitalidad académica, de creatividad y de salud intelectual, que están por encima de cualquiera otros intereses.

Las naves del destino nos unen de nuevo en esta importante gesta de investigación, enraizada a la mejor tradición de trabajo y emprendimiento del

pueblo tachirense y de nuestra universidad; a los causes del agua en permanente vigilia de nuestros riachuelos; este 2018, a las neblinas impolutas y aposentadas en las montañas que desafían la calidez del trópico venezolano.

Y como resultado de este evento binacional se reporta, en este volumen de la *Revista Científica UNET*, la productividad generada desde muchos espacios de nuestra institución como de otras latitudes científicas, mostrándose como una chimenea de cualquier vivienda de nuestros campos, no emanado bulla ni humo, sino brotando conocimiento.

Muy a pesar de la situación socio-económica-política por la cual atraviesa el país y de otras razones, la UNET y el Decanato de Investigación continúan generando y visibilizando saberes, como poder atrayente para el acercamiento de la triada Universidad-Empresa-Gobierno, en aras de fomentar el turismo económico y cultural; el desarrollo de nuestro estado, del País y de la alianza permanente con Colombia.

Como egresado UNET, Exdecano de Investigación, como Docente Investigador y hoy como Rector de esta Casa de Estudios Superiores, me siento muy orgulloso de prologar esta edición de la *Revista Científica UNET*. Más allá de la pujanza en la lucha por la vida académica; lo hago también para reconocer la labor del Decanato de Investigación, en el Decano *Luis Villanueva Salas* y su equipo, por la voluntad y búsqueda de tiempos y espacios para fortalecer la vocación humanista y los principios y valores que deben regir la sociedad del conocimiento.

Finalmente, a todos lo que creyeron en este proyecto, a nuestros investigadores y a ustedes amigos lectores, ¡Gracias! y sigamos siendo perseverantes en el Trabajo y en el Amor, con Mística y Pasión, con Fe y Esperanza, para que la UNET y la universidad venezolana permanezcan como horizonte y taller de excelencia, fragua de la Venezuela del mañana.

Raúl Alberto CASANOVA-OSTOS

Rector UNET

PRESENTACIÓN

En el marco del 44º aniversario de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), se consideró pertinente generar un encuentro de saberes y experiencias académicas producto del esfuerzo y talento de ese capital humano que da y hace vida en las universidades e instituciones públicas y privadas.

Bajo esa premisa, el Decanato de Investigación UNET (DI-UNET) se planteó llevar a cabo el Congreso Binacional de Investigación UNET 2018, con el objetivo de ofrecer un espacio para intercambiar experiencias investigativas y potenciar la divulgación científica, dentro del contexto de la innovación y el desarrollo, en un ámbito territorial binacional, específicamente en esa relación histórica, social-cultural y económica entre Colombia y Venezuela.

Para este evento académico-científico se definieron cuatro áreas temáticas: Agropecuaria, Industrial, Socio-Económico-Cultural y Ciencias Exactas y Naturales; a partir de allí, se inició la convocatoria a nivel nacional e internacional, obteniendo una amplia receptividad por parte de estudiantes, profesores, investigadores, profesionales e instituciones públicas y privadas.

Como canal de difusión y visibilidad de las investigaciones participantes, se establecieron dos formatos de manera concurrente: la publicación de artículos científicos en las dos revistas arbitradas de la UNET, *Revista Científica UNET* y *Scitus*; a su vez, la presentación de ponencias en vídeo para promover la interacción y comunicación asíncrona desde la virtualidad, durante la realización del evento en el mes de octubre de 2018. En el desarrollo de esta estrategia de gestión del conocimiento, se cumplieron todos los parámetros editoriales de ambas revistas, tales como el arbitraje de pares nacionales y extranjeros en modalidad doble ciego, la revisión ortotipográfica y la traducción de los resúmenes al idioma inglés.

La materialización del Congreso Binacional de Investigación UNET 2018, y los productos editoriales compendiados, han sido posibles por el respaldo de Dios en primer lugar, y el trabajo, compromiso y actitud positiva del talento humano de la UNET, representado por el personal del Decanato de Investigación, la Coordinación de Estudios a Distancia y el Centro de Estudios en Teleinformática; con el apoyo del Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo, Secretaría, Dirección de Recursos Humanos, Administración Central, Dirección de Comunicación y Relaciones Interinstitucionales, entre otros.

La planificación, desarrollo y control de las actividades del Congreso, estuvo a cargo de equipos de trabajo integrados de la siguiente forma:

Comité Organizador Central: Luis Villanueva y MaryTahís Mogollón.

Comité de Administración y Finanzas: Karin Ramírez y María Teresa Varela.

Comité de Soporte Tecnológico: Jaime Salcedo, Greicy Barreto y Luz Mary Moncada.

Comité de Publicidad y Mercadeo: María Teresa Varela y Yajaira Moreno.

Comité de Divulgación y Publicaciones: Ildefonso Méndez Salcedo, Gustavo Perruolo, Jesús Darío Lara, Carolina Wong, Dorkis Cárdenas y Ubaldo Girardi.

Revisión ortotipográfica: Melissa Manrique, Jesús Darío Lara y Rosa Corzo.

Revisión de resúmenes en inglés: Luz Ángela Cañas, Belkys Moncada y Clevia Pérez.

Comités editoriales por área, encargados de la asignación de árbitros y auditoría de calidad de los productos para la *Revista Científica UNET*:

Industrial: Ángel Gil, Jesús Marcey García, Franklin Duarte, Belkis Amador, Marta Ugueto, Maritza Sierra, Jhon Amaya, César Contreras, Marcel García y Yesenia Villamizar.

Agropecuaria: Alexis Válery, Bridget Moreno, Norelys Rodríguez, Ramón Zambrano e Isabel Soto.

Ciencias exactas y naturales: Marcos Cárdenas, América Quintero, Marisabel Vivas, Tania Peña, Atilio Guerrero, Cleomary Oliveros, Maicol Castillo, Darcy Carrero, Gustavo Perruolo, Ysbelia Sánchez y Martha Galanti.

Socio-Económico-Cultural: Ana Rita Delgado, Ivonn Olivares, Josefina Balbo, Damaris González, Yovanni Ruiz, Irma Sanabria, Jaime Salcedo, Norma García, María Gabriela Rivera, María Eugenia Porras, Solvey Romero, Carolina Madriz, Reggie Barrera, Jesús Zambrano Gómez, Edgardo José Ramírez y Dayci Thaís Contreras.

Los invitamos a explorar los trabajos científicos que conforman esta revista, los cuales representan una valiosa oportunidad para socializar el conocimiento y dejar constancia de los aportes que, desde el contexto binacional y global, se están generando para dar respuesta a necesidades específicas en las diferentes disciplinas. Finalmente, queremos agradecer a todos los que hicieron posible este evento y la divulgación de tan importantes productos científicos: conferencistas, investigadores, articulistas, participantes, organizadores y patrocinantes, así como a ustedes estimados lectores que ávidos de conocimiento nos permiten llegar hasta su pantalla. A todos muchas gracias y bendiciones.

Dr. Arq. Luis Ramón Villanueva Salas
Decano de Investigación UNET

*El corazón del prudente adquiere conocimiento, y el oído del sabio busca la ciencia.
Proverbios 18:15*



ÍNDICE

CONFERENCIA

- ¿CUÁL ES LA INFLUENCIA DE LA INTENCIÓN DEL EXPERIMENTADOR EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA? 3
Reyes, Isbelia

INDUSTRIAL

- OPTIMIZACIÓN DEL FILTRO DE KALMAN EXTENDIDO MEDIANTE ALGORITMOS MEMÉTICOS 17
Amaya, Jhon; Tarazona, María
- IDENTIFICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE UN ROBOT MÓVIL DIFERENCIAL A TRAVÉS DE UN PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL 28
Reyes, Jesús; García, Jesús; Sánchez, Gerardo; Gil, Ángel
- CONTROL DE UN PÉNDULO INVERTIDO USANDO EL FILTRO DE KALMAN EXTENDIDO PARA LA ESTIMACIÓN SIMULTÁNEA DE ESTADOS Y PARÁMETROS INCIERTOS 38
Tarazona, María; Rodríguez, José
- HERRAMIENTAS 2.0 PARA FOMENTAR EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE LOS CONTENIDOS MATEMÁTICOS EN LA CARRERA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL 48
Peña, Tania; Barbosa, Alexandro; Zambrano, Ramón
- ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO MÍNIMO Y MÁXIMO RECOMENDADO PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS DE INGENIERÍA 56
Castro, Alexis; Sánchez, Gustavo
- CONTROL DIFUSO DE ESTRUCTURA VARIABLE PARA UN PROCESO DE EVAPORACIÓN DE CIRCULACIÓN FORZADA 67
Requez, Juan; Strefezza, Miguel; Sánchez, Gustavo; Granado, Ernesto
- HORNO CERÁMICO SUSTENTABLE PARA PRODUCTOS ARTESANALES DE ARCILLA EN LATINOAMÉRICA. CASO: MÉXICO 80
Díaz, Juan; Suárez, Gustavo; García, Francisco; Rosales, Wilber; Reina, Jesús; Zambrano, Heidy
- CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN CLIMAS TROPICALES LATINOAMERICANOS 91
Agudelo, Nancy; Ramírez, Rodrigo; Sainz, Luis

AGROPECUARIA

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CLOROFILA Y NITRÓGENO EN PLANTAS DE PIMENTÓN INOCULADAS CON BACTERIAS RIZOSFÉRICAS 105
Castro, Yulimar; Blanco, Erika
- EFFECTO DE CEPAS NO PATOGENICAS DE *Fusarium oxysporum* (ASCOMYCOTA: NECTRIACEAE) EN PLÁNTULAS DE TOMATE, PEPINO Y CEBOLLA 113
Bautista, Luis; Granados, Liliana

INCIDENCIA DE LA INOCULACIÓN CON MICROORGANISMOS RIZOSFÉRICOS BENÉFICOS Y ROCA FOSFÓRICA SOBRE EL CRECIMIENTO DEL PIMENTÓN (<i>Capsicum annuum</i> L.) Sánchez, Luberto; Reyes, Isbelia	122
APLICACIONES DE GALLINAZA Y <i>Trichoderma harzianum</i> EN EL DESARROLLO DE <i>Solanum tuberosum</i> VAR. GRANOLA Roa María; Bautista, Luis	129
EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN LÍQUIDA O GRANULADA DE <i>TRICHODERMA</i> SPP. PARA PROMOVER EL CRECIMIENTO DE <i>ALLIUMCEPA</i> Y <i>LACTUCA SATIVA</i> Roche, Laura; Vera, Rosa; Galvis, Johana; Moreno, Bridget	139
EFFECTO DE EXTRACTOS ETANÓLICOS DE <i>Cymbopogon citratus</i> Y <i>Lippia micromera</i> SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO DE <i>Alternaria</i> sp. Escalante, Marlyn; Briceño, Tito; Barbosa, Alexandro	150
PATOGENICIDAD DE CEPAS NATIVAS DE <i>Metarhizium anisopliae</i> SOBRE LARVAS DE <i>Phyllophaga</i> spp. (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE) Bautista, Luis; Peña, Yury; Gutiérrez, Yusleindy	158
CITOGENÉTICA CONVENCIONAL Y MOLECULAR APLICADAS A PROPUESTAS DE FITOMEJORAMIENTO EN <i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f. Sánchez, Ysbelia; Raymúndez, María; Imery, José	167
ESTANDARIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE PROTOCOLO PARA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN MATERIAS PRIMAS AGROALIMENTARIAS Rodríguez, Ulfe; Mora, Robert; Herrera, Ana; Valduz, Zuleima	179
DIFERENTES MÉTODOS DE CURADO EN PIERNAS DE OVINO MAYOR Y CORDERO Lendewig, Helmut; Casique, Maida	190
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE EVENTOS PRODUCTIVOS EN REBAÑOS BOVINOS DE LECHE Cuadros, Jean; Useche, Miguel; Zambrano, Ramón	199

SOCIO ECONÓMICO

ANÁLISIS Y CATEGORIZACIÓN DE LOS ERRORES ESTADÍSTICOS EN LOS TRABAJOS DE GRADO Gandica, Elizabeth	211
LA ACCION DEL RECONOCIMIENTO: CLAVE EN EL APRENDIZAJE PROYECTUAL Rivera, María	221
LA ARQUITECTURA DE LOS EDIFICIOS RECREACIONALES CONSTRUIDOS EN SAN CRISTÓBAL (1952 – 1958) García, Viviana	230
ARQUITECTURA A “RETAZOS”: LA IMAGEN DEL SECTOR DE BARRIO OBRERO EN SAN CRISTÓBAL, TÁCHIRA. VENEZUELA Duque, Yasmin	242
EVOLUCIÓN DE LA INFECCIÓN POR VIH EN PACIENTES MEDICADOS CON COINFECCIÓN VIH/HEPATITIS B. Timaure, Rossana; Orlandoni, Giampaolo; Ramoni, Josefa; Valeri, Lenin	253

CIENCIAS EXACTAS

PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE SUERO CONCENTRADO DE QUESO UTILIZANDO LA LEVADURA <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Betancor, Rafael; Quintero, América; Trujillo, Antonio	267

EFFECTO DEL FENOL ÁCIDO Y BÁSICO EN LA PURIFICACIÓN DE PROTEÍNAS APOLARES DEL SUELO Abreu, Érika; Almarza, Jorge; Ruiz, Claudia; Camargo, Danny; Linares, Clemente; Camargo, Daniela.	274
ESTUDIO TEÓRICO DE LA BIODISPONIBILIDAD Y RECONOCIMIENTO MOLECULAR ENTRE METABOLITOS SECUNDARIOS DE <i>Euphorbia hirta</i> L. Y α,β -TUBULINA Marcano, Emildo; Sánchez, Ysbelia; Canelón, Yerinson	283
ÍNDICE EPT COMO BIOINDICADOR DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA ALTAD DEL RÍO TORBES, TÁCHIRA, VENEZUELA Perruolo, Gustavo; Chacón, Andrés; Tovar, William	293
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LA ESPECTROFOMETRÍA MONITOREANDO LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL EN UN REACTOR ANAERÓBICO Duarte, Orlando; Sánchez, Lenis; Cárdenas, Marcos; Cantão, Mauricio; Possetti, Gustavo; Aisse, Miguel	302
TRATAMIENTO EFICIENTE DE RESIDUOS LÍQUIDOS CON FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE DE TRES FASES (TRI-FAFS) Maldonado, Julio; Rodríguez, Jarson; Márquez, Adriana	313
MATERIAL ECOLÓGICO CON FINES DE EMBALAJE A PARTIR DEL HONGO <i>Pleurotus ostreatus</i> Y RESIDUOS ORGÁNICOS AGROINDUSTRIALES Colmenares, Elicel; Bautista, Luis; Oliveros, Cleomary	324
TEOREMAS DE REPRESENTACIÓN DE RELACIONES DE CONSECUENCIA NO MONÓTONAS SOBRE SEMIÓRDENES Díaz, Janneth	333
ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES DE OXOCARBONOS COMO INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL URBANA Morantes, Giobertti; Giraud, Loraine	339

CONFERENCIA

CONFERENCIA

¿CUÁL ES LA INFLUENCIA DE LA INTENCIÓN DEL EXPERIMENTADOR EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA?

WHAT IS THE INFLUENCE OF THE RESEARCHER'S INTENTION IN THE SCIENTIFIC RESEARCH?

Autor:**Reyes, Isbelia**Laboratorio de Biofertilizantes. Decanato de Investigación.
Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela**Corresponding Author:** isreyes@unet.edu.ve**RESUMEN**

Un experimento consiste en someter el objeto de estudio a la influencia de ciertas variables o estímulos en condiciones controladas con el uso de testigos o blancos, con el fin de conocer el efecto de las variables introducidas y evitar el efecto de las creencias, expectativas e intenciones del investigador. Si el experimentador interviene sobre el objeto de estudio y la mayoría de las investigaciones realizadas excluyen este aspecto en el diseño experimental, podríamos estar al frente de experimentos con resultados que presenten como mínimo alta variabilidad, aceptando la hipótesis nula. Por tanto, existen evidencias acerca de la intervención de las actitudes y expectativas del experimentador en los resultados del experimento. El objetivo de este trabajo es mostrar, a través de diferentes áreas del conocimiento científico y a la luz de las nuevas teorías, la influencia de la intención del investigador (observador) sobre los resultados obtenidos. Y, si aquello determinante en los cambios de la realidad observada es la conciencia o el subconsciente del individuo, ¿cómo podríamos proteger nuestro experimento? En la actualidad, grupos de investigadores de las ciencias físicas, geofísicas, químicas, biológicas y médicas, así como en el desarrollo tecnológico, se integran al conocimiento de los campos electromagnéticos del planeta, de todos los seres vivos y sus manifestaciones en el medio ambiente; incluso, de las energías sutiles basadas en la emisión de energías de la psique y dirigidas por la intención de la mente. Asimismo, como componente básico de la vida, el agua estructurada y su capacidad de memoria ejecutan la dirección de la realidad observada como reflejo de nuestra mente y nuestra intención. Actualmente, dentro del paradigma cuántico de la comprensión del Mundo y del Universo, se empieza a reconocer al pensamiento humano como el director de orquesta de la realidad observada.

ABSTRACT

An experiment consists of exposing the study's object to certain variables under controlled conditions, and comparing them with a set of controls. This is needed in order to know the effect of the introduced variables while avoiding the effect of expectations, beliefs or intentions of the researcher (observer). But if the researcher has the ability to affect the results of the study's object, and the majority of the research designs exclude that aspect in the experimental design, we could have experiments with results presenting at least high variability, and then accepting the null hypothesis. However, there is evidence that shows that the experimenter's attitudes and expectations may affect the results of the experiment. The aim of this dissertation is to show, through different areas of scientific knowledge and updated sources, that the intention of the researcher could be affecting the obtained results. Therefore, if what affects the changes in the reality that we observe is the conscious or the subconscious mind of the individual, then, how could one protect the experiment? Nowadays, groups of researchers in the physical, geophysical, chemical, biological, and medical sciences, as well as technological advancement, integrate such knowledge with that of the planet's electromagnetic fields, and of all the living being's manifestations in the environment. Moreover, the subtle energies based on the energy emissions of the psyche may be directed by the intention of the mind. Furthermore, the memory capacity of structured water, a basic component of life, can direct the observed reality, which is also reflected by our mind and our intention. It is inside this quantum paradigm, based on the comprehension of this world and universe that we begin to recognize the human thought as the one which directs the observed reality.

Palabras clave: mente, campos electromagnéticos, energía sutil, agua estructurada.**Key words:** mind, electromagnetic fields, subtle energy, structured water.

INTRODUCCIÓN

El diseño de una investigación es el momento metodológico donde se define cómo se va a llevar a cabo la estrategia para responder a las preguntas del investigador. El diseño experimental es de importancia dentro del desarrollo de la ciencia, en especial, de las ciencias naturales, con significativas aportaciones tecnológicas y prácticas. Así, un experimento consiste en someter el objeto de estudio a la influencia de ciertas variables o estímulos, en condiciones controladas y conocidas por el investigador. El objetivo de un experimento es, por tanto, proporcionar un modelo de verificación para el contraste de hechos con teorías, pudiendo ser validado por cualquier otro investigador (Sabino, 1992).

En toda investigación experimental se utilizan testigos o blancos para conocer el efecto de las variables introducidas. Asimismo, para evitar el efecto de las expectativas, creencias o intenciones del investigador, principalmente en investigaciones clínicas y psicológicas, se ha establecido el uso, más o menos común, de diseños de doble ciego. Sin embargo, existen evidencias de que las creencias, actitudes y expectativas del experimentador u observador pueden influir considerablemente en los resultados del experimento. El objetivo de esta investigación documental, más allá de la estadística y de la psicología, es mostrar con las nuevas hipótesis y teorías del desarrollo del conocimiento científico la influencia más allá de lo esperado, de la intención del investigador u observador, pudiendo darse un sesgo de los resultados obtenidos en la mayoría de las investigaciones, sean ellas de orden social (Gilder y Heerey, 2018) o de las ciencias exactas y naturales. Dentro de estas últimas, la actualización del conocimiento con las nuevas teorías y paradigmas en las áreas básicas del saber, tales como la física, la biología, la química, la medicina, la neuropsicología y el desarrollo de las tecnologías, les invito a *descubrir* el poder de ese algo aún desconocido, como lo es la mente humana y a reconsiderar las bases y metodologías asumidas por el método científico como han sido abordadas hasta ahora.

¿Para qué experimentar con *simple*, *doble* y *triple ciego* en la investigación científica?

Las técnicas de enmascaramiento tienden a utilizarse de forma discriminatoria según la disciplina. En la técnica del *simple ciego*, el objeto de la investigación desconoce el tratamiento recibido, o el grupo asignado, pero no el investigador. Esta técnica, generalmente, se usa en la mayoría de las ciencias naturales y humanistas. En la del *doble ciego*, ni los individuos objeto de la investigación, ni los investigadores saben quién pertenece al grupo de control y quién al grupo experimental. Solamente, después de haberse registrado y, en algunos casos, analizado todos los datos los investigadores conocen qué individuos pertenecen a cada grupo. En el diseño *triple ciego* el análisis y evaluación de los datos se hace sin conocer la identidad del grupo, es decir, el estadístico que interpreta los resultados tampoco sabe la intervención hecha. En el doble y triple ciego, solamente después de haberse analizado todos los datos, y concluido el experimento, los investigadores conocen qué individuos pertenecen a cada grupo.

Usualmente, en la experimentación clínica las técnicas de doble y triple ciego intentan disminuir el efecto placebo en el sujeto de estudio y la influencia de las expectativas del observador sobre los resultados; pero estas técnicas son raramente utilizadas en otras áreas de la ciencia. En una encuesta científica realizada entre 1996 y 1999, Sheldrake (1999) abordó 1548 artículos científicos con resultados experimentales publicados en revistas arbitradas, encontrando solo un 5,94 % con respaldo de métodos de Simple y Doble Ciego; la Parapsicología mostró su uso en 85,2 % y las Ciencias Médicas en 24,2 %. Las demás áreas de conocimiento evaluadas (Química, Física, Biología, Psicología) mostraron menos de 5 %. Muchos investigadores atribuyen el aumento del error solo al objeto de estudio y a las variaciones ambientales y no tanto al experimentador; además, consideran a estas metodologías innecesarias en las ciencias duras. Sin embargo, si el experimentador influye sobre el objeto de estudio y la mayoría de las investigaciones

realizadas han excluido este aspecto, podríamos estar al frente de experimentos con resultados que manifiesten alta variabilidad aceptando, en el mejor de los casos, la hipótesis nula.

Los Efectos Placebo y Nocebo

El placebo es una sustancia carente de acción terapéutica por sí misma y usada por los médicos para el control en la investigación clínica, pudiendo producir un efecto curativo en el paciente. El efecto placebo es un fenómeno mente-cuerpo, se inicia en la mente del paciente, se traduce en una mejoría clínica, y está íntimamente relacionado con el ritual del acto terapéutico. El efecto nocebo, contrariamente, induce al paciente a un efecto negativo emergido de la mente del paciente. En un experimento doble ciego de Benedetti *et al.* (2007), le proporcionaron morfina a individuos *amateurs* en entrenamiento deportivo, simulando una competición deportiva para permitirles soportar el dolor y mayor rendimiento. Luego, reemplazaron la morfina con un placebo. Los resultados mostraron que los individuos con el tratamiento de morfina, y luego el placebo, mantuvieron mayor rendimiento en comparación con aquellos de los grupos control. Algunos investigadores consideran a la homeopatía y a la acupuntura productos de la sugestión del paciente y asociados a placebos puros (Benedetti *et al.*, 2011, Haresnape 2013, Deng *et al.*, 2015). No obstante, a la luz de las nuevas investigaciones de las ciencias físicas, biológicas y bioquímicas en el campo de la salud y la medicina, y dentro del paradigma cuántico de la comprensión del mundo y del universo, se abre todo el potencial del conocimiento basado en las energías electromagnéticas y sutiles, las cuales demuestran las diferencias entre el efecto placebo y la intención (Rosch, 2009) donde la mente humana es la directora de orquesta.

La Mente y los Campos Electromagnéticos

El grupo de Iniciativa en Coherencia Global (*Global Coherence Initiative* - GCI) ha demostrado la interconectividad de la salud y el comportamiento humano y animal con la actividad magnética del sol y de la tierra. De acuerdo con las hipótesis planteadas por los Institutos de HeartMath y de GCI (McCraty *et al.*, 2012), se ha comprobado la superposición de las frecuencias de resonancia de los campos magnéticos de la tierra con las del cerebro humano y sus sistemas cardiovascular y nervioso autónomo. Una de las hipótesis de trabajo de estos grupos, asocia al campo magnético terrestre como contenedor de toda la información biológica relevante que conecta todos los sistemas vivientes. Es decir, cada persona y la conciencia colectiva humana afectan el campo de información global. De este modo, las emociones humanas y sus estados de conciencia interactúan con la información y la codifican dentro del campo geomagnético; al mismo tiempo, esta información es distribuida globalmente creándose un “loop” de retroalimentación entre los seres humanos y los campos energéticos y magnéticos terrestres. Esencialmente, se sugiere la comunicación de la información en forma no-local (no tiempo, no espacio, en el *vacuum*) entre las personas a un nivel subconsciente y enlazando a todos los sistemas vivientes, positiva o negativamente. Hoy en día ya se reconoce que la tierra y la ionósfera logran producir una sinfonía de frecuencias dentro del rango de 0,01 Hz hasta 300 Hz, encontrándose algunas de las grandes resonancias del campo magnético de la tierra en el mismo rango de frecuencia del funcionamiento del ser humano. Estas frecuencias también han sido asociadas con los ataques del corazón, la incidencia de la depresión, del suicidio, el número de accidentes de tránsito, el rendimiento atlético, la memoria, y otros aspectos como lo son la síntesis de nutrientes en plantas y algas (McCraty *et al.*, 2012).

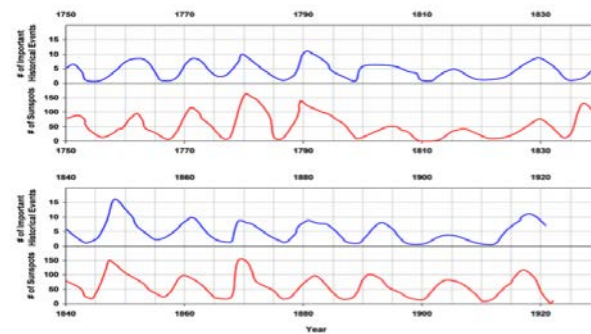


Figura 1. Gráfico construido a partir de los datos originales de Tchijevsky donde se comparan los eventos humanos de importancia, con el ciclo solar desde 1749 a 1926 (McCraty *et al.*, 2012).

En la Figura 1, McCraty *et al.* (2012) utilizan los datos originales del investigador ruso Alexander Tchijevsky, en el que se muestra la primera evidencia científica del efecto de los ciclos solares en el comportamiento de las sociedades humanas. Se observan las batallas más severas de la Primera Guerra Mundial durante periodos de picos de manchas solares. Una línea (azul) grafica el número anual de eventos políticos y sociales importantes, y la otra línea (roja) representa la actividad solar en número de manchas solares desde 1749 hasta 1922. Esta información muestra que el 80 % de los eventos más significativos ocurrieron durante los máximos solares, correlacionándose con los periodos de mayor actividad geomagnética. La actividad solar también ha sido relacionada con los periodos de mayor florecimiento humano en las artes, ciencia y cambios sociales positivos.

En otro orden de ideas, Sheldrake (2012) postuló la hipótesis más novedosa de la biología contemporánea: la Resonancia Mórfica, en la cual los sistemas auto-organizados heredan una memoria de los sistemas similares previos. Sheldrake señala entre las 10 principales creencias del materialismo científico, la localización de la mente dentro de nuestras cabezas. La propuesta fundamental del materialismo es que la materia es la sola realidad, pero la formulación de la mecánica cuántica toma en cuenta la mente del observador. Como alternativa al materialismo, se ha señalado al dualismo y se asume a la mente y al cerebro como radicalmente diferentes, siendo la mente inmaterial y fuera del tiempo y del espacio y, al

cerebro, material. De esta manera, la misma ciencia acepta la existencia de los campos energéticos, en forma simultánea dentro y fuera de los objetos. Una analogía es la del imán: partido en pedacitos cada uno tiene su campo magnético completo. En un holograma, cualquier parte contiene la totalidad y está basado en patrones de interferencia en el interior de campos electromagnéticos. La Resonancia Mórfica integra la mente de los individuos de una misma especie, formando un mismo campo mental planetario denominado morfogenético. Como hipótesis, Sheldrake sostiene que nos conectamos con el pasado a través de la resonancia mórfica, por la memoria y los hábitos y, con el futuro, por *atractores* energéticos por medio de los deseos, planes e intenciones. Los campos mórficos son campos expresados dentro y alrededor de una estructura, en todos los niveles de complejidad, incluyendo los campos morfogenéticos del comportamiento: sociales, culturales y mentales. Esta hipótesis se aplica a todos los sistemas de autoorganización, incluyendo átomos, moléculas, cristales, células, plantas, animales y sociedades animales. Cada especie animal, vegetal o mineral posee una memoria colectiva, si un individuo de una especie aprende una nueva habilidad, esta será más fácil transmitirla a los demás miembros de dicha especie. La mente se extiende en cada acto de percepción; por ejemplo, en sitios públicos las personas son capaces de detectar cuando alguien las mira. Muchas especies de animales también parecen sensibles a ser observados por otros animales o cazadores y en algunas artes marciales se practica tener sensibilidad de ser

mirados en un momento dado (Sheldrake, 2008). Asimismo, el campo magnético del corazón explica cuando “sentimos” la presencia de otra persona, independientemente de su estado emocional y del lenguaje de su cuerpo u otros factores (McCraty *et al.*, 2012). Hechos naturales como el amamantar al bebé por su madre, parece comprobar tales conexiones de los campos mórficos. La transferencia de información sucedería a través del “orden implicado” propuesto por David Bohm (1917-1992) quien integró las ideas de la teoría cuántica, la neurociencia y la filosofía de la mente. El “orden implicado” da lugar al mundo que observamos al pasar a través del campo cuántico en el *vacuum*, originando el “orden explicado” donde la materia está localizada en tiempo y espacio (Sheldrake, 2012).

En el campo de la neuropsicología, Persinger (2013) demostró el efecto de los campos geomagnéticos en el funcionamiento del cerebro y la transferencia de información (campos similares a la Resonancia Schumann). Utilizó un casco especialmente concebido para producir una estimulación magnética en diferentes zonas del cerebro e indujo estados alterados de conciencia como la visión remota, además, ver y sentir presencias. Este autor plantea el almacenamiento de información relacionado con la actividad del cerebro en el campo geomagnético de la tierra, a la cual acceden todos los cerebros humanos, sugiriendo al campo electromagnético de la tierra como un transportador de información entre los individuos. También relaciona los estados de conciencia con los campos electromagnéticos y la emisión de fotones del cerebro humano, y señala la existencia de suficiente evidencia cuantitativa que demuestra la asociación de los procesos del pensamiento unidos a las características intrínsecas del electrón, de donde emerge el entrelazamiento cuántico macroscópico (Persinger y Lavalley, 2010).

Energías Sutiles

En 1997 se formuló una teoría completa sobre la “Energía Sutil” en los sistemas vivos (Tiller, 2007). Las energías sutiles son todas las energías

necesarias para explicar los fenómenos de orden espiritual, mental y emocional, extendidas más allá de las cuatro energías asociadas a las fuerzas fundamentales conocidas y aceptadas en la ciencia convencional (gravitacional, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil). Tiller (1993) señala que hasta el siglo pasado la ciencia y la medicina habían considerado a los organismos vivos funcionales según su: función ↔ estructura ↔ química ↔ campos electromagnéticos, sin considerar el efecto de la mente. No obstante, la hipnosis muestra efectos con la mente inconsciente; además, otras disciplinas como Yoga, Zen, y Chi Gong muestran una relación entre la mente consciente y la función del cuerpo. También se ha demostrado, con ciertas técnicas, cómo la biorretroalimentación (proceso para el aprendizaje al cambiar la actividad fisiológica, mejorar la salud y el rendimiento) controla la temperatura de la piel, el dolor y a reparar el cuerpo. De allí que la mente se incluya en la interacción: función ↔ estructura ↔ química ↔ campos electromagnéticos ↔ mente. Este mismo autor, diseñó un instrumento para acumular y distribuir este tipo de energías, basado en una celda de descarga de gas y denominado dispositivo de recepción de la intención (IHD *Intention Host Device*), el cual responde a una emisión de energía del cuerpo dirigida por la mente (Tiller, 1990). Adicionalmente, los innumerables experimentos realizados con personas empleando la visión remota han comprobado la percepción y descripción exacta de objetos a distancias considerables de estas; por lo cual, una gran variedad de fenómenos llamados “psi” (relacionados a la psicoquinesia), permiten incluir las energías sutiles en la interacción: función ↔ estructura ↔ química ↔ campos electromagnéticos ↔ energías sutiles. Estos campos sutiles se expresan a través de los campos físicos y, bajo circunstancias favorables, pueden estar acoplados fuertemente y expresarse masivamente. Se señala como el campo puente entre las energías sutiles y físicas al vector potencial magnético. Las energías sutiles funcionan en el nivel del “*vacuum*” o vacío y se expresan a través de intermediarios como lo son los sistemas vivos (Tiller, 1993).

Los sistemas vivos expresados por la estructura y memoria del agua

En la última década, la ciencia ha comenzado a comprender lo poco que se conoce del agua. Los científicos rusos fueron los primeros en estudiar la cuarta fase del agua, y esto es corroborado en occidente por Pollack (2013) quien la define como una zona de exclusión (EZ) formada cerca de los materiales sumergidos. La EZ es una zona de carga comúnmente negativa y muy diferente del agua pura cuya carga es positiva. La diferencia de potencial de las dos regiones varía entre 100 y 200 mV, dependiendo de la superficie hidrológica particular. Si se insertan electrodos en las zonas respectivas y se conectan a través de una resistencia se consigue un flujo de corriente. Su fórmula es H_3O_2 , por lo cual también se le llama agua estructurada. Las moléculas de agua se ordenan en forma extensiva mediante una estructura cristalina hexagonal con características muy diferentes a las del agua pura, creando una zona libre de solutos (Figura 2). Los tejidos biológicos, geles, polímeros naturales y sintéticos poseen agua estructurada adyacente a sus superficies. Pero es la energía radiante del sol la que separa la carga el agua (H^+ y OH^-). Pollack *et al.* (2009) demostraron la inducción del crecimiento de la EZ por la energía radiante incidente, encontrando con una exposición de infrarrojo ($3,1 \mu m$) de 10 minutos, y un aumento de la temperatura no mayor de $1^\circ C$, cerca de cuatro veces el incremento de la EZ. Pero, ¿cuál es la relación entre el agua estructurada y los campos electromagnéticos? Haciendo un poco de historia sobre la importancia del agua, fue Jacques Benveniste quien descubrió la transmisión de señales moleculares de bajas frecuencias por el agua e implementó la transmisión electrónica de las copias informacionales de sustancias biológicamente activas en agua, mediante

pruebas de transferencia por Internet, a nivel transatlántico (Benveniste *et al.*, 1997; Benveniste y Guillonnet 2003; patente # US 6,541.978 B1). Más tarde, el Premio Nobel 2008 en Fisiología y Medicina por descubrir el virus del SIDA, Luc Montagnier, utilizando parte de la información generada por Benveniste, demostró recientemente la detección de la información epigenética del ADN como señales electromagnéticas en soluciones altamente diluidas. Esta información puede ser transferida o “grabada” en el agua pura y nunca expuesta al ADN, siempre y cuando el agua esté en presencia de un campo magnético débil de 7,8 Hz, y proveniente en forma natural de la Resonancia Schumann. Esta información presente en el agua pura puede llevar a la recreación del ADN cuando se agregan los constituyentes básicos de este en el proceso conocido de la reacción en cadena de la polimerasa (Montagnier, 2011). Este mismo autor también descubrió, con soluciones de ADN de un microorganismo, la “emisión de ondas de radio de baja frecuencia”, las cuales influyen en las moléculas de agua de su entorno mediante la formación de estructuras organizadas. Estas moléculas organizadas emiten ondas, y estas ondas se siguen emitiendo, incluso después de haberse diluido muchas veces la solución inicial, demostrando así la base científica de la homeopatía (en contraposición con el efecto placebo). Por tanto, la distribución espacio-temporal de los acoplamientos, frecuencias, amplitudes y modulaciones de fase se traducen en un patrón de campos que constituyen la imagen electromagnética del ADN en el agua alrededor de la molécula. Es este patrón de campos en el ambiente agua-ADN lo que la enzima polimerasa reconoce. Asimismo, el análisis de estos experimentos se encontró consistente con la teoría de Gauge de los campos cuánticos (Montagnier *et al.*, 2017).

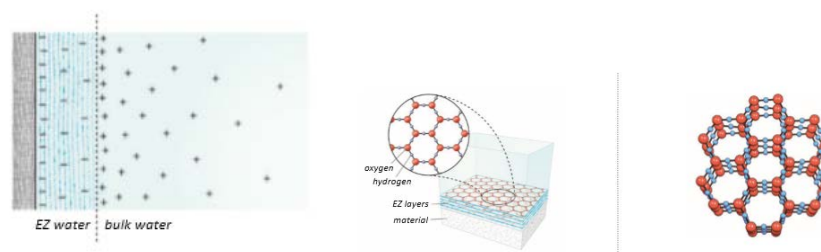


Figura 2. Izquierda: la zona de exclusión (EZ) con carga negativa. Centro: organización de la estructura EZ por capas con las moléculas de agua organizadas en forma hexagonal. Izquierda: la estructura atómica del hielo muy similar a la estructura de la EZ (Pollack, 2013).

La Intención en la Investigación Científica

La mayoría de los científicos han asumido que todo lo percibido por los sentidos es esencialmente mecánico, que la mente es producida por las actividades materiales del cerebro, que las leyes de la naturaleza son fijas, que la naturaleza es sin propósito ni dirección, que toda la herencia biológica es material (ADN), que los recuerdos se almacenan en el cerebro y que se borran al morir y que todos los fenómenos inexplicables son ilusiones. Sin embargo, ¿qué sucedería si la mente fuese más que el cerebro? y ¿qué sucedería si la mente no estuviera limitada por el tiempo ni por el espacio? En la Tabla 1 se presenta una compilación de investigaciones que arrojan luz a estas interrogantes. Entre los primeros investigadores en dar a conocer el poder de la intención y el estado de conciencia del ser humano asociado al agua fue Emoto (2004), quien mostró una memoria de información emocional contenida en el agua y traducida en la estética de los cristales de formas hexagonales. La hipótesis de Emoto ha sido estudiada por diversos investigadores con grupos de hasta 2000 personas en ensayos doble-ciego y con 1900 personas con ensayos triple-ciego (Radin *et al.*, 2008), encontrándose para los tratamientos con intenciones positivas cristales significativamente más hermosos ($p=0,001$ y $p=0,03$) en relación con los cristales control.

No obstante, fue Tiller (2007) quien evidenció desde 1990 el efecto de la intención consciente sobre la alteración de los materiales inorgánicos y orgánicos. Se considera una vez más al fenómeno del entrelazamiento cuántico como el

causante del efecto de la intención. Este investigador estudió la intención con el dispositivo IHD y asumió que los pensamientos eran otra forma de energía; además, que la intención “encerrada” en ellos podía afectar a sujetos vivos (Tiller, 1990). Se realizaron experimentos con la mosca de la fruta y se evaluó el acortamiento del tiempo de su desarrollo de larva a insecto alado, mediante la modificación de la concentración del cofactor metabólico energético transportador de hidrógeno en el interior de las células, la nicotinamida adenina dinucleótido (NAD). Niveles bajos de NAD afectan adversamente a la producción de adenosina trifosfato (ATP, molécula encargada de almacenar la energía metabólica). El aumento del suministro de NAD acrecienta la proporción de ATP, acelerando los procesos celulares y también el desarrollo larval. Para esto, cuatro meditadores expusieron su intención por influir sinérgicamente sobre el aumento significativo de la proporción de ATP con respecto a la de ADP y reducir de esta forma el tiempo de desarrollo larval respecto al del grupo control. Los meditadores mantuvieron la intención durante quince minutos y, luego, cinco minutos finales para “grabar” (*imprint*) la intención en el interior del dispositivo. Se realizó un experimento doble ciego y se preparó un IHD control, idéntico, sin “grabar”, con la intención (envuelto en papel de aluminio y dentro de una jaula de Faraday para aislarla de frecuencias de energía) y se envió a otro laboratorio a 2300 Km de distancia. Se llevó el seguimiento de la proporción ATP/ADP durante ocho meses. Estos investigadores descubrieron, no sólo el incremento de la proporción de ATP/ADP, sino que las larvas expuestas a los dispositivos

“grabados” se habían desarrollado un 15 % más rápido, con mejor salud y con efectos positivos sobre la descendencia. Otras variables estudiadas fueron la enzima hepática fosfatasa alcalina (FA) y la actividad pH del agua. Los objetivos eran cambiar el pH del agua (aumentando y disminuyendo el pH en una unidad entera) y aumentar en un “factor significativo” la

actividad de la FA. En el experimento del pH, la intención consiguió incrementar y descender el pH de una unidad entera; en el de la FA, la intención logró aumentar su actividad en forma significativa (Tiller, 2007). Actualmente, el IHD es utilizado en proyectos variados de la medicina energética y de la información en el Instituto para la Ciencia Psicoenergética.

Tabla 1. Eventos del efecto de la mente y de la intención sobre la materia.

Evento	Fuente
Cristales del agua y emociones	Emoto (2004)
Disminución del desarrollo de la mosca de frutas Disminución de la actividad de FA* y Variaciones del pH del agua	Tiller (2007)
Desviación de partículas atómicas en el experimento de la doble rendija	Radin (2013)
Robot afectado por la mente de polluelos	Peoc'h (1995)
Meditadores influyen sobre la no-aleatoriedad de un GNA**	Mason et al, (2007)
La lámpara-mente y el robot Psyleron basado en un GEA***	Jahn et al. (2007) PEAR Laboratory

*FA: fosfatasa alcalina; **GNA: generador de números aleatorios; ***GEA: generador de eventos aleatorios.

Radin *et al.* (2013) del Instituto de Ciencias Noéticas (ciencias de la mente) utilizaron el famoso experimento de la física cuántica de la doble rendija, y estudiaron si meditadores experimentados influían en el movimiento de las partículas atómicas al imaginar en sus mentes ver pasar un protón por una de las dos rendijas. Uno de los experimentos consistió en 50 sesiones de media hora donde los participantes (21 individuos meditadores o de disciplinas con enfoque a la atención) concentraron su atención en dos formas: en dirección y fuera del sistema de doble rendija. Se evaluaron los patrones de interferencia generados por el sistema óptico de doble rendija y la perturbación por la interacción psicofísica (mente-materia). Estos autores encontraron consistencia entre la intención y el colapso de la función de onda en forma significativa ($p=2,4 \times 10^{-7}$); mientras que en cien sesiones control con el mismo equipo, protocolo y análisis, pero sin participantes presentes, no se presentó dicho efecto ($p=0,71$). Este análisis

indicó que la distribución de la luz entre las dos rendijas y la estabilidad horizontal del rayo láser fueron los componentes del sistema óptico perturbados por la mente de los meditadores.

Otro trabajo notable fue el realizado por Peoc'h (1995) quien estudió la influencia de 80 grupos de 15 pollitos sobre la dirección de un robot moviéndose aleatoriamente, encontrando para 71 % de los casos registrados que el robot gastó significativamente ($p < 0,01$) más tiempo cerca de los pollitos; por el contrario, en ausencia de estos, el robot seguía trayectorias aleatorias. Este investigador demostró la atracción ejercida por los pollitos entre 1 y 7 días de nacidos hacia un robot controlado por un generador de números aleatorios (GNA). En este mismo sentido, Mason *et al.* (2007) reportaron desviaciones anómalas al usar GNA con un grupo de meditadores (261 mujeres y 398 hombres). Estos meditadores lograron inducir desviaciones significativas para la no-aleatoriedad ($p < 0,000001$ y $p < 0,05$), con

un GNA ubicado en un corredor de meditación trascendental, después de ser expuesto a 94 h y 33.827 ensayos.

Finalmente, el impacto de la mente sobre la materia también ha sido desarrollado en las nuevas tecnologías, donde la mente humana puede manejar la selección y trayectoria de una máquina, como fue demostrado por el Laboratorio de Investigaciones en Ingeniería de las Anomalías de Princeton (Princeton Engineering Anomalies Research, PEAR), después de 26 años de investigación. Este laboratorio ofrece diferentes productos, entre ellos la lámpara-mente (The Mind LampTM) y el Robot Psyleron. La lámpara-mente es un dispositivo que puede responder a la mente consciente y subconsciente del usuario. Dentro de ella, hay un Generador de Eventos Aleatorios (GEA) controlando las mezclas relativas de una LED (diodo emisor de luz) interna con colores primarios: rojo, verde y azul. La lámpara de vidrio dispersa la luz con el color producido y conecta la mente con el mundo físico. El robot es un juguete mecánico sin inteligencia artificial y un GEA controla sus movimientos hacia adelante, reverso, derecha, izquierda y pivoteo. Este robot está bajo la influencia de la mente consciente del operador (Jahn *et al.*, 2007). Los investigadores del PEAR aseveran la legitimidad de las anomalías estudiadas y desarrolladas por una investigación científica sistemática y respaldada con modelos matemáticos, completamente replicables (Jahn y Dunne, 2005). Los resultados de mente/materia obtenidos por estos investigadores han levantado, indudablemente, implicaciones epistemológicas para las ciencias básicas, implicaciones pragmáticas para las aplicaciones tecnológicas e implicaciones metafísicas para los sistemas de creencias y comportamientos personales, interpersonales y culturales (Jahn y Dunne, 2005).

La emergencia y desarrollo de las nuevas metodologías sustentadas por la física cuántica abre nuevos paradigmas con implicaciones que trascienden los modelos científicos aceptados por la ciencia del siglo XX. Para muchos científicos el momento actual vivido por la

ciencia es similar al impacto creado por los antiguos filósofos griegos de la Escuela Pitagórica, como Filolao de Crotona y Aristarco de Samos quienes propusieron, por primera vez, el modelo heliocéntrico del Sistema Solar. Pasaron cerca de mil setecientos años para que el matemático y astrónomo renacentista Nicolaus Copérnico, formulara un modelo para colocar al Sol en el centro del Universo, en vez de la Tierra. Actualmente, uno de los científicos de mayor reconocimiento, el médico americano Robert Lanza, propuso la nueva teoría del Biocentrismo o el Universo Biocéntrico (Lanza y Berman, 2009), donde se percibe a la biología como el sentido de la ciencia para la comprensión del Universo, señalando a la consciencia y la vida como los elementos fundamentales para entender la naturaleza del mismo. De acuerdo con el mismo autor, las conclusiones de esta teoría parecen pertenecer a las filosofías de la *New Age* o a las religiones Orientales; sin embargo, esta teoría se basa en los últimos descubrimientos de la ciencia desde la física hasta la cosmología y forma parte de la lógica extensión del trabajo de nuestras mentes científicas más grandes.

CONCLUSIONES

Responder a la pregunta inicial acerca de la influencia del experimentador en la investigación científica a la luz de las últimas teorías y hallazgos, ha llevado a observar resultados validados en diferentes ramas del saber como la física, la química, la biología, la medicina, la parapsicología y la filosofía de la ciencia. Investigaciones recientes demuestran la relación existente entre la información en forma de frecuencias de energía de los campos geomagnéticos de la tierra y los campos electromagnéticos del cerebro humano, sistemas cardiovascular y nervioso central y la expresión de las emociones en forma individual y colectiva. Es en el agua estructurada o biológicamente activa, organizada en moléculas formando patrones hexagonales, donde se registra o se “graba” la memoria del agua en todos los seres vivos. Se sugiere la estructuración del agua bajo condiciones naturales de un campo magnético débil

proveniente de la Resonancia Schumann. Esta última, almacenaría la información en forma de vibraciones energéticas, electromagnéticas y sutiles, originadas tanto de la composición de la materia como de la intención de la mente consciente y subconsciente. Por consiguiente, la mente del observador o investigador ocupa un lugar fundamental en la realidad. Librar una investigación de los efectos placebo y nocebo, así como de la intención consciente e inconsciente es indispensable en el método científico. Básicamente, esta protección está condicionada al uso de diseños experimentales protegidos con técnicas de doble y triple ciego.

REFERENCIAS

- Benedetti, F., Pollo, A., Colloca, L. (2007). Opioid-mediated placebo responses boost pain endurance and physical performance: is it doping in sport competitions? *Journal of Neuroscience*, 27 (44):11934-11939. Disponible en: <http://www.jneurosci.org/content/jneuro/27/44/11934.full.pdf>
- Benedetti, F., Carlino, E., Pollo, A. (2011). How Placebos Change the Patient's Brain. *Neuropsychopharmacology*, 36:339-354. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3055515/pdf/npp201081a.pdf>
- Benveniste, J., Guillonnet, D. (2003). Method, system and device for producing signals from a substance biological and/or chemical activity. US Patent, N 6 541, 978 B1. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US6541978B1/en>
- Benveniste, J., Jurgens, P., Hsueh, W., Aissa, J. (1997). Transatlantic transfer of digitized antigen signal by telephone link. *Journal of Allergy & Clinical Immunology*, 99(1 part 2): S175.
- Deng, S., Zhao, X., Du, R., He, S., Wen, Y., Huang, L., Tian G., Zhang, C., Meng, Z., Shi, X. (2015). Is acupuncture no more than a placebo? Extensive discussion required about possible bias (Review). *Experimental and Therapeutic Medicine*, 10:1247-1252. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4578107/>
- Emoto, M. (2004). Healing with water. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 10(1):19-21. Disponible en: <https://doi.org/10.1089/107555304322848913>
- Gilder, T.S.E. y Heerey, E.A. 2018. The role of experimenter belief in social priming. *Psychological Science*, 29(3):403-417.
- Haresnape, C. (2013). An exploration of the relationship between placebo and homeopathy and the implications for clinical trial design. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 4(9):1-19. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/9187/b2f943af4bf57fbd2dbb237948433ccfd402.pdf>
- Jahn, R.G., Dunne, B.J. (2005). The PEAR proposition. *Journal of Scientific Exploration*, 19 (2):195-245. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/a3e2/20585a063e5b02ecc76664c79fe0542c0aa8.pdf>
- Jahn, R.G., Dunne, B.J., Acunzo, D.J., Hoeger, E.S. (2007). Response of an REG-Driven Robot to Operator Intention. *Journal of Scientific Exploration*, 21(1):27-46.
- Lanza, R., Berman, B. (2009). Biocentrism: how life and consciousness are the keys to understanding the true nature of the universe. Benbella Books, Inc. Dallas, Tx. 214pp.
- Mason, L. I., Patterson, R. P., Radin, D. I. (2007). Exploratory Study: The Random Number Generator and Group Meditation. *Journal of Scientific Exploration*, 21(2):295-317. Disponible en: <http://www.deanradin.com/papers/RNG%20Mason.pdf>
- McCraty, R., Deyhle, A. Childre, D. (2012). The Global Coherence Initiative: Creating a Coherent Planetary Standing Wave. *Global Advances in Health and Medicine*, 1(1):64-77. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/286869493_The_Global_Coherence_Initiative_Opportunities_for_scientific_research_and_health_promotion
- Montagnier, L., Aissa, J., Giudice, E. Del, Lavallee, C., Tedeschi, A., Vitiello, G. (2011). DNA waves and water. *Journal of Physics Conf. Ser.* 306 012007 Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/306/1/012007/pdf>
- Montagnier, L., Aissa, J., Capolupo, A., Craddock, T.J.A., Kurian, P., Lavallee, C., Polcari, A., Romano, P., Tedeschi, A., Vitiello, G. (2017). Water bridging dynamics of polymerase chain reaction in the gauge theory paradigm of

- quantum fields. *Water*, 9:339. Disponible en: <http://www.mdpi.com/2073-4441/9/6/436/htm>
- Persinger, M. A., Lavallee, C. F. (2010). Theoretical and experimental evidence of macroscopic entanglement between human brain activity and photon emissions: implications for quantum consciousness and future applications. *Journal of Consciousness Exploration & Research*, 1(7):785-807. Disponible en: <http://jcer.com/index.php/jcj/article/view/99>
- Persinger, M. A. (2013). Billions of human brains immersed within a shared geomagnetic field: quantitative solutions and implications for future adaptations. *The Open Biology Journal*, 6: 8-13. Disponible en: <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOBJOJ/TOBJOJ-6-8.pdf>
- Peoch R. (1995). Psychokinetic action of young chicks on the path of an illuminated source. *Journal of Scientific Exploration*, 9(2):223-229. Disponible en: https://www.scientificexploration.org/docs/9/jse_09_2_peoch.pdf
- Pollack, G. H. (2013). *The fourth phase of water: beyond solid, liquid, and vapor*. Ebner and Sons Publishers, Seattle, USA. 257 pp. Disponible en: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0161/7154/file/s/FOURTH_PHASE_SAMPLE.pdf
- Pollack, G. H., Figueroa, X., Zhao, Q. (2009). Molecules, water, and radiant energy: new clues for the origin of life. *International Journal of Molecular Science*, 10:1419-1429. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2680624/pdf/ijms-10-01419.pdf>
- Radin, D., Lund, N., Emoto M., Kizu, T. (2008). Effects of distant intention on water crystal formation: a triple-blind replication. *Journal of Scientific Exploration*, 22(4):481-493. Disponible en: http://studentnet.cs.manchester.ac.uk/pgr/2013/COMP80142/jse_22_4_radin.pdf
- Radin, D., Michel, L., Johnston, J. Delorme, A. (2013). Psychophysical interactions with a double-slit interference pattern. *Physics Essays*, 26(4):553-566. Disponible en: <http://deanradin.com/articles/2013%20Physics%20Essays%20DS.pdf>
- Rosch, P. J. (2009). Bioelectromagnetic and subtle energy medicine. *Longevity, Regeneration, and Optimal Health: Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1172:297-311. Disponible en: http://www.ducrest.com/images/pdf/12710_2009_Bioelectromagnetic_and_Subtle_Energy_Medicine.pdf
- Sabino, C. (1992). *El Proceso de Investigación*. Ed. Panapo, Caracas, 216 pp. Disponible en: <https://metodoinvestigacion.wordpress.com/2008/02/25/el-proceso-de-investigacion-carlos-sabino/>
- Sheldrake, R. (1999). How widely is blind assessment used in scientific research? *Alternative Therapies*, 5(3):88-91. Disponible en: <https://www.sheldrake.org/research/experiment-er-effects/how-widely-is-blind-assessment-used-in-scientific-research>
- Sheldrake, R. (2008). The sense of being stared at: an automated test on the internet. *Journal of the Society of Psychical Research*, 72(891):86-97. Disponible en: <http://www.sheldrake.org/files/pdfs/papers/JCSpaper1.pdf>
- Sheldrake, R. (2012). *The Science Delusion: Freeing the spirit of enquiry*, London: Coronet, Disponible en: <https://eduardolbm.files.wordpress.com/2016/04/the-science-delusion-rupert-sheldrake.pdf>
- Tiller, W.A. 1993. What are subtle energies? *Journal of Scientific Exploration*, 7(3):293-304. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/c82e/35d051ca75a2327af27975d216f498ff05b9.pdf>
- Tiller, W.A. 1990. A gas discharge device for investigating focussed human attention. *Journal of Scientific Exploration*, 4(2):255-27. Disponible en: https://www.scientificexploration.org/docs/4/jse_04_2_tiller.pdf
- Tiller, W.A. (2007) *Psychoenergetic science: a second copernican-scale revolution*. (Pavior Press, Walnut Creek CA), 232 p.

INDUSTRIAL

INDUSTRIAL

OPTIMIZACIÓN DEL FILTRO DE KALMAN EXTENDIDO MEDIANTE ALGORITMOS MEMÉTICOS

OPTIMIZATION OF EXTENDED KALMAN FILTER WITH MEMETIC ALGORITHMS

Autores:

Amaya, Jhon¹; Tarazona, María²¹Lab. de Computación de Alto Rendimiento. Universidad Nac. Exp. del Táchira, Venezuela²Lab. de Investigación de Matemática Pura y Aplicada. Universidad Nac. Exp. del Táchira, Venezuela

Corresponding Author: jedgar@unet.edu.ve

RESUMEN

La presente investigación explora la calibración de dos parámetros fundamentales del Filtro de Kalman Extendido (EKF): las matrices de covarianza del ruido del proceso (Q) y del ruido en la medición (R), mediante el uso de técnicas evolutivas híbridas del área de computación emergente. En particular, se proponen dos algoritmos meméticos y se comparan respecto a dos técnicas conocidas: algoritmos genéticos (GA) y evolución diferencial (DE). El enfoque de calibración consiste en determinar los mejores valores iniciales de Q y R del EKF, a fin de mejorar la convergencia del filtro. Se eligió como escenario de pruebas un sistema RLC en serie cuyas medidas están perturbadas con ruido blanco. Se evaluaron dos algoritmos meméticos: un algoritmo genético con un esquema de búsqueda local (GA+LS) y un algoritmo de evolución diferencial con búsqueda local (DE+LS). Para determinar el rendimiento de cada propuesta algorítmica se realizó un análisis estadístico básico. Los algoritmos meméticos presentan buenos resultados en cuanto a la convergencia del EKF para el problema abordado y parecen mostrar espacio para futuras mejoras en su desempeño mediante la calibración de los parámetros de los algoritmos meméticos.

ABSTRACT

This research explores the calibration of two fundamental parameters of the Extended Kalman Filter (EKF): the covariance matrices of the noise in the modeling process (Q) and the noise in the measurement (R) by means of the use of hybrid evolutionary techniques in the soft computing area. In particular, two memetic algorithms are proposed and compared regarding two known techniques: genetic algorithms (GA) and differential evolution (DE). The tuning approach consists of determining the best initial values of Q and R of the EKF in order to improve the convergence of the filter. An RLC circuit whose measurements are disturbed by white noise was chosen as the test scenario. Two memetic algorithms were evaluated: a genetic algorithm with a local search (GA + LS) and a differential evolution algorithm with local search (DE + LS). To determine the performance of each algorithmic proposal a basic statistical analysis was performed. The memetic algorithms present good results in terms of the convergence of the EKF for the problem addressed and seem to display space for improvements in their performance by means of tuning the parameters of the memetic algorithms. o recognize the human thought as the one which directs the observed reality.

Palabras clave: Filtro de Kalman Extendido, Optimización, Algoritmo Memético, Algoritmo Genético, Evolución Diferencial.

Key words: Extended Kalman Filter, Optimization, Memetic Algorithm, Genetic Algorithm, Differential Evolution.

INTRODUCCIÓN

El Filtro de Kalman Extendido (EKF) corresponde a la versión no lineal del Filtro de Kalman (KF) (Diniz, 2013) y es una excelente herramienta para estimar los estados de un sistema dinámico, incluso bajo la presencia de ruido, siempre y cuando el sistema admita modelos linealizados en torno a cualquier punto de operación. Aunque el EKF es un estimador óptimo de los estados de un sistema dinámico no lineal, adolece de varios problemas, como el error de linealización, estimación de covarianza, error de inicialización y divergencia (Hussain et al., 2015). El procedimiento de selección de los parámetros del algoritmo se hace de forma aleatoria en la mayoría de los casos, sin embargo, la selección adecuada de los parámetros del EKF, tales como los valores de las matrices Q y R , inciden en su rendimiento y en la convergencia del algoritmo.

Se han propuesto diferentes métodos que permiten calibrar los parámetros del EKF clasificados como fuera de línea (*offline*) o en línea (*online*) (Lau et al., 2011). En los métodos *offline* se estiman los valores de Q y R a priori, i.e., antes de realizar el proceso de simulación. En los métodos *online* el proceso de calibración se ejecuta mientras se realiza la simulación. Un ejemplo del método *offline* es el propuesto por Merraoui et al. (2014), donde establece un esquema basado en el algoritmo de optimización por enjambre de partículas (PSO) para la optimización de los parámetros del EKF. Otro ejemplo de un método *offline* es presentado por Ting et al. (2014) que utilizaron un algoritmo genético (GA) para la calibración de los parámetros Q y R de un Filtro de Kalman estándar en la estimación del estado de la carga en un sistema de gestión de baterías.

El enfoque de la investigación se dirige hacia la utilización de metaheurísticas para la optimización de los parámetros Q y R del EKF. Las metaheurísticas son métodos iterativos que permiten obtener soluciones "suficientemente buenas" mediante el manejo de la eficiencia del esfuerzo computacional (tanto espacial como temporal) (Brownlee, 2011). En la literatura

existe un sinnúmero de metaheurísticas con diferentes orígenes: física, biología, entre otros. Las metaheurísticas sin memoria generalmente están basadas en procesos markovianos. Un ejemplo de estos esquemas es el Recocido Simulado (SA), la Búsqueda Local Iterada (ILS) y los Algoritmos Genéticos (GA). En años recientes, se ha mostrado que las metaheurísticas individualmente no evitan el estancamiento en mínimos locales, por esta razón se han propuesto mecanismos híbridos (es decir, la composición de 2 o más metaheurísticas). La composición pueden ser integrativa o cooperativa, dando origen a esquemas como el Algoritmo Memético (MA) (Moscato et al., 2010) y esquemas cooperativos como el planteado en Amaya et al. (2011).

En este artículo se propone el uso de dos esquemas híbridos: uno clásico, que consiste en la hibridación de un algoritmo genético con un esquema de búsqueda local (GA+LS) y otro esquema que consiste en un algoritmo de evolución diferencial con búsqueda local (DE+LS). Cada algoritmo híbrido se utiliza como un método *offline* para obtener los valores idóneos de Q y R del EKF. Para cumplir con el objetivo propuesto se estableció como escenario de prueba un circuito RLC en serie. Hasta donde es de conocimiento de los autores no han sido implementados algoritmos híbridos para la calibración de los parámetros Q y R del Filtro de Kalman Extendido (EKF).

MÉTODO

La metodología se estableció en 5 fases. La primera fase consistió en definir el modelo de prueba, en este caso se estableció un circuito RLC en serie. La segunda fase correspondió a la implementación del filtro de Kalman Extendido. En la tercera fase se diseñaron las metaheurísticas híbridas asociadas a 2 esquemas evolutivos: algoritmo genético y evolución diferencial. La cuarta fase incluyó la integración de las metaheurísticas híbridas al EKF. Finalmente, se analizó el impacto de cada algoritmo en la selección de los valores de Q y R para el escenario de prueba. A continuación se

describen los elementos básicos de la investigación.

Modelo Matemático

El circuito RLC es un esquema clásico de electrónica y corresponde a un modelo no lineal que consiste en tres componentes específicos: un resistor, un inductor y un capacitor. El esquema del circuito se muestra en la Figura 1, mientras que el modelo matemático del circuito se define mediante la ecuación siguiente:

$$U = LC \frac{d^2 V_c}{dt^2} + \frac{R_{RLC}}{C} \frac{dV_c}{dt} + V_c \quad (1)$$

donde U es la alimentación del circuito, L es el valor de la inductancia, C es la capacitancia, R_{RLC} es el valor de la resistencia y V_c es el voltaje en el capacitor.

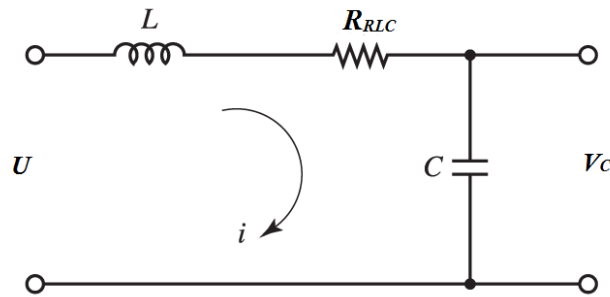


Figura 1. Diagrama esquemático del circuito RLC.

Filtro de Kalman Extendido

El Filtro de Kalman Extendido (EKF) es una aproximación de un estimador Bayesiano recursivo que linealiza el sistema en torno a una estimación de la media y la covarianza actual, utilizando series de Taylor. Según Sánchez (2013) se puede linealizar la estimación en torno a la estimación actual usando las derivadas parciales de las funciones del proceso y de las mediciones. El EKF considera que la predicción del estado es una función del estado anterior y de la acción ejecutada, así como también, que el modelo observacional es una función del estado actual. Por esta razón es una buena herramienta

El modelo del circuito RLC se representó en el esquema de espacio de estados (Ogata, 2010), para ser abordado con el EKF, tal como se refleja en la ecuación 2.

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{LC} & -\frac{R_{RLC}}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{LC} \end{bmatrix} U \quad (2)$$

donde $\dot{x}$ es el vector de estados, $x_1 = V_c$ y $x_2 = \frac{dV_c}{dt}$.

En la investigación se utilizan los siguientes valores como parámetros del circuito: $C=0,1 \mu F$, $R_{RLC} = 5 k\Omega$ y $L=2,5 mH$.

para la estimación en entornos con presencia de ruido (Olivier, 2009).

Si consideremos un sistema no lineal en tiempo discreto representado por las ecuaciones 3 y 4, el EKF posee dos grupos de ecuaciones principales: ecuaciones de actualización y ecuaciones de corrección.

$$x_k = \phi_k(x_{k-1}) + w_{k-1}, \quad w_k \sim N(0, Q_k) \quad (3)$$

$$y_k = h_k(x_k) + v_k, \quad v_k \sim N(0, R_k) \quad (4)$$

donde x_k representa el vector de estados desconocidos en un tiempo k , ϕ_k es un operador

de transición que mapea el espacio de estados dentro del mismo espacio de estados, h_k es un operador que mapea el espacio de estados dentro del espacio de observaciones, w_k es un error aleatorio de estimación del estado con distribución Gaussiana de media cero y covarianzas Q_k , y_k es el vector de observaciones y v_k es un error aleatorio de observación del estado con distribución Gaussiana de media cero y covarianzas R_k .

- Ecuaciones de actualización:

$$x_{k|k-1} = \Phi_{k-1}(\hat{x}_{k-1|k-1}) + w_{k-1} \quad (5)$$

$$P_{k|k-1} = Q_{k-1} + \Phi_{k-1}P_{k-1|k-1}\Phi_{k-1}^T \quad (6)$$

- Ecuaciones de Corrección:

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k(y_k - h_k(\hat{x}_{k|k-1})) \quad (7)$$

$$P_{k|k} = P_{k|k-1} - K_k H_k K_k^T \quad (8)$$

La ganancia del EFK viene dada por la ecuación 9.

$$K_k = P_{k|k-1} \hat{H}_k^T [\hat{H}_k P_{k|k-1} \hat{H}_k^T + R_k]^{-1} \quad (9)$$

Cabe resaltar que Φ_{k-1} y H_k son los Jacobianos del sistema y las linealizaciones locales de las funciones no lineales ϕ_k y h_k , respectivamente. Φ_{k-1} y H_k son calculadas a partir de las ecuaciones 9 y 10.

$$\Phi_{k-1} = [\nabla_{x_{k-1}} \phi_{k-1}^T(\hat{x}_{k-1})]^T|_{x_{k-1}=\hat{x}_{k-1|k-1}} \quad (9)$$

$$\hat{H}_k = [\nabla_{x_k} h_k^T(\hat{x}_k)]^T|_{x_k=\hat{x}_{k|k-1}} \quad (10)$$

donde

$$\nabla_{x_k} = \left[\frac{\partial}{\partial x_k[1]}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_k[n_x]} \right] \quad (11)$$

se asume que hay n_x componentes en x_k .

Metaheurísticas

A continuación se describen brevemente las diferentes metaheurísticas utilizadas, en particular, las propuestas sobre algoritmos híbridos diseñados a partir de dos algoritmos básicos: el algoritmo genético (GA) y algoritmo evolución diferencial (DE).

En primer lugar, se definió la representación de la solución como un vector donde se representan las diagonales de las matrices Q y R . Este vector viene dado por la ecuación 12.

$$S = [q_1, q_2, \dots, q_n, r_1, r_2, \dots, r_n] \quad (12)$$

donde n es el número de variables de estado, q_i y r_i con $i = 1, \dots, n$ representan las diagonales de las matrices Q y R , como se muestra en las ecuaciones 13 y 14, respectivamente.

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_n \end{bmatrix} \quad (14)$$

Por ejemplo, si se tiene un modelo que incluye 4 variables de estado en el vector de estados, el vector S estaría compuesto por un vector de longitud 8. Los valores de S utilizan una representación de valores continuos, i.e., un valor real para cada variable.

La función objetivo o *fitness* fue definida por la ecuación 15.

$$F(D, D^s) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sqrt{\sum_{i=1}^m [(d_i(j) - d_i^s(j))^2]} \quad (15)$$

donde $D = \{d_1, \dots, d_m\}$ representa los datos reales de la solución asociados a cada variable de estado. $D^S = \{d_1^S, \dots, d_m^S\}$ representa los valores obtenidos mediante el cálculo del modelo del EKF con los coeficientes dados a la solución S .

La relación $d_i(j) - d_i^S(j)$ es el error de estimación de la i -ésima muestra de la j -ésima variable de estado. Además, m se define como el número total de muestras y n el número de variables de estado.

Se implementó un algoritmo genético generacional con cruzamiento uniforme en un

punto y mutación simple de un gen. Se tomó como operador de cruzamiento, el cruzamiento uniforme en un punto con extrapolación, tal como se define en Haupt et al. (2004), es decir, sean S^1 y S^2 , dos soluciones de n genes cada una, representadas como por las ecuaciones 16 y 17.

$$S^1 = \{s_1^1, \dots, s_{j-1}^1, s_j^1, s_{j+1}^1, \dots, s_n^1\} \quad (16)$$

$$S^2 = \{s_1^2, \dots, s_{j-1}^2, s_j^2, s_{j+1}^2, \dots, s_n^2\} \quad (17)$$

Algoritmo 1. Método de Evolución Diferencial (DE).

```

1  function EvolucionDiferencial
2     $P \leftarrow \text{generarPoblacion}()$ ;
3    EvaluarFitness( $P$ );
4    while (no criterio de parada) do
5      for  $i=1:N$  do
6         $T \leftarrow \text{diferencial}(P, S^i, F_R, C_R)$ ;
7        if  $f(T) < f(S^i)$  then
8          agregar( $P_i, T$ );
9        else
10         agregar( $P_i, S^i$ );
11        end if
12      end for
13       $P=P_i$ ;
14    end while
15     $S \leftarrow \text{mejorSolucion}(P)$ ;
16  return  $S$ ;

```

Algoritmo 2. Operador de cruzamiento de DE.

```

1  function diferencial( $P, S^o, F_R, C_R$ )
2    [ $S^1, S^2, S^3$ ]  $\leftarrow \text{seleccionar}(P, S^o)$ ;
3    corte  $\leftarrow \text{Rand}[1, n]$ ;
4    for  $i=1:n$  do
5      if corte== $i$  && Rand[0, 1)  $< C_R$  then
6         $S_j = S_j^1 + F_R * (S_j^2 - S_j^3)$ ;
7      else
8         $S_j = S_j^o$ ;
9      end if
10    end for
11  return  $S$ ;

```

Sea j el punto de cruce, entonces las dos nuevas soluciones generadas vienen dadas por las ecuaciones 18 y 19:

$$S^1 = \{s_1^1, \dots, s_{j-1}^1, s_{new}^1, s_{j+1}^1, \dots, s_n^1\} \quad (18)$$

$$S^2 = \{s_1^2, \dots, s_{j-1}^2, s_{new}^2, s_{j+1}^2, \dots, s_n^2\} \quad (19)$$

donde $s_{new}^1 = s_j^1 - \omega(s_j^1 - s_j^2)$ y $s_{new}^2 = s_j^2 + \omega(s_j^1 - s_j^2)$ con $\omega \in [0,1]$ como variable aleatoria.

El operador de mutación se implementó como la modificación de la j -ésima variable de la solución, elegida de forma aleatoria, tal que $s_j^1 = s_j^1 + \rho(\omega - 0,5)$ donde $\rho = 0,02$.

Para el GA se tomaron como referencia los valores de 30 individuos, probabilidad de cruce igual a 1 y una probabilidad de mutación de 0,6.

Se definieron tres propuestas evolutivas adicionales: La primera denominada evolución diferencial (DE) que consiste en una técnica evolutiva diseñada principalmente para cromosomas con valores reales (Brownlee, 2011). En la evolución diferencial, los nuevos

individuos se generan mediante operadores diferenciales de mutación y cruce (Neri et al., 2010).

En la literatura hay diversas variantes del DE (Mayer et al., 2005). En este trabajo nos decantamos por la versión clásica de DE/rand/1, donde la generación de nuevos individuos se lleva a cabo por medio de la selección de tres padres diferentes, mediante la ecuación 20, siempre y cuando se cumpla el proceso de cruzamiento dado por el factor de cruzamiento C_R .

$$S = S^1 + F_R(S^2 - S^3) \quad (20)$$

donde F_R corresponde al factor de peso.

Algoritmo 3. Algoritmo Memético (MA).

```

1  function AlgoritmoMemetico
2    P ← generarPoblacion();
3    EvaluarFitness(P);
4    while (no criterio de parada) do
5      for i=1:N/2 do
6        [R1, R2] ← ruleta(P);
7        if Rand[0, 1) < pcrossover then
8          [C1, C2] ← crossover([R1, R2]);
9          agregar(Pi, [C1, C2]);
10       else
11         agregar(Pi, [R1, R2]);
12       end if
13     end for
14     for i := N do
15       if Rand[0, 1) < pmutacion then
16         M ← mutacion(Si);
17         reemplazar(Pi, M);
18       end if
19     end for
20     for i := N do
21       if Rand[0, 1) < plocal then
22         Si ← busquedaLocal(Si);
23       end if
24     end for
25     P=Pi;
26   end while
27   S ← mejorSolucion(P);
28   return S;

```

Para la presente investigación se tomaron como valores para la experimentación $C_R = 0,9$ y $F_R = 0,8$ (Brownlee, 2011).

En el Algoritmo 1 se muestra el pseudocódigo del algoritmo de evolución diferencial empleado. El algoritmo define una población P con N

individuos, como $P = \{S^1, S^2, \dots, S^N\}$. T corresponde a la solución obtenida por el método de cruzamiento diferencial. La función diferencial/4 (el número 4 representa la aridad de la función o el número de parámetros de entrada de la función) se encarga de implementar el operador de cruzamiento con 3 padres. En el Algoritmo 2 se muestra el pseudocódigo de la función diferencial/4.

El segundo método consistió en la hibridación del algoritmo genético (GA) con un mecanismo local, también conocido como algoritmo memético (MA). En particular se estableció un mecanismo de Lamarkismo parcial, i.e., la aplicación de la búsqueda local sólo a una fracción de los individuos, determinada de manera aleatoria por el parámetro p_{local} , en nuestro caso $p_{local} = 0,1$. El método de búsqueda local (LS) utilizado fue el método de *Nelder-Mead* o *downhill Simplex* (Haupt et al., 2004). El método Simplex es un método clásico de descenso de colina para la búsqueda de mínimos locales sin la necesidad del cálculo de derivadas. Utiliza $n+1$ puntos —donde n es la dimensión del problema— para el cálculo de tres

operaciones básicas: reflexión, expansión y contracción. Para el algoritmo memético se estableció un límite de aplicación de la LS, i.e., una profundidad máxima de 5 niveles. La estructura del GA fue idéntica al algoritmo genético explicado anteriormente y con los mismos parámetros. En el Algoritmo 3 se muestra el pseudocódigo del algoritmo memético. Importante mencionar que los parámetros del MA fueron seleccionados sobre la base de la propuesta de Amaya et al. (2011).

El último método propuesto, consistió en la hibridación del algoritmo de evolución diferencial con un método de búsqueda local —en particular, el método de *Nelder-Mead*—. La aplicación del método de búsqueda local está determinada por el parámetro p_{local} y al igual que en el algoritmo memético se eligió como $p_{local} = 0,1$. La aplicación de la búsqueda local en el DE, se utilizó de la misma forma como se propuso en Giannopoulos et al. (2010), i.e., la aplicación de la búsqueda local luego de realizado el ciclo de cruzamiento en el DE. En el Algoritmo 4 se muestra el pseudocódigo de la hibridación del algoritmo de evolución diferencial (DE+LS).

Algoritmo 4. Método de Evolución Diferencial Híbrida (DE+LS).

```
1  function EvolucionDiferencialHibrida
2     $P \leftarrow \text{generarPoblacion}()$ ;
3    EvaluarFitness( $P$ );
4    while (no criterio de parada) do
5      for  $i=1:N$  do
6         $R \leftarrow \text{diferencial}(P, S^i, F_R, C_R)$ ;
7        if  $\text{Rand}[0, 1) < p_{mutacion}$  then
8           $R \leftarrow \text{mutacion}(S^i)$ ;
9          reemplazar( $P_i, R$ );
10       end if
11       if  $f(R) < f(S^i)$  then
12         agregar( $P_i, R$ );
13       else
14         agregar( $P_i, S^i$ );
15       end if
16     end for
17      $P=P_i$ ;
18   end while
19    $S \leftarrow \text{mejorSolucion}(P)$ ;
20   return  $S$ ;
```


RESULTADOS

En primera instancia se implementó y ejecutó el EKF —con valores elegidos al azar de Q y R — asociado al modelo del circuito presentado en la ecuación 2 para la estimación de los estados del sistema. Es importante señalar que para verificar el funcionamiento del filtro en cuanto a la estimación de las señales con la presencia del ruido de las medidas, se perturbó la señal de salida con un ruido Gaussiano con SNR (relación señal a ruido) de 90 dB. Se tomó como tiempo de simulación 20 ms. En la Figura 2 se observa la simulación asociada a las variables x_1 y x_2 ; en la parte superior se puede observar x_1 y en la inferior la variable de estado x_2 . Se debe observar que la línea roja corresponde a la salida del proceso con ruido y la línea azul corresponde a la estimación realizada por el EKF. Cabe resaltar que x_2 debe ser multiplicado por una constante para obtener la corriente del circuito.

Una vez que se comprobó el funcionamiento del EKF para estimar los estados del sistema, se probó el EKF con valores normalizados de Q y R de $[0,1 \ 0,2]$ como se muestran en la Tabla 1. Cada instancia se ejecutó 20 veces. En la Tabla 1 se muestra la media de la función objetivo ($\bar{f}$) y la desviación estándar (σ_f). Se observa que la mejor combinación de $[Q \ R]$ es $[0,1 \ 0,1 \ 0,2 \ 0,2]$.

Todos los algoritmos se implementaron en Matlab® y cada algoritmo propuesto se ejecutó 20 veces en una PC (Intel Core i5 2.40 GHz con 8 GB de RAM) bajo Windows 7. Se impuso un número máximo de evaluaciones de la función de objetivo para encontrar una solución por parte de cada algoritmo, con el fin de establecer un esfuerzo computacional independiente de la

plataforma utilizada (hardware, lenguaje o sistema operativo).

Posteriormente, se llevaron a cabo dos experimentos. El primero consistió en ejecutar los algoritmos propuestos y compararlos con el GA. Se estimó el número de evaluaciones utilizadas por el genético en 1000 y sobre este parámetro se realizó la comparación. En la Tabla 2 se muestran los resultados de los 4 algoritmos, así como, la media y desviación estándar de la función objetivo para cada caso.

El siguiente experimento consistió en determinar la calidad de las soluciones encontradas por los algoritmos propuestos, por lo cual, se ejecutó el modelo de RLC con el EKF, pero ahora con los mejores valores de Q y R obtenidos en la fase anterior. Los resultados computacionales se muestran en la Tabla 3, incluida la media y desviación estándar de la función objetivo en cada caso.

DISCUSIÓN

En las Tablas 1, 2 y 3, se pone de manifiesto la mejora que produce la implantación de las metaheurísticas como método de calibración de las matrices de covarianza Q y R del EKF para el sistema del circuito RLC. De los resultados se desprende que hay un mejor valor de la función objetivo asociada a la calibración de los parámetros de Q y R del EKF realizada mediante metaheurísticas, teniéndose una mejora mínima del 35.26% respecto a los mejores resultados medios de una selección aleatoria de Q y R y una calibración mediante metaheurísticas de estos en parámetros en el peor escenario (peor media).

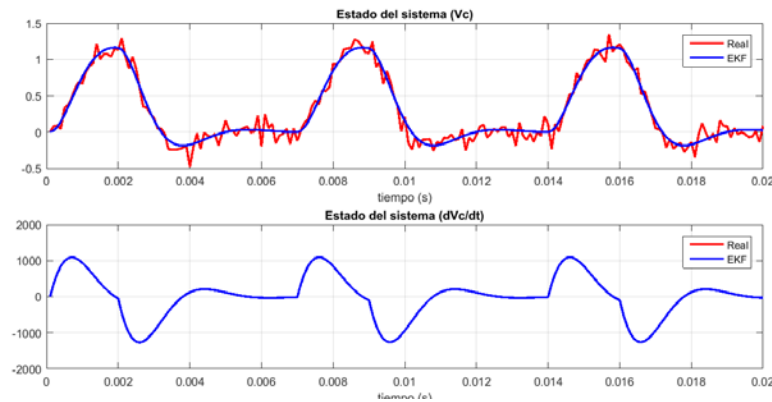


Figura 2. Simulación del circuito RLC. La línea roja es la medición de modelo y la línea azul corresponde a la estimación del EKF.

Tabla 1: Resultados del modelo con diferentes valores de Q y R.

Q	R	$\bar{f}$	σ_f
[0,1 0,1]	[0,2 0,2]	72,071	4,822
[0,1 0,1]	[0,1 0,1]	76,235	5,745
[0,2 0,2]	[0,1 0,1]	82,502	6,642
[0,2 0,2]	[0,2 0,2]	76,839	5,938

Tabla 2: Resultados del modelo con diferentes valores de Q y R.

Método	Q_{best}	R_{best}	f_{best}	$\bar{Q}$	$\bar{R}$	$\bar{f}$	σ_f
GA	[0 0,17]	[0,65 0,86]	42,06	[0,071 0,501]	[0,435 0,753]	47,722	3,385
DE	[0 0,53]	[0,17 0,65]	47,82	[0,202 0,489]	[0,333 0,666]	53,407	2,998
MA	[0 0,16]	[0,56 0,79]	40,86	[0,045 0,433]	[0,393 0,71]	45,772	4,467
DE+LS	[0 0,04]	[0,09 0,71]	46	[0,123 0,469]	[0,316 0,744]	52,419	3,737

Tabla 3: Mejores valores de Q y R, obtenidos por los algoritmos evolutivos.

Q	R	$\bar{f}$	σ_f
[0 0,17]	[0,65 0,86]	50,012	3,94
[0 0,53]	[0,17 0,65]	50,383	3,63
[0 0,16]	[0,56 0,79]	49,247	3,83
[0 0,04]	[0,09 0,71]	50,382	3,79

En la Tabla 2 se puede observar que los resultados —con respecto a la función objetivo— de los algoritmos híbridos propuestos mejoran al GA y a la DE cerca del 11%. Los algoritmos híbridos MA y DE+LS, presentan el mejor desempeño, en particular el algoritmo memético. Se observa que en el caso de las medias es mucho mejor aplicar cualquier algoritmo de la Tabla 2 que utilizar una selección aleatoria —como la mostrada en la Tabla 1— para calibrar los parámetros

mencionados del EKF, pues mejora considerablemente su rendimiento.

Con el fin de determinar la sensibilidad de los parámetros encontrados por los experimentos mostrados en la Tabla 2, se procedió a ejecutar nuevamente el EKF para el circuito RLC, con el mejor conjunto de valores de las matrices Q y R obtenido por cada algoritmo. En la Tabla 3 se muestran los resultados correspondientes, y se puede observar que la ejecución de las

simulaciones conduce a valores similares a los presentados en la Tabla 2. Sin embargo, se debe notar que hay una ligera diferencia debido a los efectos del ruido sobre el proceso.

CONCLUSIONES

En la investigación se han propuesto dos esquemas de metaheurísticas basadas en poblaciones (GA y DE) para la calibración de los parámetros Q y R del EFK, además se definieron esquemas híbridos basados en estrategias integrativas, es decir, la inclusión de mecanismos de búsqueda local como un operador adicional de los algoritmos evolutivos para mejorar el proceso de explotación de soluciones en el espacio de búsqueda. Se desarrollaron 2 estrategias híbridas basadas en GA y DE para calibrar los parámetros de Q y R del Filtro de Kalman Extendido. Los resultados muestran que para el caso de la estimación de los estados del circuito RLC, el algoritmo memético obtiene la mejor calibración del EFK. En cualquiera de los casos, la calibración muestra una mejora significativa en la precisión del EFK.

Como trabajo futuro se pretende probar las estrategias híbridas propuestas como parte del EFK asociado a otros procesos y realizar la calibración *online*. Otro elemento sujeto a investigación futura es la incidencia de los parámetros de cada algoritmo en la calidad de la solución obtenida. Además, se pueden explorar otros mecanismos de hibridación, como por ejemplo, utilizar como mecanismo de LS el recocido simulado o la búsqueda tabú.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento al Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira por su apoyo al desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

Amaya, J. E., Cotta, C., & Fernández-Leiva, A. J. (2011). Memetic cooperative models for the tool switching problem. *Memetic Computing*, 3(3), 199–216.

- Brownlee, J. (2011). *Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*. Lulu.com.
- Diniz, P. (2013). *Kalman Filters in Adaptive Filtering: Algorithms and Practical Implementation*. Boston, MA: Springer US. 623-634.
- Giannopoulos, N., & Nearchou, A. (2010). Lamarckian and Baldwinian learning in differential evolution for production scheduling problems. In the 6th Virtual Conference, Network of Excellence on Innovative Production Machines and Systems 1–5.
- Haupt, R. L. & Haupt, S. (2004). *Practical genetic algorithms*. Wiley-Interscience, second edition.
- Hussain, S., Poddar, S., Ailneni, S., Kumar, V., y Kumar, A. (2015). Tuning of Extended Kalman filter using Human Opinion Dynamics based optimization. In International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC). 1518–1523.
- Lau, T. K., y Lin, K. (2011). Evolutionary Tuning of Sigma-Point Kalman Filters. In 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 771–776.
- Mayer, D. G., Kinghorn, B. P., & Archer, A. A. (2005). Differential evolution – an easy and efficient evolutionary algorithm for model optimization. *Agricultural Systems*, 83(3): 315–328.
- Merraoui, K. El, & Ferdjouni, A. (2014). PSO parameters optimization for EKF and AKF for IM rotor speed estimation. 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, 2: 382–387.
- Moscato, P., Berretta, R., & Cotta, C. (2010). *Memetic Algorithms*. Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science.
- Neri, F., & Tirronen, V. (2010). Recent advances in differential evolution: a survey and experimental analysis. *Artificial Intelligence Review*, Vol. 33.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Pearson Educación, S.A., Madrid, Quinta Edición.

- Olivier, J. (2009). Superimposed chirped pulse parameter estimation based on the Extended Kalman Filter (EKF). In OCEANS 2009-EUROPE. 1–3.
- Sánchez, L., Ordoñez, J., & Infante, S. (2013). Filtro de Kalman Extendido y Filtro de Partículas Kalman Extendido para Problemas de Estimación No Lineal. Revista Ingeniería UC. 7–16.
- Ting, T., Man, K., Lim, E., & Leach, M. (2014). Tuning of Kalman Filter Parameters via Genetic Algorithm for State-of-Charge Estimation in Battery Management System. The Scientific World Journal, 2014, 1–11.

INDUSTRIAL

IDENTIFICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE UN ROBOT MÓVIL DIFERENCIAL A TRAVÉS DE UN PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

IDENTIFICATION OF A MATHEMATICAL MODEL FOR A DIFFERENTIAL MOBILE ROBOT THROUGH AN EXPERIMENTAL PROCEDURE

Autores:

Reyes, Jesús ; García, Jesús; Sánchez, Gerardo; Gil, Ángel

Laboratorio de Prototipos. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

Corresponding Author: jmgarcia@unet.edu.ve

RESUMEN

Este artículo describe el desarrollo del modelado matemático de un robot diferencial seguidor de líneas, que puede aplicarse para generar un sistema de control válido de tracción y direccionamiento. La identificación parte del modelado electrodinámico individualizado de los motores de corriente continua (CC) acoplados al robot, ya que se consideraron las diferencias particulares que estos poseen. Aunque otros autores han estudiado este problema partiendo del modelo electrodinámico de los motores CC, este trabajo se centra en realizar el modelo a través de experimentación en lugar de hacerlo partiendo de los parámetros proporcionados por los fabricantes de los motores. El procedimiento propuesto tiene como intención final obtener la función de transferencia que relaciona la velocidad angular de los motores en función del voltaje de entrada. Para ello, se diseñó un experimento en el que se acoplaron codificadores magnéticos a los motores para medir las variaciones en el desplazamiento angular durante una fase de parada. Luego, se procedió a procesar la información recogida para hallar los parámetros de inercia efectiva (I_e) y coeficiente de roce viscoso efectivo (B_e) para los motores en conjunto con las cajas reductoras acopladas a ellos. El modelo construido se usó para entonar un controlador PID, el cual fue implantado en el robot real. Finalmente, el modelo propuesto fue contrastado con el modelo real al comparar la data obtenida del modelo con la recopilada utilizando el robot en movimiento sobre una pista de pruebas.

ABSTRACT

This paper describes the development of a mathematical follower line-differential modeling robot which may be used to generate a valid traction and driving control system. The identification starts out from the individualized electrodynamic modeling of DC motors coupled to the robot since the particular differences they hold were considered. Although other authors have studied this problem starting from the electrodynamic model of the DC motor, this work focuses on making the model through experimentation instead of starting from the parameters provided by the motor manufacturers. The intention of the proposed procedure is to obtain the transfer function that relates the angular velocity of the motors as a function of the input voltage. For this, an experiment was designed in which magnetic encoders were coupled to the motors to measure the variations in angular displacement during a stop phase. Then, the collected information was processed to find the effective inertia parameters (I_e) and effective viscous friction coefficient (B_e) for the motors together with the gearboxes coupled to them. The built-in model was used to set up a PID controller which was implanted in the real robot. Finally, the proposed model was contrasted with the real model by comparing the data obtained from the model with that collected using the robot in motion on a test track.

Palabras clave: modelo matemático, identificación de modelo, robot diferencial, motor CC, control PID.**Key words:** Mathematical model, model identification, differential robot, DC motor, PID controller.

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico ha incentivado la utilización cada vez más frecuente de robots móviles en espacios interiores, tanto en entornos industriales como domésticos, con el fin de cubrir las necesidades de automatización de algunas tareas cotidianas como la limpieza de espacios, la guía de discapacitados y el transporte de materiales peligrosos dentro de recintos controlados. Ligadas a las crecientes aplicaciones de los robots móviles existen diferentes formas de locomoción, entre ellas el desplazamiento por tracción diferencial, que simplifica el control al accionar solo dos ruedas que comparten un eje estático común.

Diferentes autores han estudiado el modelado matemático de los robots diferenciales con el objeto de implementar estrategias de control de desplazamiento y de trayectorias más precisas. Por ejemplo, Topiwala (2016) presenta el modelo cinemático para un robot diferencial con diseño propio construido utilizando CAD y contrasta sus resultados a través de la herramienta SIMULINK. Salem (2013) desarrolla un modelo matemático partiendo del modelado básico de los motores de corriente continua acoplados al robot diferencial, siguiendo los parámetros proporcionados por el fabricante, el cual considera además las posibles perturbaciones externas que pudiesen afectar el desplazamiento efectivo; asimismo, comprueba su modelo a través de simulaciones computacionales.

Además, Diriba y Zhongmin (2017) y Sandeep y Majumdar (2014) desarrollan un modelo cinemático diseñado con el objetivo de mejorar el control de sus robots sobre trayectorias preestablecidas; posteriormente aprovechan dicho modelo para adaptar un controlador PID que luego es simulado a través de Matlab. Indiveri *et al.* (2007) diseñan un modelo cinemático y lo implementan en el control del robot móvil con dirección deslizante Kurt3D, probándolo mediante un controlador PI combinado con *PWM* (modulación por ancho de pulsos), unido a una estrategia de seguimiento de caminos por odometría y giro-odometría.

En el presente trabajo se estudia el modelo electrodinámico de los motores de corriente continua incorporados a un robot diferencial, empleando un proceso experimental para determinar los valores reales de inercia efectiva y coeficiente de roce viscoso efectivo del sistema motor-reductor, que no son proporcionados por el fabricante, para de esta manera obtener una mejor aproximación a los parámetros que condicionan el desempeño real de los motores a través de su función de transferencia. El modelo de los motores antes citado se agregó luego al modelo cinemático del robot diferencial. Posteriormente, se procedió a la validación de los resultados del modelo utilizando SIMULINK para ajustar un controlador PID que se implementó sobre un robot seguidor de líneas.

MÉTODO

En la investigación se adoptó un enfoque cuantitativo que, según Hernández *et al.* (2014): “es útil para evaluar, comparar, interpretar, establecer precedentes y determinar causalidad y sus implicaciones” (p. 35); por tanto, es útil para tratar un problema medible u observable, como lo es la formulación y validación de un modelo matemático para un robot móvil. En función de ello, se siguieron las siguientes etapas: a) desarrollo de un modelo teórico adecuado para describir los conjuntos motor-reductor presentes en el robot; b) diseño y ejecución de un procedimiento experimental que permitiese aproximar los parámetros desconocidos del modelo; c) desarrollo del modelo cinemático del robot diferencial usando los modelos de los motores-actuadores ya definidos; d) validación del modelo mediante pruebas realizadas con SIMULINK y contrastadas con pruebas efectuadas en el prototipo funcional de un robot diferencial seguidor de líneas.

RESULTADO

Modelo electrodinámico de los motores

Al ser componentes electromecánicos, los motores DC deben ser modelados partiendo de la asociación entre sus modelos eléctrico y

dinámico. Por lo general, el torque generado por un motor DC (τ_m) puede describirse como:

$$\tau_m = K_t * i_A \quad (1)$$

$$\tau_m = I\ddot{\theta}_m + b\dot{\theta}_m \quad (2)$$

donde K_t representa la constante de torsión, i_A es la corriente de la armadura, $\ddot{\theta}_m$ define la aceleración angular del motor y $\dot{\theta}_m$ representa su velocidad angular.

Por otra parte, el circuito eléctrico del motor puede representarse siguiendo la Ley de voltaje de Kirchhoff a través de:

$$L \frac{di}{dt} + R_a * i_A = V_s - e \quad (3)$$

donde L es la inductancia del embobinado, R_a representa la resistencia del motor, V_s es el voltaje suministrado y e representa la fuerza contraelectromotriz. Adicionalmente se debe resaltar que, en los motores utilizados, L es muy cercana a 0 y, por ende, se considerará despreciable. De esta forma, la ecuación 3 se puede simplificar como:

$$R_a * i_A = V_s - e \quad (4)$$

Asimismo, la fuerza contraelectromotriz e depende proporcionalmente de la velocidad angular del motor.

$$e = K_e * \dot{\theta}_m \quad (5)$$

donde K_e representa la constante contraelectromotriz del motor en cuestión. Por otra parte, la ecuación 2 puede combinarse con la ecuación 1 para expresarse como:

$$I\ddot{\theta}_m + b\dot{\theta}_m = K_t i_A \quad (6)$$

donde I es la inercia de motor y b su coeficiente de roce viscoso. Esta ecuación representaría únicamente el torque producido por el motor, pero, ya que el motor tiene acoplada una caja de engranajes, la ecuación 2 debe reescribirse en términos de conjunto actuador-reductor:

$$\tau_l = (I_l + \eta^2 I_m) \ddot{\theta}_l + (b_l + \eta^2 b_m) \dot{\theta}_l \quad (7)$$

donde τ_l representa el par de torsión de carga, η es la razón de la caja de engranajes, I_m y b_m son la inercia y el coeficiente de roce viscoso del motor, I_l y b_l son la inercia y el coeficiente de roce viscoso del reductor, y $\ddot{\theta}_l$ y $\dot{\theta}_l$ representan la velocidad angular y la aceleración angular del eje de salida del reductor.

Asimismo, el término $(I_l + \eta^2 I_m)$ se denomina inercia efectiva del conjunto (I_e) y el término $(b_l + \eta^2 b_m)$ se llama amortiguación efectiva del conjunto (b_e) (Saha, 2014). Además, el par de torsión de carga (τ_l) se relaciona con el par de torsión del motor (τ_m) a través de $\tau_l = \eta \tau_m$. Por ende, la ecuación 1 se transforma en:

$$\tau_l = \eta K_t i_A \quad (8)$$

Luego de aplicar la transformada de Laplace a las ecuaciones que describen el modelo eléctrico y dinámico del conjunto motor-reductor, se consigue el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} \tau_l(s) = K_t i_A(s) \eta = \dot{\theta}_l(s)(I_e s + b_e) \\ R_a i_A(s) = V_s(s) - \eta K_e \dot{\theta}_l(s) \end{cases} \quad (9)$$

de donde se obtiene la función de transferencia del sistema actuador-reductor que representará la variación de la velocidad angular de cada rueda del robot en función de la variación en voltaje de entrada:

$$\frac{\dot{\theta}_l(s)}{V_s(s)} = \frac{\eta K_t}{R_a(I_e s + b_e) + \eta^2 K_t K_e} \quad (10)$$

El fabricante de los motores no proporciona los valores nominales de I_m , b_m , I_l y b_l ; por tanto, se procedió al diseño de un experimento para calcular I_e y b_e de forma aproximada.

Experimento de desconexión

Este ensayo se basó en la premisa de que, al hacer girar sin carga el conjunto actuador-reductor con velocidad angular constante y luego desconectar el suministro eléctrico, la velocidad angular disminuirá hasta que $\dot{\theta}_l = 0$ únicamente

debido el efecto de la resistencia ofrecida por los componentes internos del conjunto, siguiendo la ecuación 7.

Lo antes expuesto puede resumirse en:

$$\theta_l(t) = \begin{cases} \dot{\theta}_l * t + k, & \text{Si } t \leq t_D \\ \text{desconocido}, & \text{Si } t_D < t < t_S \\ \theta_f, & \text{Si } t \geq t_S \end{cases} \quad (11)$$

donde t_D indica el momento de la desconexión; a partir de este instante, el voltaje proveído a los motores es nulo y se representa formalmente como $V_s(t \geq t_D) = 0$. t_S es el momento en el que el eje de salida del eslabón deja de rotar, es decir, $\dot{\theta}_l(t_S) = 0$.

Se hizo uso de los encoders magnéticos acoplados directamente al eje de los motores para dilucidar el comportamiento de $\theta_m(t)$ y determinar el comportamiento aproximado de $\theta_l(t)$ en el intervalo (t_D, t_S) . Dicha medición puede ser formalizada como:

$$\theta_m(t) = \frac{2\pi}{\eta_R} [T(t) - T(t_D)] \quad (12)$$

$$\theta_l(t) = \frac{\theta_m(t)}{\eta} \quad (13)$$

donde $T(t_D)$ define el número de pulsos del encoder en el momento de la desconexión, $T(t)$ es el número de pulsos (ticks) del encoder en el momento t , y η_R representa la cantidad de pulsos que es capaz de detectar cada encoder por revolución (resolución).

La variación en $\theta_l(t)$ fue registrada aplicando

$$V_s(t < t_D) = V_i * r_{PWM} \quad (14)$$

donde V_i representa el voltaje nominal de entrada al puente H utilizado durante el experimento y r_{PWM} es la relación que regula el valor de voltaje suministrado a cada motor de acuerdo al valor de PWM_i (i-ésimo valor de PWM aplicado por el microcontrolador para muestrear el comportamiento de $\dot{\theta}_l$) a través de la fórmula $r_{PWM} = \frac{PWM_i}{255}$. Durante el experimento se empleó $V_i = 6$ V. Los valores de PWM_i implementados durante la experiencia fueron 140 ($r_{PWM} = 0.549$), 160 ($r_{PWM} = 0.6274$), 180 ($r_{PWM} = 0.7058$) y 200 ($r_{PWM} = 0.7843$). No se aplicaron valores inferiores de PWM_i porque la variación en $\theta_m(t)$, y por ende en $\theta_l(t)$, no podía ser medida con precisión. El comportamiento registrado de $\theta_l(t)$ se puede apreciar en la figura 1, con una traslación temporal por la cual $t = t_D \rightarrow t = 0$.

Luego, se aplicó un método de regresión para adaptar $\theta_l(t_D < t < t_S)$ a un comportamiento aparentemente exponencial siguiendo la traslación temporal descrita con anterioridad. Así, pues,

$$\theta_l(t)_i = -a_i e^{-b_i t} + c_i \quad (15)$$

donde, $\theta_l(t)_i$ representa la función $\theta_l(t)$ para el i-ésimo valor del PWM ; a_i , b_i y c_i se interpretan como los coeficientes resultantes del método de regresión exponencial para las muestras experimentales de $\theta_l(t)$ para el i-ésimo valor de PWM . Asumiendo que $\theta_l(t)_i$ es continua, se puede derivar con respecto al tiempo y se obtiene:

$$\dot{\theta}_l(t)_i = a_i b_i e^{-b_i t} \quad (16)$$

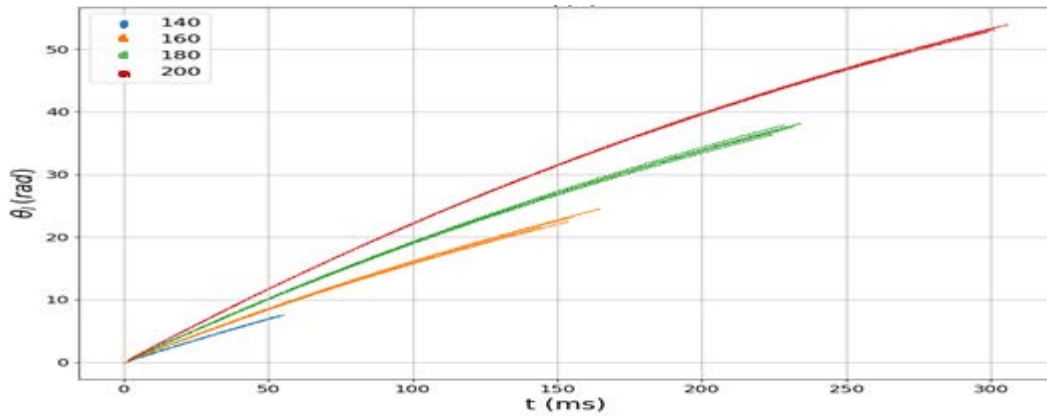


Figura 1: Comportamiento de θ_l en el período $t_D < t < t_S$ para distintos valores de PWM_i .

$$\ddot{\theta}_l(t)_i = -a_i b_i^2 e^{-b_i t} \quad (17)$$

Para obtener I_e y b_e se hace un despeje tomando en cuenta que en $t=0$ cambia el comportamiento de $\theta_l(t)_i$ debido a que la velocidad angular deja de ser constante, por lo que $\ddot{\theta}_l(t=0)_i = 0$. Además, puesto que las mediciones del desplazamiento de los ejes se realizan en tiempo discreto, no se puede conocer con precisión la velocidad angular instantánea correspondiente a $\dot{\theta}_l(t=0)_i$, por lo que la primera medida de la velocidad angular instantánea se produce en un momento infinitesimalmente posterior a la desconexión, es decir, $\dot{\theta}_l(t=0)_i \rightarrow \dot{\theta}_l(t=0^+)_i$. Tomando en cuenta lo antes descrito, se puede reformular la ecuación 7 como:

$$\tau_l(t=0)_i = b_{ei} \dot{\theta}_l(0^+)_i \quad (18)$$

por lo que

$$b_{ei} = \frac{\tau_l(0)_i}{\dot{\theta}_l(0^+)_i} = \frac{K_t * i_A(0^+)_i * \eta}{\dot{\theta}_l(0^+)_i} \quad (19)$$

Adoptando lo expuesto en las ecuaciones 4 y 7, y sabiendo que $V_s(t \geq 0) = 0$, puede reescribirse la ecuación 19 como:

$$\begin{aligned} b_{ei} &= \frac{K_t * \left[-\frac{e(0^+)_i}{R_a} \right] * \eta}{\dot{\theta}_l(0^+)_i} \\ &= \frac{K_t * \left[-\frac{K_e * \eta * \dot{\theta}_l(0^+)_i}{R_a} \right] * \eta}{\dot{\theta}_l(0^+)_i} \end{aligned} \quad (20)$$

Luego, conociendo el valor aproximado de b_e y para el i -ésimo valor de PWM , se puede aproximar I_e usando:

$$I_{ei} = \frac{K_t * i_A(t)_i * \eta - b_{ei} * \dot{\theta}_l(t)_i}{\ddot{\theta}_l(t)_i} \quad (21)$$

Finalmente, se promediaron los valores para las i -ésimas iteraciones con el fin de obtener el valor aproximado de las constantes requeridas para cada motor. Los resultados se pueden apreciar en la tabla 1.

Tabla 1: Valores de las constantes I_e y B_e

Motor	$I_e \text{ Kg} * \text{m}^2$	$b_e \frac{\text{Kg} * \text{m}^2}{\text{s}}$
Izquierdo	3.9729×10^{-5}	1.1906×10^{-5}
Derecho	3.9425×10^{-5}	1.2368×10^{-5}

Modelo cinemático del robot

Un robot diferencial posee dos ruedas simétricas de radio r controladas independientemente. Estas se alinean concéntricamente sobre el mismo eje separadas por una distancia $2K$ (Figura 2). Asimismo, se asume que las ruedas no se deslizan y que el robot presenta un movimiento no holonómico. La variación en la velocidad angular de ambas ruedas permitirá el control de la trayectoria del robot de acuerdo con las ecuaciones 22 y 23 (Saha, 2014):

$$v_R(t) = \frac{r [\omega_d(t) + \omega_i(t)]}{2} \quad (22)$$

$$\omega_R(t) = \frac{r [\omega_d(t) - \omega_i(t)]}{2k} \quad (23)$$

donde:

- $v_R(t)$ representa la velocidad lineal del sistema de coordenadas del robot, debido a que el robot presenta un desplazamiento no holonómico $v_R(t) = v_{R_x}(t)$ por ser $v_{R_y}(t) = 0$.
- $\omega_R(t)$ es la velocidad angular del sistema de coordenadas robot.
- $\omega_i(t)$ y $\omega_d(t)$ son las velocidades angulares de las ruedas izquierda y derecha respectivamente.

Estrategia de control

El control de la trayectoria del robot diferencial se diseñó partiendo del control individual de las velocidades angulares de las ruedas. Para ello, se aplicó una estrategia de control mediante *PWM*, que permite regular la proporción del voltaje nominal (6V) suministrado a los motores como voltaje de entrada.

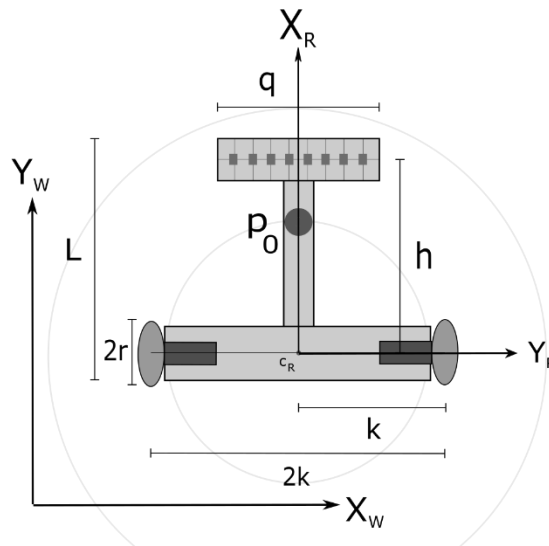


Figura 2: Diseño geométrico del robot diferencial seguidor de líneas empleado para validar el modelo matemático obtenido. Sus dimensiones se encuentran resumidas en la tabla 2.

Tabla 2: Dimensiones del robot ensamblado para validar el esquema de control

Medida	Valor (cm)
K	7.25
2r	3.30
L	12.0
h	10.5
q	9.0

La señal de entrada del *PWM* es provista por un controlador PID. La variable por controlar es el error en el ángulo de desplazamiento (ϕ_e) respecto a una trayectoria determinada, y se puede definir formalmente como:

$$\phi_e = \text{atan} \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad (24)$$

donde Δx representa la separación en el eje X_R entre el centro de rotación del robot (C_R) y la ubicación que demarca la trayectoria a seguir en el cabezal de sensores instalados al frente del robot (Figura 3); y Δy representa la distancia constante que separa el cabezal de sensores del centro de rotación.

Se establece como punto de ajuste $\phi_e = 0$, indicativo de que el robot se halla perfectamente alineado con la trayectoria a seguir. Como se puede apreciar en la figura 4, el diagrama conceptual del sistema del robot toma en cuenta su modelo cinemático y el modelo electrodinámico de sus actuadores.

Validación

El modelo de los motores DC obtenido se simuló computacionalmente a través de la herramienta SIMULINK. También se simuló el sistema de control mediante un bloque controlador PID de tiempo discreto para, de esta forma, entonar las constantes k_p , k_i , k_d y el coeficiente de filtro N necesarios para la implantación del esquema de control en un robot seguidor de líneas (Figura 5).

El robot fue controlado a través de un Arduino Micro utilizando la información de la posición de línea que provee un arreglo de sensores infrarrojos de reflectancia Pololu QTR-8A, ubicados en el frente. Los actuadores fueron los motores Pololu 10:1 Micro Metal Gearmotor HP de 6V estudiados en el modelado, los cuales son accionados a través del control por *PWM* con un puente H TB6612FNG como decodificador de señal. Y un módulo Bluetooth sirvió en la recolección de data para telemetría.

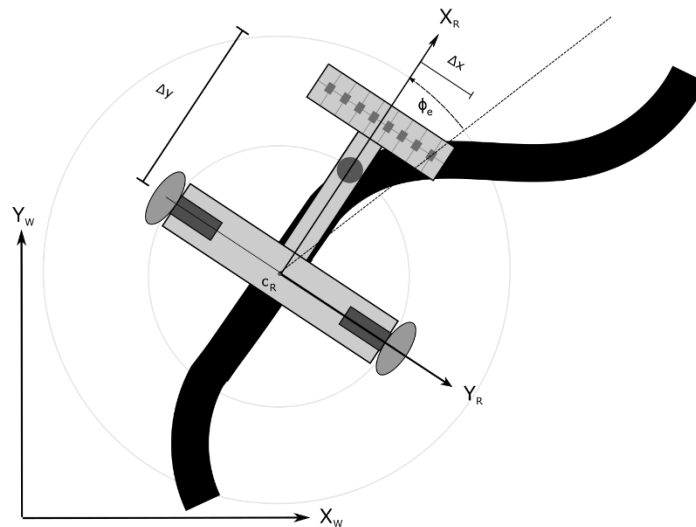


Figura 3: Esquema del robot en movimiento sobre una trayectoria arbitraria y la relación geométrica que le permite determinar el error en el ángulo de desplazamiento (ϕ_e).

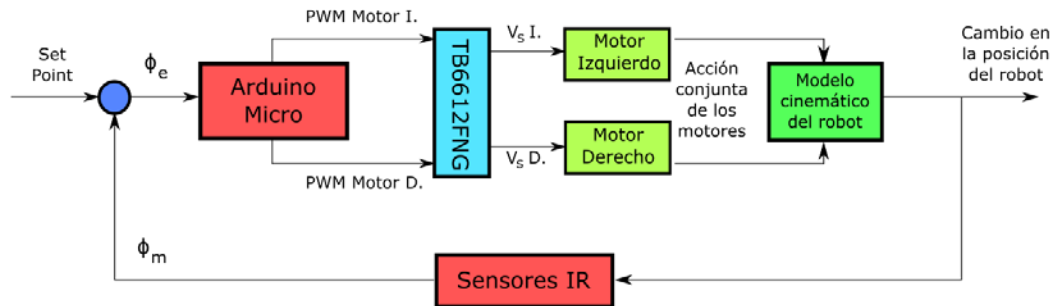


Figura 4: Diagrama conceptual de una implementación de control para un robot seguidor de líneas que utilice el modelo matemático desarrollado.

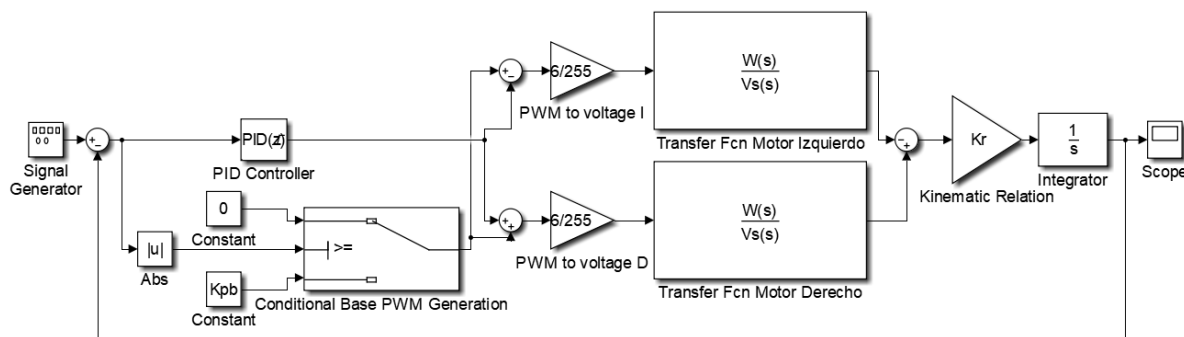


Figura 5: Implementación del esquema de control del robot móvil diferencial en la herramienta SIMULINK.

Al realizar pruebas reales y compararlas con el modelo se encontró que la velocidad angular estimada en SIMULINK para el motor izquierdo, aplicando un *PWM* de 200 (4.70 V), fue de 218.53 rad/s, mientras que la velocidad angular real promedio, medida a través de los encoders, fue de 252.04 rad/s, con lo que se obtiene un error de 13.30 %. Luego, aplicando un *PWM* de 140 (3.29 V), fue de 152.97, mientras que la velocidad angular real promedio fue de 161.98 rad/s, lo cual supone un error de 5.56 %. De forma similar, la velocidad angular estimada para el motor derecho, aplicando un *PWM* de 200, fue de 210.77 rad/s, mientras que la velocidad angular real promedio fue de 243.70 rad/s, y ello significa un error de 13.51 %; aplicando un *PWM* de 140, fue de 147.53 rad/s, mientras que la velocidad angular real promedio fue de 156.94 rad/s, con error de 6.00 %.

Asimismo, se probó el esquema de control en una pista de pruebas similar a la que usaron Indiveri *et al.* (2007); en este caso, el robot logró mantenerse sobre la trayectoria en 55 de 60 pruebas realizadas, en las cuales la velocidad media del robot fue de 0.9 m/s; por lo tanto, se obtuvo una efectividad de 91,66 % en el cumplimiento del objetivo de seguir la trayectoria demarcada.

DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta el contraste entre las mediciones reales de la velocidad angular de ambos motores y su correspondiente simulación en SIMULINK, se puede observar que el error de predicción en el modelo electrodinámico aumenta conforme se incrementa el valor de *PWM* aplicado. Un error de alrededor de 6 % es aceptable para el rango de velocidades medias en

dichos motores, aunque hay que ser cuidadosos a la hora de replicar la experiencia para altas velocidades angulares, ya que la capacidad predictiva del modelo puede verse sesgada por errores muy grandes, mayores a 10 %.

Por otra parte, las pruebas realizadas en el robot real, llevadas a cabo utilizando el esquema de control entonado, obtuvieron resultados desfavorables en lo que respecta a la velocidad promedio alcanzada, si se comparan con el caso de baja velocidad abordado por Indiveri *et al.* (2007), en el que las velocidades promedio obtenidas se acercaban a los 2 m/s, mientras que en este trabajo fueron de aproximadamente 0.9 m/s; pero con la ventaja de que frente a un avance en trayectorias curvas ambos motores contribuyeron a mantener la trayectoria en lugar de saturar uno de ellos y mantener el otro detenido.

Es importante resaltar que el esquema de control implementado solo considera el modelo cinemático del robot como conjunto, por lo que resultó muy sensible a las perturbaciones relacionadas con sus parámetros dinámicos, especialmente en las secciones de la trayectoria que implicaban una perturbación importante en el error de posición frente a la línea (segmentos curvos de la trayectoria). Este fenómeno se puede observar claramente en la figura 6, donde se aprecian las gráficas que muestran la salida de *PWM* del controlador y el error medido en radianes registrado a través de telemetría y un módulo bluetooth mientras el robot se mueve en

un segmento de un circuito de prueba que contempló una recta corta y dos curvas pronunciadas consecutivas. Las perturbaciones introducidas por efectos dinámicos al tomar las curvas con alta velocidad causaron una variación muy rápida en la señal de control que podrían reducirse ampliando el modelo propuesto para considerar parámetros tales como distribución de la masa en el robot e inercia. También se pudo apreciar a simple vista que dicho esquema de control, al no considerar la fricción existente entre la superficie de pruebas y las ruedas, provocaba el deslizamiento de estas (derrape) y un sobreesfuerzo de los motores para llevar a cabo la acción de control. Es posible que estas mejoras del controlador permitan perfeccionar la tracción y elevar la velocidad promedio de desplazamiento.

CONCLUSIONES

Se presentó un procedimiento experimental para hallar el modelo electrodinámico para motores de corriente continua (DC), utilizando encoders magnéticos acoplados al eje de los motores con el fin de recoger información que luego se aprovechó para calcular los valores aproximados de los parámetros de inercia efectiva y coeficiente de roce viscoso efectivo del conjunto motor-reductor, ya que el fabricante del conjunto no los proporciona. Es importante mencionar que este modelo toma en cuenta las diferencias individuales entre cada uno de los motores para cada uno de los parámetros obtenidos.

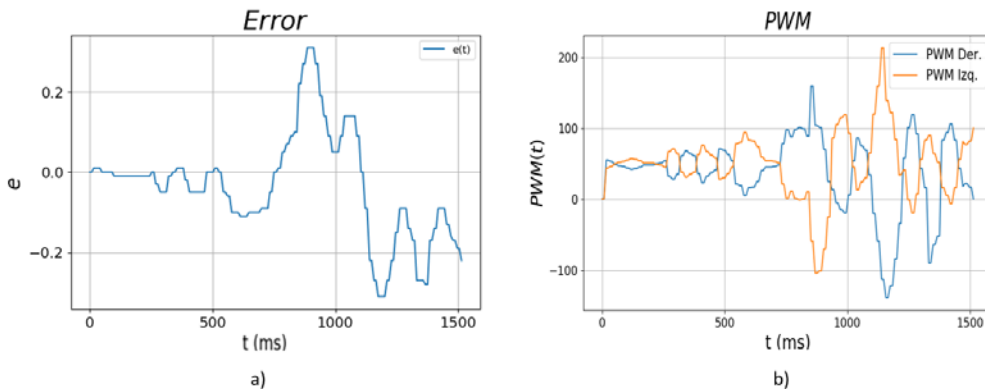


Figura 6: Resultados de prueba experimental: a) error angular (rad); b) salida de *PWM* del controlador registrado a través de telemetría (los valores negativos del *PWM* indican que el motor ha de girar en sentido contrario).

Posteriormente, se empleó el modelo individualizado de los motores para construir el modelo cinemático del robot diferencial. Además, tomando como base dicho modelo se entonó un controlador PID para un robot real.

Con el fin de validar los resultados obtenidos, tanto el modelo de los motores como el del robot y el esquema de control entonado fueron simulados en la herramienta SIMULINK, y luego se implementaron pruebas análogas con un robot seguidor de líneas. Se determinó que el modelo desarrollado es válido para un rango de velocidades intermedias con errores en la medición de velocidad angular por debajo de 6 %.

Como trabajo futuro, se estudiará el desarrollo de un esquema de control que considere los parámetros dinámicos del robot para, de esta manera, controlar las perturbaciones causadas por la inercia del conjunto. Asimismo, se espera implantar una mejor estrategia para el seguimiento de caminos que permita reducir la sobresaturación del controlador y el sobreesfuerzo de los actuadores.

REFERENCIAS

Diriba, B., Zhongmin, W. (2017). Design and Control for Differential Drive Mobile Robot. *International Journal of Engineering*

Research & Technology (IJERT), 6(10), 327–335.

Hernández, R., Fernández, C., Baptista M. (2014). *Metodología de la investigación*, Sexta Edición. McGraw Hill.

Indiveri, G., Nüchter, A., & Lingemann, K. (2007). High speed differential drive mobile robot path following control with bounded wheel speed commands. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, (April), 2202–2207. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2007.363647>

Salem, F. A. (2013). Dynamic and Kinematic Models and Control for Differential Drive Mobile Robots. *International Journal of Current Engineering and Technology*. ISSN 2277 - 4106

Saha, Subir Kumar (2014). *Introduction to Robotics*. McGraw Hill Education (India) Private Limited.

Sandeep Kumar M., Majumdar, J. (2014). Kinematics, Localization and Control of Differential Drive Mobile Robot. *Global Journal of Researches in Engineering*, 14(1).

Topiwala, A. (2016). Modeling and Simulation of a Differential Drive Mobile Robot. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(7), 1410–1415.

INDUSTRIAL

CONTROL DE UN PÉNDULO INVERTIDO USANDO EL FILTRO DE KALMAN EXTENDIDO PARA LA ESTIMACIÓN SIMULTÁNEA DE ESTADOS Y PARÁMETROS INCIERTOS

CONTROL OF AN INVERTED PENDULUM USING THE EXTENDED KALMAN FILTER FOR THE SIMULTANEOUS ESTIMATION OF UNCERTAIN STATES AND PARAMETERS

Autores:**Tarazona, María¹; Rodríguez, José²**¹Departamento de Matemática y Física. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela²Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela**Corresponding Author:** maria.tarazona@unet.edu.ve**RESUMEN**

En el presente artículo se considera la estimación simultánea de los estados y parámetros de un sistema dinámico no lineal. En particular, se implementa un Filtro de Kalman Extendido (FKE) como estimador de los valores desconocidos de los estados y parámetros de un péndulo invertido, que representa el sistema no lineal. El péndulo invertido se compone, básicamente, de un brazo articulado en un carro que puede moverse sobre una guía rectilínea horizontal. El brazo se puede mover libremente alrededor de la articulación en el carro y el objetivo del control es llevar el brazo del péndulo a la posición de equilibrio inestable superior, moviendo el carro en el plano horizontal. El péndulo invertido es un sistema inestable, pues puede caer en cualquier momento a menos que se aplique una fuerza de control adecuada en el movimiento del carro. La aplicabilidad práctica del sistema de control del péndulo invertido resalta en campos de la ingeniería como grúas, brazos robóticos, entre otros. Para la presente investigación se tomaron como parámetros desconocidos por el sistema o incertidumbres, los valores de la masa del péndulo, la masa del carro y la longitud de la barra. Una vez realizada la estimación de los parámetros y estados mediante el FKE, se implementa el control por realimentación de estados estimados, utilizando la técnica de control óptimo. Cuando el sistema es controlado, se valida el diseño del controlador con base en su capacidad para resistir perturbaciones. Los resultados demuestran que el FKE presenta un buen desempeño en cuanto a la estimación de los valores desconocidos de los estados y parámetros. Además, la técnica de realimentación de estados parece ser adecuada para el proceso del péndulo invertido, pues es robusta ante perturbaciones.

ABSTRACT

This paper looks at the simultaneous estimation of the states and parameters of a nonlinear dynamic system. In particular, an Extended Kalman Filter (FKE) is applied as an estimator of the unknown values of the states and parameters in an inverted pendulum which represents the nonlinear system. The inverted pendulum is basically composed of a support arm articulated in a car which can move on a horizontal rectilinear guide. The harness can move freely around the articulation in the car being the objective of the control to bring the pendulum arm to the position of unstable upper balance, moving the carriage in the horizontal plane. The inverted pendulum is an unstable system because it can fall at any time unless an adequate control force is applied in the movement of the car. The practical applicability of the inverted pendulum control system stands out in engineering fields such as cranes, robotic arms, among others. This study took as the values of the mass of the pendulum, the mass of the car and the length of the bar as unknown parameters by the system or uncertainty. Once the estimation of the parameters and states through the FKE has been carried out, control by feedback of estimated states is employed using the optimal control technique. When the system is controlled, the design of the controller is validated based on its capacity to withstand disturbances. The results show that the FKE presents a good performance regarding the estimation of the unknown values of the states and parameters. In addition, the technique of state feedback seems to be adequate for the inverted pendulum process since it is robust to perturbations.

Palabras clave: Filtro de Kalman Extendido, Estimación de parámetros, Estimación de estados, Control por realimentación de estados.

Key words: Extended Kalman filter, Estimation of parameters, Estimation of states, Control by feedback of states.

Recibido: 01/03/2018 **Aprobado:** 09/05/2018 **Versión Final:** 27/08/2018

INTRODUCCIÓN

El péndulo invertido es un sistema ampliamente utilizado en la ingeniería de control con el fin de probar nuevas técnicas de control tanto en el ambiente físico como bajo ambiente de simulación. El sistema se compone básicamente de un brazo articulado en un carro que puede moverse sobre una guía rectilínea horizontal. El brazo se puede desplazar libremente alrededor de la articulación en el carro y el objetivo del control es llevar el brazo del péndulo a la posición de equilibrio inestable superior, moviendo el carro en el plano horizontal. El péndulo invertido es un sistema inestable, pues puede caer en cualquier momento a menos que se aplique una fuerza de control que lo mantenga en su posición de equilibrio (Hernández *et al.*, 2012).

Una de las técnicas empleadas para controlar sistemas dinámicos es el control por realimentación de los estados. En la referida técnica, la acción de control es determinada por el valor instantáneo de los estados y el valor de la ganancia definida para el sistema. La obtención de esta ganancia se puede estimar mediante una técnica denominada LQR (*linear quadratic regulator*). Este método proporciona un control óptimo siempre y cuando se calibren adecuadamente sus parámetros.

La presente investigación aborda el control de sistemas dinámicos sobre un modelo no lineal representado por el péndulo invertido. El

control del sistema se realiza bajo el enfoque de realimentación de estados estimados, donde se utiliza el filtro de Kalman Extendido como estimador de los estados y parámetros del péndulo invertido, pues el modelo en cuestión presenta parámetros cuyos valores son inciertos.

Las referencias al problema de estimación de estados y parámetros de un sistema dinámico se pueden encontrar en la literatura a partir de los años 60 (Kalman, 1960). Desde entonces, este problema ha sido abordado a través de diferentes técnicas. Sánchez *et al.* (2013) propusieron una metodología basada en los algoritmos Filtro de Kalman Extendido y Filtro de Partículas Kalman Extendido, para estudiar el problema de estimación de parámetros en modelos dinámicos con estructuras no lineales, pero con errores de observación Gaussianos.

Un enfoque interesante se describe en el artículo de Liu and Niranjana (2012). En esta investigación se realiza un análisis comparativo del desempeño de diversos filtros basados en el algoritmo de Kalman estándar, usados para la estimación de parámetros y estados no observados del sistema de respuesta celular de la bacteria *Escherichia coli*. Sus resultados muestran que el filtro de Kalman Extendido es un buen estimador tanto de los parámetros como de los estados para el sistema, convergiendo de valores muy cercanos a los valores reales del sistema dinámico.

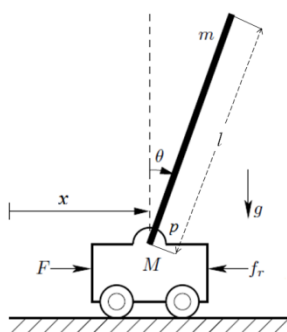


Figura 1. Representación del péndulo invertido.

MÉTODO

La metodología seguida en la presente investigación fue regida por 3 etapas fundamentales. La primera consistió en definir el

modelo matemático del Péndulo Invertido; la segunda tuvo que ver con el desarrollo y la implementación del FKE como método de estimación de los estados y parámetros inciertos del sistema. Finalmente, en la tercera etapa, se

implementó el control por realimentación de estados estimados con el fin de controlar el sistema del Péndulo Invertido. A continuación se describen las etapas mencionadas.

Modelo Matemático del Péndulo Invertido

El péndulo invertido es conocido por ser uno de los problemas más importantes y clásicos de la teoría de control. Se trata de un control inestable y no lineal que constituye un banco de pruebas para la ingeniería de control (Hernández *et al.*, 2012). En la Figura 1 se aprecia que el centro de masa del péndulo se encuentra a una distancia l de la articulación que lo vincula con el carro. El péndulo y el carro sólo se pueden mover en el plano de la figura. Con las variables x y θ se describe el desplazamiento horizontal del carro con respecto al punto de referencia fijo p y el ángulo del péndulo con la dirección vertical, respectivamente.

Para realizar el control del péndulo se representó en forma matemática el comportamiento dinámico de las partes mecánicas en movimiento. Posteriormente, se obtuvieron las ecuaciones (1) y (2), que constituyen el modelo matemático de este sistema, representado por dos ecuaciones diferenciales simultáneas con dos incógnitas que describen el péndulo invertido en el carro.

$$(I + ml^2)\ddot{\theta} = mlg\theta - ml\ddot{x} - C\dot{\theta} \quad (1)$$

$$(M + m)\ddot{\theta} + ml\ddot{\theta} + F_r\dot{x} = F \quad (2)$$

Donde m denota la masa del péndulo, M es la masa del carro, I representa el momento de inercia de la articulación respecto al centro de

gravedad del péndulo, F_r denota la fuerza de fricción y C es una constante de fricción del péndulo.

El control del sistema no lineal se considera bajo el modelo de espacio de estados (Ogata, 2010) y sus ecuaciones se muestran a continuación:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \vdots \\ \dot{x}_{n-1} \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \\ f(x, u) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$y = g(x, u) \quad (4)$$

donde el punto en la ecuación (3) representa la diferenciación con respecto al tiempo, es decir, $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$. El vector u es el vector de entradas del sistema. La ecuación (4) representa la ecuación de salida del sistema.

Las ecuaciones linealizadas alrededor del punto de operación del modelo en el espacio de estados se muestran en las ecuaciones (5) y (6). $A(t)$ es la matriz de estado, $B(t)$ es la matriz de entrada, $C(t)$ es la matriz de salida y $D(t)$ es la matriz de transmisión directa. En la Figura 2 se muestra un diagrama de bloques de un sistema continuo en representación de espacios de estados.

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) \quad (5)$$

$$y = C(t)x(t) + D(t)u(t) \quad (6)$$

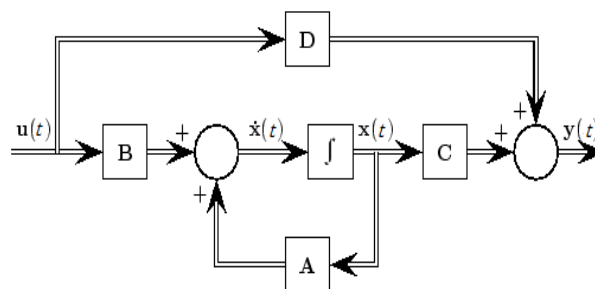


Figura 2. Diagrama de bloques de un sistema continuo en representación de espacio de estado.

Para la presente investigación el vector de estados $\dot{x}$ del sistema del péndulo invertido se compone de 4 elementos mostrados en la ecuación (7): el desplazamiento del carro x , el ángulo del péndulo respecto a la vertical θ , la velocidad del carro $\dot{x}$ y la velocidad angular dada por $\dot{\theta}$.

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ \theta \\ \dot{x} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (7)$$

El vector u tiene sólo un elemento, la fuerza aplicada al carro.

Para encontrar las matrices A y B es necesario expresar las ecuaciones (1) y (2) en la forma $\dot{x} = f(x, u)$, veamos:

$$\dot{x}_1 = f_1(x, u) = x_3 \quad (8)$$

$$\dot{x}_2 = f_2(x, u) = x_4 \quad (9)$$

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{M+m} [u - ml\dot{x}_4 - k_r x_3] \quad (10)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{1}{I + ml^2} [mlg x_2 - ml\dot{x}_3 - C x_4] \quad (11)$$

Para linealizar las ecuaciones 10 y 11 y así encontrar los coeficientes de las matrices A y B , estas deben tener la forma de la ecuación 12, con a_{ij} y b_i constantes.

$$\dot{x}_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + b_i u \quad (12)$$

Para la linealización se tomó únicamente el primer término de la serie de Taylor y se consideró el punto de equilibrio $x = 0$ y en una condición estática $u = 0$. Las matrices A

y B de la ecuación de estado se muestran en la ecuación (13).

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \text{ y } B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Asimismo, las matrices C y D de la ecuación de salida se presentan en la ecuación (14).

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ y } D = 0 \quad (14)$$

Los coeficientes de las matrices A y B se muestran en las ecuaciones (15) y (16).

Los parámetros del sistema del péndulo invertido establecidos en la presente investigación se muestran en la Tabla 1.

$$\begin{aligned} a_{32} &= -\frac{m^2 l^2 g}{(M+m)(I+ml^2) - m^2 l^2} \\ a_{33} &= -\frac{K_r(ml^2 + I)}{(M+m)(I+ml^2) - m^2 l^2} \\ a_{34} &= \frac{mlC}{(M+m)(I+ml^2) - m^2 l^2} \\ b_3 &= \frac{I + ml^2}{(M+m)(I+ml^2) - m^2 l^2} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} a_{42} &= \frac{mlg(M+m)}{(M+m)(I+ml^2) - m^2 l^2} \\ a_{43} &= \frac{K_r ml}{(M+m)(I+ml^2) - m^2 l^2} \\ a_{44} &= -\frac{C(M+m)}{(M+m)(I+ml^2) - m^2 l^2} \\ b_4 &= -\frac{ml}{(M+m)(I+ml^2) - m^2 l^2} \end{aligned} \quad (16)$$

Tabla 1. Parámetros del Péndulo Invertido.

Parámetro	Descripción	Valor	Unidad
m	Masa del péndulo	0,5	Kg
M	Masa del carro	2	Kg
l	Longitud de la barra	0,5	m
I	Momento de inercia	0	$Kg \cdot m^2$
K_r	Constante de proporcionalidad	0	Kg/s^2
C	Constante de fricción del péndulo	0	m^2/s
g	Aceleración de gravedad	0	m/s^2

Filtro de Kalman Extendido como método de estimación

Para realizar la estimación de los parámetros del péndulo se utilizó el vector de estados extendido propuesto por Liu *et al.* (2012) y que se muestra en la ecuación (17).

$$\dot{x} = f(x, \gamma, u) \quad (17)$$

donde x representa el vector de estados, γ representa el vector de parámetros cuyos valores son inciertos y u es la entrada del sistema.

Usando la extensión de estados, la estimación de los parámetros del péndulo se convierte en una estimación de estados a partir de las observaciones realizadas en el sistema. Para calcular dicha estimación es necesario diseñar un algoritmo que pueda estimar x y γ de las mediciones de y . Este algoritmo está basado en el Filtro de Kalman Extendido (FKE).

El FKE es un algoritmo presentado por Schmidt (1970) que se basa en el filtro de Kalman estándar y linealiza el sistema en cuestión, en torno a una estimación de la media y la covarianza actual, utilizando series de Taylor. El FKE ejecuta dos etapas para la estimación: una etapa predictiva y una etapa correctiva.

Ecuaciones del FKE

- Para iniciar el algoritmo se suponen conocidos la condición inicial $x(0)$ y el error de covarianza inicial $P(0)$.

- Las ecuaciones de actualización del FKE (*estimación a priori*) vienen dadas por:

$$\hat{x}_t^- = \int f(\hat{x}_{t-1}^-) dt \quad (18)$$

$$\dot{P} = A_t P + A_t^T P + Q \quad (19)$$

$$P_t^- = \int \dot{P}_{t-1}^+ dt \quad (20)$$

donde: $\hat{x}_t^-$ representa el estado actual a priori y es obtenido por la integración del estado del proceso en tiempo continuo, en el intervalo de tiempo $[t-1 \ t]$. El error de covarianza a priori P_t^- es determinado por la integración de la ecuación diferencial de Lyapunov, mostrada en la ecuación 19 y Q es el ruido del proceso.

La matriz A_t mostrada en la ecuación (19) es la matriz Jacobiana del proceso y bajo el enfoque de la extensión de estados, se calcula como:

$$K_k = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} & \frac{\partial f_1}{\partial \gamma_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \gamma_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} & \frac{\partial f_n}{\partial \gamma_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial \gamma_m} \end{bmatrix} \quad (21)$$

- Se calcula la ganancia de Kalman, que viene dada por la ecuación (22).

$$K_t = P_t^- H_t^T [H_t P_t^- H_t^T + R]^{-1} \quad (22)$$

- Las ecuaciones de corrección del filtro (*estimación a posteriori*) vienen dadas por:

$$\hat{x}_t^+ = \hat{x}_t^- + K_t(y_t - \hat{y}_t) \quad (23)$$

$$P_t^+ = (I - K_t H_t) P_t^- \quad (24)$$

donde: y representa la salida del sistema, la matriz H relaciona la medición y_t con el vector de estado x_t , I es una matriz identidad de orden n y R es el ruido de medición.

En la Figura 3 se muestra el algoritmo del FKE donde se resumen los pasos descritos anteriormente.

Algoritmo 1. Filtro de Kalman Extendido.

```

1 function Kalman_Extendido()
2   Inicializar  $\hat{x}_{t-1}^-$  y  $P_{t-1}^+$ 
3   //Inicio de las etapas de predicción y actualización
4   for t=1,N
5     Calcular  $\hat{x}_t^- = \int f(\hat{x}_{t-1}^+) dt$ 
6     Calcular  $P_t^-$ , usando  $\dot{P} = A_t P + P A_t^T + Q$  y  $\int \dot{P}_{t-1}^+ dt$ 
7     Calcular la ganancia de Kalman  $K_t$ , usando
         $P_t^- H_t^T [H_t P_t^- H_t^T + R]^{-1}$ 
8     Actualizar el estado a posteriori:
         $\hat{x}_t^+ = \hat{x}_t^- + K_t (y_t - h(\hat{x}_t^-))$ 
9     Actualizar la covarianza a posteriori:
         $P_t^+ = (I - K_t H_t) P_t^- (I - K_t H_t)^T + K_t R K_t^T$ 
10  end
11 end

```

Figura 3. Algoritmo del Filtro de Kalman Extendido.

Control por Realimentación de Estados

Si tenemos el sistema descrito por la ecuación (5) y arbitrariamente seleccionamos una matriz K de tal manera que $u(t) = -Kx(t)$ entonces la ecuación de estados quedará de la forma presentada en la ecuación (25).

$$\dot{x}(t) = (A - BK)x(t) \quad (25)$$

Lo que significa que la acción de control está condicionada por el valor instantáneo de los estados del sistema. A este esquema de control se le llama Realimentación de Estados, donde K es la ganancia de realimentación de estados.

Para obtener los valores de K se utilizó el control óptimo LQR (*Linear Quadratic Regulator*). Este método proporciona un procedimiento sistemático para calcular la ganancia óptima, de forma tal que la realimentación del estado minimice la función de costo de la ecuación (26).

$$J = \int_0^\infty (x^T Q x + u^T Q u) dt \quad (26)$$

Las matrices Q y R determinan la importancia relativa del error y del coste de la energía de las señales de control (Ogata, 2010).

RESULTADOS

Para implementar el Filtro de Kalman Extendido se eligieron como parámetros desconocidos por el sistema, la masa del péndulo, la masa del carro y la longitud de la barra. El algoritmo se inicia con el vector de estados extendido

$x = [0,3 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1,5 \ 1]$, los 3 últimos elementos corresponden a los valores iniciales para la estimación de cada uno de los parámetros del péndulo. Se utilizó como entrada de control una fuerza de 0,1N.

Los elementos de la matriz R , se obtuvieron midiendo la covarianza de las observaciones del sistema en modo *off-line*. La matriz de covarianza Q fue definida como una matriz diagonal de 10^{-5} y los elementos de la diagonal de la matriz de covarianza P_0 son $[10^2 \ 10^2 \ 10^2 \ 10^2 \ 10^{-2} \ 10^{-2} \ 10^{-2}]$. Las simulaciones para la estimación se implementaron en Matlab® utilizando un periodo de muestreo de 1 ms y se ejecutaron en una PC (Intel Celeron 1.30 GHz, con 2 GB de RAM) bajo Windows 7.

La Figura 4 describe los resultados de la estimación de los parámetros para el proceso del péndulo invertido empleando el FKE. Los valores numéricos de los parámetros se actualizaron a partir del tiempo de estabilización de 2 segundos. Se tomó como criterio una tolerancia de 5 % para el error de estimación de cada uno de los parámetros. Estos valores se muestran en la Tabla 2.

Una vez estimados los parámetros, se calcularon los valores de las matrices A y B de la ecuación de estados, estos se muestran en la ecuación (27).

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -2,56 & 0 & 0 \\ 0 & 25,59 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,5 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Tabla 2. Valores estimados de los parámetros del péndulo invertido.

Parámetro	Valor Real	Valor Estimado	Error de medición (%)
M	0,5	0,5248	4,96
M	2	2,0072	0,36
L	0,5	0,4830	3,4

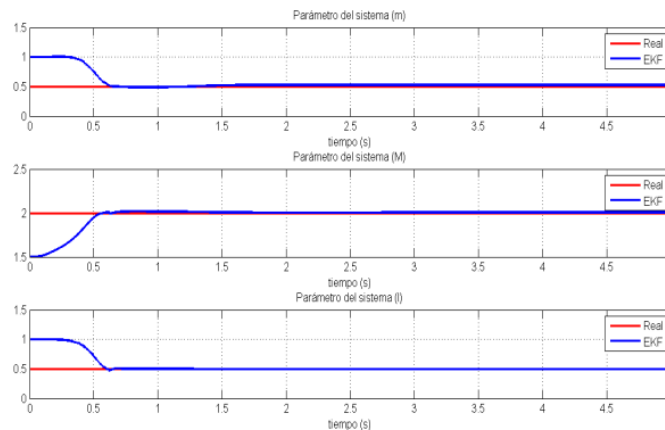


Figura 4. Estimación de los parámetros del péndulo invertido mediante el FKE.

Diseño del sistema de control

El objetivo del control del péndulo invertido radica en que el sistema mantenga su posición “invertida”, es decir, $x_2=0$, sin apartar el carro de una posición de referencia fija $x_1 \approx 0$.

Al iniciar el diseño del controlador se determinó si el sistema era controlable y observable, por ello se verificó que el rango de la matriz de controlabilidad y de la matriz de observabilidad fuera n , que es el número total de estados del sistema (4 en el caso del péndulo invertido). Esto fue realizado utilizando los comandos *ctrb* y *obsv* del toolbox de sistemas de control de Matlab,

cuyos resultados comprobaron que el sistema es completamente controlable y observable.

Para comprobar que cualquier perturbación provoca la inestabilidad esperada se simuló el sistema en lazo abierto, obteniéndose las salidas mostradas en la Figura 5. Aunque el péndulo iniciaba en una posición de equilibrio, el valor del ángulo empieza a caer a mayor velocidad, debido a que no existe un controlador que se encargue de estabilizarlo.

De esta forma se validó el modelo del péndulo invertido.

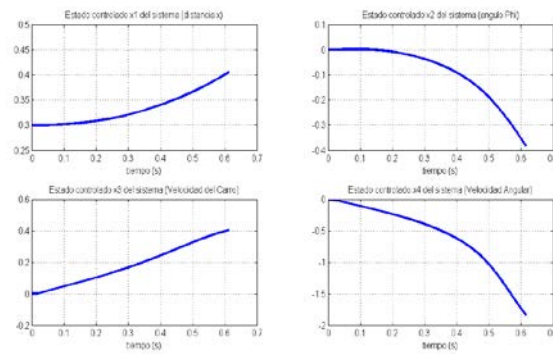


Figura 5. Respuesta en lazo abierto del péndulo invertido.

Ganancia de Realimentación

El método de realimentación de estados, supone la ventaja de separar el problema en dos pasos independientes. En el primer paso, se asume que se tienen disponibles todas las variables de estado para ser retroalimentadas, con el fin de obtener la expresión que permite calcular la señal de control. En el segundo paso, se utiliza el FKE como observador para estimar los estados del sistema. El diagrama de bloques que muestra el control por realimentación de estados, se muestra en la Figura 6.

El control por realimentación se realizó utilizando la ganancia determinada con la técnica LQR. Para encontrar la ganancia K que proporciona el control más eficiente en este caso y según el esquema mostrado en la Figura 6, se realizaron pruebas con diferentes valores

para obtener la matriz Q_{lqr} . Por otra parte, la matriz de rendimiento R_{lqr} adoptó el valor de 1.

Los valores propios de cada uno de los pesos del regulador se muestran en las ecuaciones (28) y (29), estos se adquirieron a partir de ensayos de prueba y error con el fin de obtener el vector de ganancia K cuyos valores se muestran en la ecuación (30).

$$Q_{lqr} = \begin{bmatrix} 1000 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0,48 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0,37 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,03 \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$R_{lqr} = 1 \quad (29)$$

$$K = \begin{bmatrix} -31,68 \\ -128,05 \\ -25,81 \\ -27 \end{bmatrix}^T \quad (30)$$

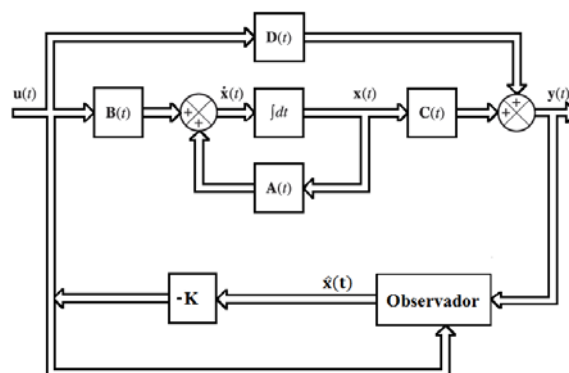


Figura 6. Realimentación de estados observados.

Implementación del controlador

Al tener el vector de ganancia K , se realizó el control por realimentación de estados

estimados. El comportamiento del péndulo puede observarse en la Figura 7. Para comprobar el buen funcionamiento del controlador, se incluyó una perturbación que

físicamente puede provenir de una alteración en el ángulo de inclinación del péndulo como, por ejemplo, un pequeño empujón (esta perturbación se sumó al ángulo que tiene el cuerpo del péndulo en un tiempo igual de 3,5 segundos). En este caso la perturbación fue de 10 grados, aproximadamente, para observar cómo se comporta el sistema.

En la Figura 8 se observa que el péndulo comienza a inclinarse, pero inmediatamente el controlador trata de compensar su caída (que en lazo abierto sería inevitable), aplicando una entrada de control determinada por la realimentación. Finalmente, el péndulo se estabiliza en 6 segundos, lo que valida el diseño del controlador al tener la capacidad para resistir perturbaciones.

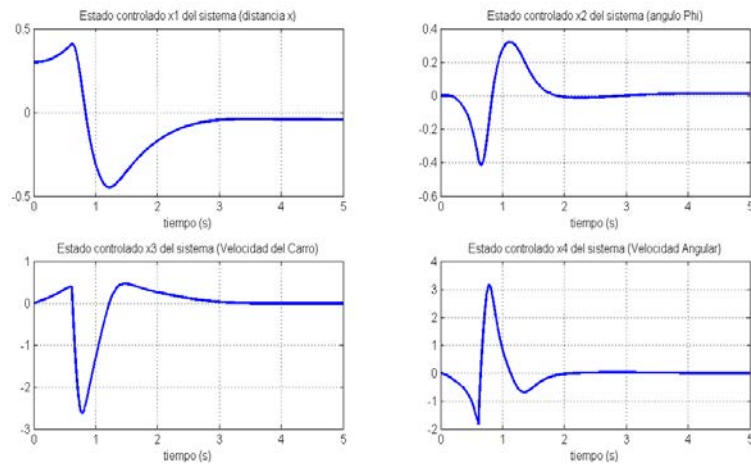


Figura 7. Control por realimentación de estados del péndulo invertido.

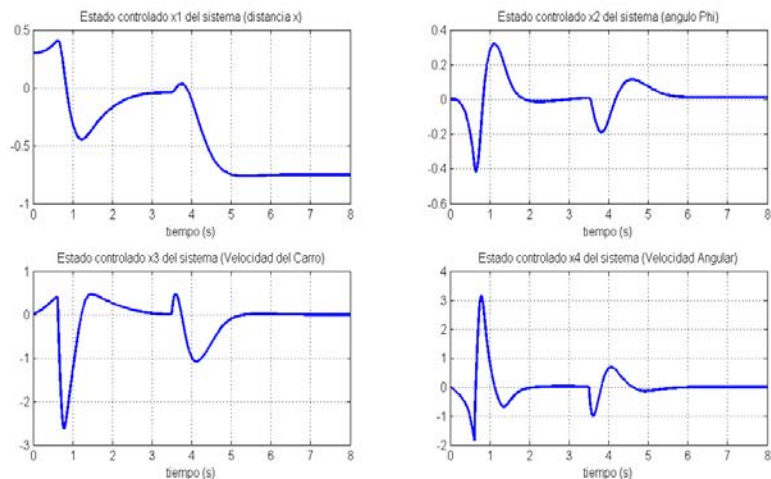


Figura 8. Control del péndulo por realimentación de los estados con perturbación

DISCUSIÓN

Según la gráfica mostrada en la Figura 4, los valores estimados por el FKE son muy cercanos a los valores reales del sistema, pero de acuerdo a las iteraciones realizadas son muy sensibles a los valores iniciales de covarianzas. Según Yan *et al.* (2008) el camino para encontrar los valores de la matriz de covarianza *a priori* es conseguido *ad hoc*.

Se observó que al incluir parámetros como estados adicionales, el modelo ampliado será, en general, no lineal y puede tener problemas de observabilidad. Por esta razón, se debe analizar la observabilidad del modelo de estado ampliado.

Luego de la estimación, se observó que la técnica de realimentación de estados estimados parece ser adecuada para el control del péndulo invertido, pues es robusta ante perturbaciones. Cabe resaltar que para obtener un mejor rendimiento en el controlador se debe tener en consideración una adecuada selección de los pesos de las matrices que conforman el regulador LQR.

CONCLUSIONES

Se desarrolló el FKE y se demostró su eficiencia como estimador de estados y parámetros cuyos valores presentan incertidumbre en el proceso del péndulo invertido. Una vez se realizó la estimación, se cumplió con el objetivo de diseñar un controlador para el sistema de péndulo invertido, a partir de la técnica de realimentación de estados estimados, obteniendo la ganancia de realimentación a partir de la técnica de control óptimo (LQR). Cabe resaltar que para obtener un mejor rendimiento se debe tener en consideración una adecuada selección de los pesos de las matrices del LQR.

Como trabajo futuro se propone mejorar la respuesta general del algoritmo del Filtro de Kalman Extendido mediante la utilización de distintas alternativas algorítmicas (lógica difusa, redes neuronales, entre otras) para la obtención de las matrices de covarianzas *a priori* (Q y R), de forma tal que se pueda obtener un comportamiento más robusto del filtro.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento al Decanato de Investigación y al Laboratorio de Computación de Alto Rendimiento (LCAR), de la Universidad Nacional Experimental del Táchira por su apoyo y soporte durante el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- Hernández, A., Legaspi, M., Peláez, J. (2012). Control inteligente de un péndulo invertido. Technical report, Universidad Complutense de Madrid.
- Kalman, R. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. Transactions of the ASME. Journal of Basic Engineering, 82:35–45.
- Liu, X., Niranjana, M. (2012). State and parameter estimation of the heat shock response system using kalman and particle filters. Bioinformatics, 28:1501–1507.
- Ogata, K. (2010). Ingeniería de Control Moderna. Pearson Educación, S.A., Madrid, Quinta Edición.
- Sánchez, L., Ordoñez, J., Infante, S. (2013). Filtro de Kalman extendido y filtro de partículas Kalman extendido para problemas de estimación no lineal. Revista Ingeniería UC: 7–16.
- Schmidt, S. (1970). Computational techniques in kalman filtering. AGARDograph 139, NATO Advisory Group for Aerospace Research and Development.
- Yan, J., Yuan, D., Xing, X., and Jia, Q. (2008). Kalman filtering parameter optimization techniques based on genetic algorithm. In International Conference on Automation and Logistics (IEEE), pages 1717–172.

INDUSTRIAL

HERRAMIENTAS 2.0 PARA FOMENTAR EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE LOS CONTENIDOS MATEMÁTICOS EN LA CARRERA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**TOOLS 2.0 TO BOOST SIGNIFICANT MATHEMATICAL CONTENT LEARNING IN THE ANIMAL PRODUCTION ENGINEERING CAREER****Autores:****Peña, Tania¹; Barbosa, Alexandro²; Zambrano, Ramón³**¹Laboratorio de Investigación en Matemática Pura y Aplicada (LIMPA). Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, estado Táchira. República Bolivariana de Venezuela.²Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, estado Táchira. República Bolivariana de Venezuela.³Laboratorio de Investigación para el Mejoramiento de la Producción Animal (LIMPRA). Decanato de Investigación. San Cristóbal, estado Táchira. República Bolivariana de Venezuela.**Corresponding Author:** rzambran@unet.edu.ve**RESUMEN**

La investigación ejemplifica un proceso reflexivo de la praxis docente sobre la actitud de docentes y estudiantes hacia las nuevas tecnologías en el proceso de aprendizaje donde se indaga en los recursos y estrategias empleadas de forma recurrente en su experiencia de aula. Esto con el propósito de elaborar una propuesta de ambientes de aprendizaje basada en herramientas Web 2.0 para fomentar el aprendizaje significativo de los contenidos matemáticos en la carrera de Ingeniería en Producción Animal. Metodológicamente, el estudio se enmarcó bajo las características de una investigación de campo de índole descriptiva. Es de resaltar que esta propuesta acerca al docente a una realidad que debe ser profundizada, así mismo, la necesidad de un repensar paradigmático de las prácticas docentes. La población de estudio estuvo conformada por profesores de materias de la especialidad y estudiantes cursantes de la carrera. La investigación permitió identificar cuáles conceptos matemáticos se les dificultan a los estudiantes y correlacionarlos con los requerimientos de las asignaturas con bajo rendimiento de la carrera de Ingeniería en Producción Animal, entre las que destacan Genética, Nutrición y Mejoramiento Animal. Los resultados indican que es factible la implementación de ambientes virtuales (Youtube, Moodle, Blog, Software matemáticos, entre otros) que fortalezcan el proceso de enseñanza y aprendizaje de los contenidos matemáticos, ya que la mayoría de los encuestados mostraron una actitud positiva hacia los recursos tecnológicos y su aplicación en el ámbito educativo.

ABSTRACT

The research illustrates a reflective process in the teaching praxis based on the attitude of teachers and students towards new technologies applied in the learning practice exploring the resources and strategies used regularly in the classroom. The above, with the purpose of setting up a proposal for learning environments based on Web 2.0 tools to encourage significant learning of mathematical contents in the Animal Production Engineering career at Tachira National University (UNET). Methodologically, this study supports a field-descriptive investigation. It is noteworthy that this proposal brings up the teacher closer to a reality that must be deepened, likewise, the need for a paradigmatic rethinking in teaching practices. The study included teachers and students in the Production Animal engineering career. This research allowed the authors to identify which mathematical concepts are difficult for the students in order to correlate them with the requirements needed for the poor performers in subject matters studied in the Animal Production engineering career, among which are Genetics, Nutrition and Animal Improvement. The results indicate that it is feasible to implement virtual environments (Youtube, Moodle, Blog, Mathematical Software, among others) which look at strengthening the teaching and learning practice of mathematical contents since most of the survey respondents showed a positive attitude towards the technological resources and their application in the educational field.

Palabras clave: web 2.0, docentes, estudiantes, aprendizaje, virtualidad.**Key words:** web 2.0, teachers, students, learning, virtuality.

INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XX a los jóvenes se les llegó a llamar generación net, generación conectada o la generación de la web. El nombre era un signo de adhesión al ciberespacio. Poco después, a partir de autores como Prensky (2010) se les llamó nativos digitales, generación 2.0 y se asociaron con los videojuegos o personas que buscaban socializar en Internet, es decir, que preferían invertir el tiempo delante de la pantalla de un ordenador en lugar de los libros.

Un aspecto que no se puede dejar de lado en el análisis de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas en educación superior es el reconocimiento de que las nuevas generaciones aprenden de manera diferente, todo ello gracias a los grandes y vertiginosos adelantos tecnológicos. Prensky (2010) menciona que para entender esos cambios y sus repercusiones es necesario conocer inicialmente los conceptos nativos digitales e inmigrantes digitales. El primero hace alusión a las nuevas generaciones que nacieron y se han desarrollado en un contexto que se caracteriza por el uso cotidiano de los adelantos tecnológicos; mientras que el segundo, se refiere a aquellos que por su situación etaria no han vivido tan intensamente su impacto, pero su influencia les ha significado un proceso de adaptación y aprendizaje.

En la actualidad, una de las tendencias más significativas en la enseñanza universitaria va dirigida hacia el aprendizaje del alumno mediante el estudio independiente y autónomo a través de los ambientes de aprendizajes virtuales y esto se debe a los procesos transformadores que son producto de la dinámica social. La matemática constituye una herramienta fundamental en la formación del ingeniero, por ello se debe lograr que su proceso de enseñanza y aprendizaje sea eficiente y eficaz. Por tanto, el docente comprometido con la calidad educativa debe estar presto a los cambios paradigmáticos que redireccionan la praxis hacia la diversidad de recursos que sustituyan el modelo mecanicista hacia modelos de enseñanza abiertos y flexibles donde se favorece el intercambio de información entre estudiante y alumno, así como el anclaje de

los conceptos previos de forma significativa, lo cual es fundamental para la asimilación de los conocimientos específicos en las respectivas asignaturas de profesionalización.

La Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) inició sus labores académicas con las Carreras en Ciencias del Agro como Ingeniería Agronómica y Zootecnia (actualmente llamada Ingeniería de Producción Animal), entre otras. Recientemente se creó Ingeniería Agroindustrial. Dichas Mallas Curriculares vienen a satisfacer la demanda de desarrollo en la región tachirense y el país, expresado en términos de generación de conocimientos, transferencias de tecnologías y formación de profesionales íntegros, eficientes y efectivos. El aprendizaje de estas Ciencias, tienen como fundamento básico el conocimiento matemático, que exigirá del estudiante disciplina y organización a fin de plantearse estrategias direccionadas hacia la asimilación del conocimiento, acorde a sus individualidades. Sin embargo, se viene visualizando, con preocupación, el bajo rendimiento académico que muestran los estudiantes que están accediendo a sus estudios universitarios, particularmente, en la asignatura de Matemática I la cual es esencial, no sólo para adecuarse a los requerimientos propios de la educación superior, sino para enfrentar satisfactoriamente las unidades curriculares de ciclo profesional. Esta problemática situación se refleja en la información suministrada por la Coordinación de Control y Evaluación de la UNET, la cual resalta que el porcentaje de reprobados para el lapso académico 2013-II en la asignatura fue del 89,11 %; 89,66 % y 90 % para las carreras de Agronomía, Agroambiental y Producción Animal, respectivamente.

Por todo lo descrito anteriormente, la presente investigación se centró en factores cognitivos y actitudinales del educando hacia el aprendizaje de los contenidos matemáticos, teniendo como caso de estudio: los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Producción Animal. El objetivo general consistió en promover el uso de herramientas de la Web 2.0 para fomentar el aprendizaje significativo de los contenidos

matemáticos en la carrera. Para su consecución, se diagnosticaron las actitudes que tenían los docentes y alumnos en cuanto al uso de las tecnologías. Seguidamente, se indagó en los contenidos matemáticos que sustentan las áreas de especialización de la carrera objeto de estudio y finalmente se desarrolló una propuesta basada en herramientas 2.0 para fomentar el aprendizaje significativo de los contenidos matemáticos de la Ingeniería de Producción Animal.

MÉTODO

El estudio realizado se ubicó en una investigación de campo, ya que guarda relación con la definición emitida por el Manual de trabajos de grado de especialización, maestría y tesis doctorales de la UPEL (2010) cuando establece que la misma consiste en un análisis sistemático de problemas en la realidad, con el objetivo bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad. En este caso, la población de estudio estuvo conformada por siete (7) docentes de materias de la especialidad y cuarenta (40) alumnos cursantes de la asignatura Matemática I de la carrera de Ingeniería en Producción Animal del período académico 2014-1.

Así mismo, la investigación se apoyó en una investigación descriptiva, señalado por Hernández *et al.* (2014), ya que buscó especificar propiedades y características del fenómeno estudiado. Adicionalmente, la

investigación se enmarcó bajo la modalidad de proyecto factible, que según el manual de la UPEL (2010), radica en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales.

El estudio cubrió la fase conceptual, donde se determinó la pertinencia y viabilidad de la investigación. Se realizó la revisión bibliográfica, sustento teórico del trabajo. Luego, la fase de diagnóstico y factibilidad, en la cual se aplicó la técnica de la encuesta. Para ello se elaboró un cuestionario que se aplicó a docentes y estudiantes. La información obtenida permitió identificar las características básicas dentro de la población como son: actitud hacia la incorporación de las herramientas tecnológicas en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los contenidos matemáticos.

Posteriormente, se aplicó la fase de diseño en la que se elaboró la propuesta de acuerdo a los resultados obtenidos y la experiencia de aula de los investigadores en sus aplicaciones de innovación educativa.

RESULTADOS

La Figura 1, muestra los conceptos con niveles de dificultad de aprendizaje según los docentes y los estudiantes encuestados. En este sentido, para el primer grupo, el estudio de los Límites presenta la mayor dificultad con un valor promedio del 85,3 %. En el caso de los estudiantes, los tópicos de mayor dificultad de aprendizaje fueron la Integración, los Límites y la Derivación con valores promedios de 73,4 %; 72,5 % y 69,6 %, respectivamente.

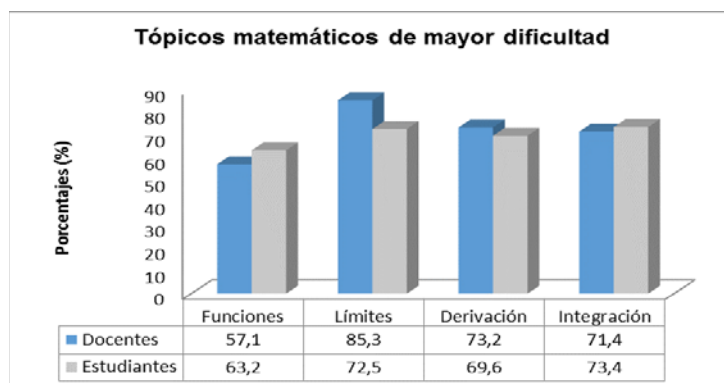


Figura 1. Tópicos matemáticos de mayor dificultad para los estudiantes de Matemática I de la carrera de Ingeniería de Producción Animal de la UNET.

Con respecto al bajo rendimiento observado en la asignatura objeto de estudio, la Figura 2

muestra las principales causas observada por docentes y estudiantes.

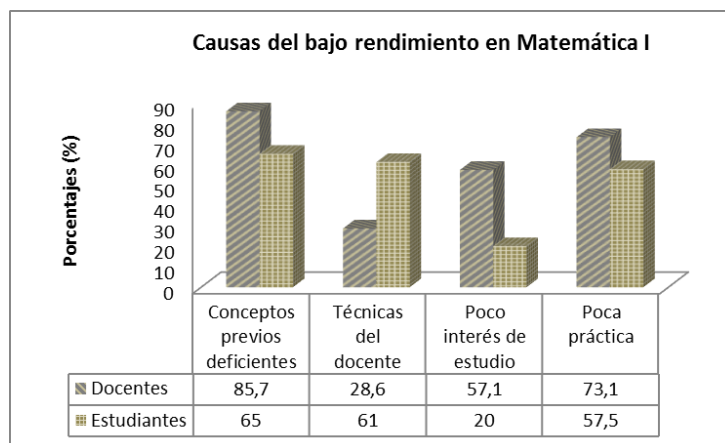


Figura 2. Causas del bajo rendimiento de la asignatura Matemática I de la carrera de Ingeniería de Producción Animal de la UNET.

Ambos grupos, coinciden en señalar que los deficientes conceptos recibidos previamente y la poca ejercitación son las principales causas del bajo rendimiento presentado en esta asignatura (85,7 y 65 %, respectivamente). Lupiañez y Rico (2011) concuerdan en afirmar que los estudiantes al ingresar a la educación universitaria no cuentan con los conocimientos básicos para resolver las operaciones matemáticas de cualquier tipo, lo que origina deserciones tempranas en las diferentes carreras de ingeniería y afines.

Desde el punto de vista de la dimensión metodológica, los resultados indican que los docentes continúan utilizando el pizarrón como principal recurso de enseñanza (Figura 3), además de la incorporación en baja proporción de las plataformas virtuales. En este sentido, los aspectos metodológicos para afrontar el proceso de enseñanza y aprendizaje en la educación del siglo XXI son primordiales, pues los estudiantes conviven día a día con los avances tecnológicos y la praxis docente debe enfocarse en este particular. Sin embargo, los resultados observados muestran que en promedio los profesores siguen con prácticas tradicionalistas.

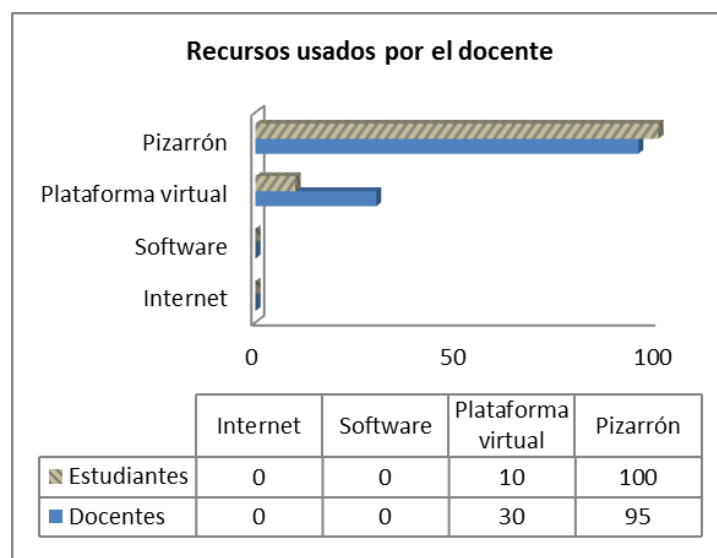


Figura 3. Principales recursos usados por los docentes de la carrera de Ingeniería de Producción Animal de la UNET.

Ahora bien, con respecto a la la dimensión actitudinal hacia la tecnología, ambos grupos concuerdan en que el uso de herramientas informáticas como recurso didáctico en el desarrollo de las clases de Matemática I es totalmente viable ($> 90\%$). Ríos y Cebrián (2010) afirman que el uso de las tecnologías: a) favorece el acceso a una gran cantidad de información y de una forma más rápida; b) favorece el autoaprendizaje, la individualización en la enseñanza, y la socialización; c) posibilita el desarrollo de simulaciones para favorecer en el alumnado la toma de decisiones; d) motiva al alumnado haciendo el trabajo más creativo y ameno; y e) permite crear formas de trabajar parecidas a las que tendrán los alumnos en sus futuras vidas profesionales. Por ello, es importante que la actitud tecnológica manifestada por los estudiantes y profesores sea de aceptación hacia el empleo de los recursos informáticos en las prácticas didácticas de las clases de Matemática.

DISCUSIÓN

De manera general, los resultados obtenidos en los instrumentos aplicados a los docentes y estudiantes permiten establecer que es factible la implementación de ambientes virtuales que

fortalezcan el proceso de enseñanza y aprendizaje de los contenidos matemáticos, ya que la mayoría de los encuestados mostraron una actitud positiva hacia los recursos tecnológicos y su aplicación en el ámbito educativo. Además, manifestaron tener las competencias informáticas suficientes, así como la disposición de los equipos en sus hogares y en la institución universitaria. Cabe destacar que muchos emplean más de 5 horas en el acceso a Internet y redes sociales.

Igualmente, se identificaron cuáles conceptos matemáticos se les dificultan y tornan más complejos a los estudiantes para correlacionarlos con los requerimientos de las asignaturas con bajo rendimiento de la carrera de Ingeniería en Producción Animal, entre las que destacan Genética, Nutrición y Mejoramiento animal. De manera que, tanto alumnos como docentes, señalan que las deficiencias en los conocimientos previos relacionados con elementos algebraicos y estadísticos son, en su mayoría, una causal que interfiere en un mejor desempeño en las asignaturas de la especialidad ya mencionadas.

Los resultados obtenidos permitieron plantear uno de los objetivos de la investigación, que es

el desarrollo de una propuesta basada en el uso de herramientas web 2.0 para promover la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos Matemáticos de la carrera, además de la incorporación de docentes y estudiantes en el mundo de las Nuevas Tecnologías (NT). Bokova (2010) manifiesta que las NT pueden mejorar las oportunidades de aprendizaje, facilitar el intercambio de información científica e incrementar el acceso a contenido lingüística y culturalmente diverso.

Propuesta basadas en herramientas 2.0 para fomentar el aprendizaje significativo de los contenidos matemáticos en la carrera de Ingeniería en Producción Animal.

La propuesta se basa en la actualización y mejoramiento constante de los recursos empleados en la praxis docente. Rouquette y Suárez (2013) mencionan que los estudiantes mostrarán una actitud positiva, motivadora y de comprensión matemática, solo si el docente varía los escenarios de enseñanza. Entre las herramientas a implementar en las clases de matemática se pueden aplicar las siguientes: YouTube, ya que el lenguaje audiovisual es uno de los más utilizados como método para el aprendizaje. El uso de los vídeos en el ámbito educativo es una excelente opción para abordar estrategias didácticas innovadoras en la producción, publicación y socialización de videos elaborados en la docencia.

Se puede usar como complemento docente las imágenes, pues se configuran como un elemento que use el profesor con el fin de ilustrar su explicación, con la ventaja de que las imágenes del vídeo son animadas y pueden ir complementadas con efectos sonoros que colaboran a aumentar su iconicidad. Instrumento de transmisión de conocimientos: los contenidos de tipo conceptual en matemática deben ser reforzados; por esta razón, las clases en video sirven de repaso a las explicaciones en contenidos de tipo simbólico, así como en las explicaciones repetitivas o en aquellos casos en los que sea necesario variar el estímulo.

En opinión de Álvarez (2016) el uso de video como estrategia conlleva a un conjunto de elementos que hacen que el aprendizaje no solo tenga una dimensión individual, sino también social, permitiendo un aprender en comunidad y ser capaz de contribuir a la construcción del conocimiento. Como instrumento de transmisión de conocimientos puede emplearse en la grabación de lecciones magistrales, en video-lecciones, en la explicación de prácticas de laboratorio, en grabaciones de temas generales o de contenidos descriptivos, en documentos relativos a aspectos científicos o tecnológicos y en otro tipo de situaciones didácticas.

Entre los canales educativos que se pueden encontrar en YouTube y que permitirán a los docentes a fortalecer en los estudiantes los conocimientos previos y las prácticas de ejercicios se tienen: Wowmath.org, una interesante organización dedicada a la enseñanza de álgebra y cálculo, dispone de un canal de YouTube llamado RobbWorld e incluso tiene una app móvil. Bright Storm: es un servicio de tutorías online que cuenta también con su canal en YouTube llamado brightstorm2, su principal objetivo es explicar álgebra, trigonometría y cálculo. Ten Marks: canal educativo que explica probabilidades, estadísticas, fracciones, área, perímetro y factorización. Math class with Mr.V: es un canal de aprendizaje para matemáticas enfocado en conceptos básicos de álgebra y geometría.

Facebook y Twitter: las redes sociales brindan muchos beneficios a través de sus variadas herramientas. El chat, el video-llamada, los mensajes, la posibilidad de compartir todo tipo de información, etc., representan un mundo de oportunidades para diversos fines. En cuanto al Facebook, son los alumnos quienes más conocen y mejor manejan esta red social, lo cual la hace muy significativa para ellos. Aprovechando esta circunstancia, el docente puede adecuarla al ámbito educativo puesto que permitirá mayor colaboración entre estudiantes y profesores. El diseño de Facebook está orientado al intercambio de contenidos, por lo que es una herramienta muy favorable para promover la colaboración entre los estudiantes. Las clases no

terminan en el aula: usar una plataforma en red permite que las clases trasciendan el espacio físico del aula y puedan seguir comentando, descargando y publicando a cualquier hora y desde cualquier lugar. Educar en la responsabilidad y el respeto: trabajar con redes sociales es una excelente oportunidad para desarrollar temas como la seguridad en Internet, el respeto y la tolerancia. Formación de grupos: el docente, a partir de una misma cuenta, puede crear diferentes grupos de estudiantes (por grado, por tema, por nivel, etc.) y configurar el acceso.

En cuanto al Twitter es otra red social muy empleada por los estudiantes, y muy útil si se sabe emplear como recurso. Entre sus aplicaciones se podría comenzar por un hashtag para cada clase, de manera que sirva como orientación a los alumnos para estar más enfocados en lo visto en clase, ya que pueden comentar, debatir, compartir información referente al tema, etc. Esta red es una herramienta excelente para generar interés por la clase, en un entorno al que ya están habituados los estudiantes. Además, se puede emplear para realizar un resumen de lo visto en clase, en un determinado número de tweets. Esto potencializaría la capacidad de síntesis de los alumnos. O bien, el docente puede compartir tips de las clases vistas.

Las redes sociales para Chávez y Gutiérrez (2015) son recursos que permiten un aprendizaje permanente y flexible cuando se direccionan pedagógicamente, además, ofrecen oportunidades para encontrar soluciones particulares. A su vez, su aplicación en el quehacer educativo contribuye a que los estudiantes logren un conocimiento actualizado y consulten información desde las mismas aulas.

En síntesis, estas herramientas 2.0 son recomendadas, puesto que en los resultados se pudo observar que los docentes no usan, dentro de las técnicas de estudio, metodologías colaborativas que son fundamentales en la comprensión de los elementos matemáticos. Para Martin *et al.* (2011) el aprendizaje colaborativo, mediante el empleo de herramientas

computacionales, es especialmente útil como estrategia pedagógica puesto que permite la interacción entre los estudiantes y posibilita el proceso de aprendizaje simultáneo.

CONCLUSIONES

El proceso de enseñanza y aprendizaje es complejo, sin embargo, los docentes tienen la responsabilidad de actualizar y perfeccionar su praxis pedagógica en la consecución de la excelencia académica de los estudiantes. El referente anterior, es evidenciado en los resultados del objetivo de la investigación ubicado en la dimensión actitudinal, ya que muestra que docentes y estudiantes están prestos a mejorar y asumir cambios en su práctica educativa.

La Matemática es esencial en el pensamiento estructural del profesional de ingeniería y direccionarse a su anclaje significativo requiere, como primera medida, diagnosticar los elementos que dificultan el proceso de aprendizaje. Pues bien, los resultados en relación con el objetivo de investigación ubicado en la dimensión procedimental manifestaron que los contenidos matemáticos enmarcados en la malla curricular de la carrera de Ingeniería de Producción Animal a fortalecer, pueden ser abordados dentro de los elementos virtuales brindados por las tecnologías. De esa manera, el estudiante, posterior a su encuentro con la orientación del docente, tendrá la posibilidad de subsanar las dificultades o dudas.

Previo al cumplimiento de los objetivos de la investigación antes mencionados, se procedió al planteamiento de la propuesta metodológica centrada en la dimensión tecnológica con la cual se pretende promover el uso de las herramientas Web 2.0 con la finalidad de propiciar un aprendizaje eficiente con la participación activa del estudiante en su ambiente de aprendizaje, mejorar los canales de comunicación entre estudiantes y profesores, promover el aprendizaje colaborativo entre los estudiantes y favorecer el desarrollo de experiencias innovadoras que conduzcan a plantear posteriores temas de investigación en el área de

estudio. La Organización para Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (2011) considera que en las nuevas tecnologías (NT) se tiene una gran oportunidad de potenciar la capacidad de los individuos para pensar por sí mismos y asumir la responsabilidad respecto de su aprendizaje y sus acciones.

Finalmente, es importante recordar que incorporar el uso de la nuevas tecnologías en el aula no garantiza por sí sola un mejoramiento en los procesos de aprendizaje. El éxito dependerá de las reflexiones pedagógicas que permitan una modificación consciente en la concepción misma del proceso educativo por parte de todos los actores involucrados en él. Además, es imperativo considerar tanto los aspectos cognitivos como el desarrollo afectivo, emocional y social de los estudiantes al momento de realizar el planteamiento de cualquier propuesta metodológica o prácticas educativas.

REFERENCIAS

- Álvarez, A. (2016). El uso del video como factor de aprendizaje. *Revista científica de opinión y divulgación sobre Didáctica, Innovación y Multimedia (DIM)*. [Documento en línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/dim/dim_a2016m3n33/dim_a2016m3n33a4.pdf. [Consulta: 2015, febrero 15].
- Bokova, I. (2010). Aprender y Educar con las Tecnologías del Siglo XXI. *Colombia digital*. [Documento en Línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/88572968/Aprender-y-Educar-Con-Las-Tecnologias-Del-Siglo-XXI>. [Consulta: 2013, julio 04].
- Chávez, I.; Gutiérrez, M. (2015). Redes sociales como facilitadoras del aprendizaje de ciencias exactas en la educación superior. *Revista Apertura*, vol. 7, núm. 2, octubre, 2015, pp. 1-12 Universidad de Guadalajara. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/688/68842702005.pdf>. [Consulta: 2014, abril 10].
- Hernández, R.; Fernández, C.; Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Cuarta edición. México. Mc Graw-Hill, S.A
- Lupiañez, J., Rico, L. (2011). *Competencias matemáticas desde la perspectiva curricular*. Alianza editorial, S.A. Madrid. España.
- Martin, A.; Domínguez, M.; Paralela, C. (2011). El entorno virtual: un espacio para el aprendizaje colaborativo. *EDUTEC, Revista Electrónica Educativa*. Núm. 35. [Documento en Línea]. Disponible en: http://edutec.rediris.es/Revelec2/Revelec35/pdf/Edutece_n35_Martin_Dominguez_Paralera.pdf. [Consulta: 2015, marzo 22].
- OCDE. (2011). *Habilidades y competencias del siglo XXI para los aprendices del nuevo milenio*. Informe Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico en los países de la OCDE. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.ite.educacion.es/>. [Consulta: 2014, octubre 15].
- Prensky, M. (2010). Enseñar a nativos digitales. *Biblioteca innovación educativa*, editorial SM. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://innovacioneducativa-sm.aprenderapensar.net/2011/09/27/capitulo-de-ensenar-a-los-nativos>. [Consulta: 2014, octubre 08].
- Ríos, J., Cebrián, M. (2010). *Nuevas tecnologías de la información y de la comunicación aplicadas a la educación*. Málaga: Aljibe.
- Rouquette, J., Suárez, A. (2013). Un nuevo escenario para la pertinencia del conocimiento matemático. *Reencuentro*, núm. 68, pp. 26-33. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Distrito Federal, México. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo>. [Consulta: 2015, marzo 21].
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2010). *Manual de trabajo de Grado de especialización y maestría y tesis doctorales*. Cuarta edición. Fondo Editorial FEDUPEL.

INDUSTRIAL

ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO MÍNIMO Y MÁXIMO RECOMENDADO PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS DE INGENIERÍA

ESTIMATE OF THE MINIMUM AND MAXIMUM RECOMMENDED BUDGET FOR THE MITIGATION OF RISKS IN ENGINEERING PROJECTS

Autores:**Castro, Alexis; Sánchez, Gustavo**

Departamento de Procesos y Sistemas, Universidad Simón Bolívar. Valle de Sartenejas, Baruta, Caracas - Venezuela

Corresponding Author: alexcastro@usb.ve**RESUMEN**

Todo proyecto de ingeniería está asociado a un conjunto de riesgos que deben ser tomados en cuenta durante la formulación y ejecución del mismo. En cualquier caso, el costo de las acciones específicamente planificadas para la mitigación de los riesgos no debe ser mayor que el costo esperado del impacto que los eventos de riesgo puedan causar. En un trabajo anterior, los autores propusieron un análisis que permitió identificar los mejores compromisos entre el costo de las acciones y el impacto económico esperado, basado en un modelo de optimización multi-objetivo. En esta oportunidad a través del estudio de la curva del Frente de Pareto obtenido, y aplicando interpolación numérica mediante polinomios cúbicos, se propone un método para estimar los límites mínimo y máximo recomendados para el presupuesto destinado a las acciones de mitigación de riesgos. Se efectuó un análisis de sensibilidad mediante perturbaciones aleatorias a los parámetros del modelo para determinar la confiabilidad del método. La información obtenida puede ser valiosa desde el punto de vista de la planificación y seguimiento de las acciones de mitigación que se consideren durante la gestión de un proyecto en concreto.

ABSTRACT

The experience gained in project planning shows that every engineering project is associated with a set of risks that must be taken into account during formulation and execution. In any case, the cost of actions specifically planned for risk mitigation should not be greater than the expected cost of the impact that risk events may cause. In a previous work, the authors suggested an analysis that allowed to identify the best compromises between the cost of the actions and the expected economic impact based on a multi-objective optimization model. In this opportunity, through the study of the Pareto Front, and applying numerical interpolation, a method is proposed to estimate the minimum and maximum limits recommended to the budget addressed to the risk mitigation actions. A sensitivity analysis was performed by random perturbations to the parameters of the model to determine the reliability of the method. The information obtained can be valuable from the point of view of the planning and the monitoring of mitigation actions that are considered during the management of a specific project.

Palabras clave: gestión de riesgos, proyectos, modelos, optimización multi-objetivo, toma de decisiones.**Key words:** risk management, projects, multi-objective optimization, decision-making.

INTRODUCCIÓN

El Project Management Institute (PMI) (2013) define un proyecto como esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de un proyecto implica la existencia de un inicio y un final del mismo. El final se alcanza cuando se logran los objetivos planteados o cuando se decide interrumpirlo bien porque sus objetivos no pueden ser cumplidos, o bien, cuando ya no existe la necesidad de origen.

Kerzner (2003) señala que un riesgo es un evento aleatorio que, en caso de materializarse, tiene un impacto negativo en al menos uno de los objetivos del proyecto. En general, todo proyecto puede ser afectado por algún tipo de riesgo, lo cual debe tomarse en cuenta en el momento de la planificación. Un riesgo puede tener una o más causas (fuentes) y, si se materializa, uno o más impactos (Fig. 1). Las organizaciones deben considerar dos aspectos: la probabilidad de ocurrencia de los eventos de

riesgo y la magnitud del impacto de los mismos. En la práctica es posible utilizar la metodología WBS (en inglés, *Work Breakdown Structure*) para identificar las fuentes y los respectivos riesgos asociados.

La Gestión del Riesgo comprende el conjunto de elementos de control y sus interrelaciones, para que una organización evalúe e intervenga aquellos eventos, tanto internos como externos, que puedan afectar de manera positiva o negativa el logro de sus objetivos.

De acuerdo con el PMI (2013), los objetivos de la Gestión de Riesgos son “aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos negativos” (p.309), por lo tanto, es de fundamental importancia planificar una respuesta apropiada al riesgo.

La norma ISO 31000:2018, establece principios y directrices de carácter genérico para la gestión del riesgo (Fig. 2)

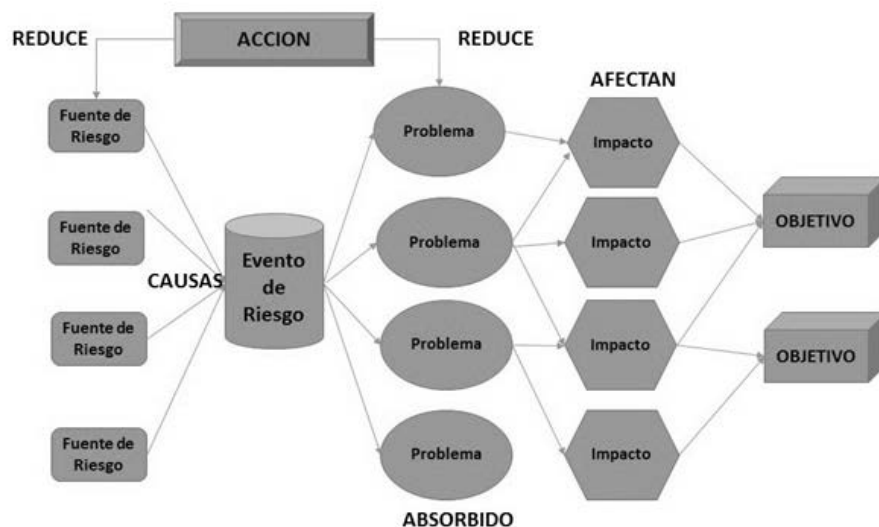
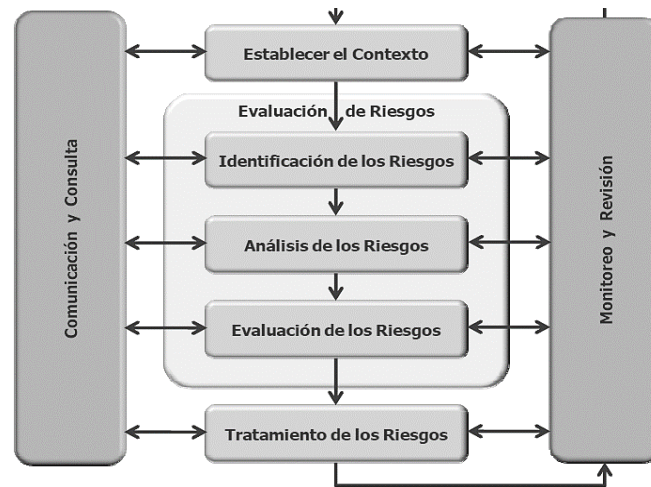


Fig. 1. Fuente de riesgos e impacto en los objetivos
Fuente: Marcut (2008).

**Fig. 2.** Proceso de gestión de riesgos**Fuente:** International Organization for Standardization. (2018)

De acuerdo con Horine (2005) el alcance de la inversión de la Gestión de Riesgos debe ir en consonancia con la importancia que el proyecto tiene para la organización, sin perder de vista que el costo de las acciones no debe ser mayor que el costo esperado del impacto que los eventos de riesgo puedan causar. Este tema ha sido investigado por diversos autores, algunos de los cuales se mencionan a continuación.

David y Rabinowitz (2001) propusieron un modelo de optimización resuelto mediante dos diferentes algoritmos: uno de ramificación y acotamiento y otro heurístico. Marcut y Popa (2008), presentaron soluciones para el mismo problema estudiado por David y Rabinowitz mediante la aplicación de un Algoritmo Genético. Purnus y Bodea (2013) resuelven el problema de selección de acciones de mitigación mediante dos técnicas ampliamente conocidas, Simulación de Montecarlo y Árboles de Decisión, diseñaron experimentos de cada técnica utilizando datos reales y analizaron sus resultados en función de diversos indicadores. De Marco y Jamaluddin (2014), desarrollaron una metodología práctica para efectuar un análisis de riesgo utilizando variables propuestas no convencionales y se muestra la metodología a través de ejemplos. Purnus y Constanta (2014)

efectuaron un análisis cuantitativo de riesgo usando Simulación Montecarlo y la correlación entre dos variables básicas: costo y tiempo del proyecto.

A partir del análisis de los trabajos aquí descritos, es posible constatar que varios autores han formulado el problema de la selección de acciones de mitigación como un problema de optimización, como base para el diseño de estrategias de respuesta ante los riesgos del proyecto.

En este sentido, la investigación descrita a continuación tiene como objetivo proponer un método que permita estimar el límite máximo y mínimo recomendado para el presupuesto destinado a las acciones de mitigación de riesgos en proyectos de ingeniería, con el fin de responder a las siguientes interrogantes: ¿Cuál es el rango de inversión que garantiza que las acciones de mitigación son eficaces? y ¿Cuál es el nivel de resguardo esperado de acuerdo a la inversión realizada? Obtener respuestas a estas preguntas permitiría efectuar una mejor toma de decisiones en cuanto a la inversión para la gestión de riesgos del proyecto.

MÉTODO

Definición Variables

El objetivo del problema de optimización consiste en determinar las mejores combinaciones de acciones de mitigación de riesgos. En consecuencia, se definen 3 tipos de entidades:

Elementos de Trabajo: Son todos los componentes del WBS. El conjunto de elementos de trabajo se denota mediante $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{n_W}\}$. Dado que el WBS es una representación jerárquica, los miembros de W pueden estar relacionados mediante cierto orden. Así un evento de riesgo puede afectar a varios elementos de W

Evento de Riesgo: Cuando un riesgo se materializa, puede afectar a varios elementos de trabajo del proyecto. El conjunto de riesgos se denota $R = \{r_1, r_2, \dots, r_{n_R}\}$. Se establece que los eventos de riesgo poseen tres atributos: (a) fuente, (b) probabilidad de ocurrencia y (c) impacto.

Fuente de Riesgo: Cada riesgo tiene una sola fuente. Las fuentes internas son los elementos de trabajo del proyecto, sobre las cuales tenemos algún control, a diferencia de las fuentes externas (economía, eventos naturales). El conjunto de fuentes de riesgo se denota $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{n_S}\}$. Si algunos elementos de trabajo son fuentes internas, las restantes ($S - W$) son externas. Una fuente puede generar varios eventos de riesgo, sin embargo, un evento de riesgo es generado por una sola fuente.

Por otra parte, podemos conceptualizar lo siguiente:

Probabilidad de un Riesgo: La probabilidad de ocurrencia de un evento de riesgo depende únicamente de su fuente. Se denota P a la matriz de probabilidades y Pr, s a sus elementos: probabilidad de que una fuente S produzca el riesgo r .

Impacto del Riesgo: Cuando un riesgo se materializa puede afectar a uno o más elementos de trabajo. Se denota M a la matriz de impacto y mr, w a sus elementos: costo del efecto producido por el riesgo r en el elemento de trabajo w .

Acciones de Mitigación de Riesgos: Las acciones de mitigación modifican la probabilidad de ocurrencia o el impacto de los eventos de riesgo, por ejemplo: cambiar elementos de trabajo, añadir recursos, subcontratar elementos de trabajo, etc. El conjunto de acciones de mitigación de riesgos se denota $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{n_A}\}$. La variable de decisión asociada con la ejecución de la acción a se denota x_a . El costo de la acción a en caso de ejecutarse se denota c_a . El vector de decisión del problema de optimización se denota $x = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_{n_A}]$.

Denote $\mathcal{B}$ al conjunto de números binarios $\{0,1\}$. Entonces se tiene:

$$x \in \mathcal{B}^{n_A} \quad (1)$$

Análisis Multi-Objetivo

La mayoría de los problemas de diseño en ingeniería involucran múltiples objetivos, expresados mediante funciones para las cuales se debe identificar una solución óptima de manera simultánea. Desafortunadamente, en el caso general no es posible conseguir una solución con estas características. En estos casos, algunos autores proponen definir una función de utilidad que permita transformar la función objetivo vectorial en una función escalar, y posteriormente resolver el problema de optimización de la manera tradicional.

En este trabajo se propone un enfoque multi-objetivo alternativo, que consiste en determinar el *Conjunto de Pareto* de posibles soluciones, tal como se define a continuación.

Suponga que el problema consiste en minimizar dos funciones objetivo f_1 y f_2 de la forma:

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \begin{pmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \end{pmatrix} \quad (2)$$

Denote F a la función vectorial

$$F(x) = \begin{pmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \end{pmatrix} \quad (3)$$

Se denomina Espacio Objetivo y se denota $\mathcal{F}$ al conjunto compuesto por $z \in \mathbb{R}^2$ tales que:

$$\exists x \in \mathbb{R}^n, \quad z = F(x) \quad (4)$$

Sean z^1 y $z^2 \in \mathcal{F}$. Se dice que z^1 *domina a* z^2 y se denota:

$$z^1 \preceq z^2 \quad (5)$$

si y solo si se *cumplen al mismo tiempo* las siguientes condiciones (6) y (7) y además cualquiera de estas condiciones se

$$z^1_1 \leq z^2_1 \quad (6)$$

$$z^1_2 \leq z^2_2 \quad (7)$$

cumple de manera estricta, es decir, (8) o (9):

$$z^1_1 < z^2_1 \quad (8)$$

o bien,

$$z^1_2 < z^2_2 \quad (9)$$

Se denomina *Conjunto Óptimo de Pareto*, y se denota $\wp^*$ al conjunto tal que:

$$x^* \in \wp^* \leftrightarrow \nexists x \in \mathbb{R}^n, \quad (10)$$

$$F(x) \preceq F(x^*)$$

La imagen de $\wp^*$ a través de la función vectorial F se denota $\mathcal{F}^*$ y se denomina *Frente de Pareto*. El enfoque multi-objetivo propuesto en este trabajo *consiste en determinar* $\wp^*$ y $\mathcal{F}^*$ en el caso del modelo de optimización de acciones de mitigación de riesgos.

Efecto de las acciones

El efecto de la acción a sobre la probabilidad $p_{r,s}$ se denota $v_{r,s,a}$. El efecto de la acción a sobre el impacto $m_{r,w}$ se denota $u_{r,w,a}$. En general se supone que ninguna acción puede modificar la probabilidad de ocurrencia de una fuente externa, pero si tiene efecto sobre su posible impacto.

Siguiendo lo propuesto en [6], en este trabajo se considera el efecto de las acciones de la siguiente forma:

- Efecto de las acciones sobre las probabilidades de ocurrencia $p_{r,s}$:

$$p_{r,s} \leftarrow p_{r,s} \times \prod_{a=1}^{n_A} v_{r,s,a} \quad (11)$$

donde $v_{r,s,a} = 1$ implica que la acción a no tiene ningún efecto sobre la probabilidad $p_{r,s}$.

- Efecto de las acciones sobre la matriz de impacto $m_{r,w}$:

$$m_{r,w} \leftarrow \min\{m_{r,w}, u_{r,w,1}, u_{r,w,2}, \dots, u_{r,w,n_A}\} \quad (12)$$

donde $u_{r,w,a} = m_{r,w}$ implica que la acción a no tiene ningún efecto sobre el impacto $m_{r,w}$.

A pesar de la sencillez de este modelo, el mismo permite representar de manera aproximada el efecto que tienen las acciones sobre las probabilidades de ocurrencia y los impactos de los riesgos.

El Costo de las Acciones de Mitigación se denota CAM y el Impacto Esperado de los Riesgos IER y se calculan mediante:

$$CAM(x) = \sum_{a=1}^{n_A} c_a x_a \quad (13)$$

$$IER(x) = \sum_{r=1}^{n_R} \left(\sum_{s=1}^{n_S} p_{r,s}(x) m_{r,s}(x) \right) \quad (14)$$

Con estas notaciones, el problema de optimización multi-objetivo sin restricciones se plantea de la siguiente forma:

$$\min_{x \in B^A} \begin{pmatrix} CAM(x) \\ IER(x) \end{pmatrix} \quad (15)$$

RESULTADOS

Caso de estudio

A continuación, se presenta un caso caracterizado por 13 elementos de trabajo ($n_W = 13$), 15 posibles riesgos ($n_R = 15$) y 16 fuentes de riesgo ($n_S = 16$).

El número de acciones posibles es 16 ($n_A = 16$), de las cuales 4 permiten reducir probabilidades

de ocurrencia únicamente, 7 permiten disminuir impactos únicamente y el resto con ambos efectos combinados. Los valores numéricos de las matrices que definen el modelo pueden encontrarse en la referencia [6] y no se incluyen acá por razones de espacio.

El número total de combinaciones para las acciones posibles es $2^{16} = 65536$, lo cual representa una cantidad que puede manejarse fácilmente desde el punto de vista computacional en la actualidad. Se propone entonces en este caso determinar $\wp^*$ y $\mathcal{F}^*$ mediante *enumeración exhaustiva*, evaluando todas las combinaciones posibles y luego extrayendo el *subconjunto no dominado* mediante el algoritmo de Kung. Los resultados de este procedimiento se muestran en la Fig. 3.

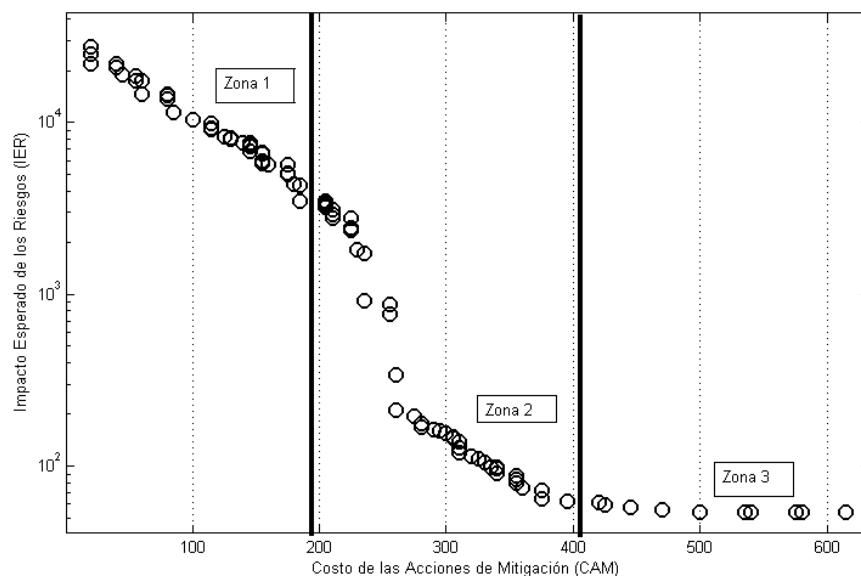


Figura 3. Frente de Pareto obtenido [3]

En la Fig.3 cada círculo representa una combinación de acciones cuyo vector objetivo correspondiente *no es dominado* por ninguna otra combinación. De hecho, el conjunto de todos estos círculos corresponde al Frente de Pareto del problema multi-objetivo considerado. Para mejorar la observación de los datos, se utiliza una escala logarítmica en el eje de IER.

Note que en total se obtuvieron 96 combinaciones con estas características.

A lo largo del Frente de Pareto obtenido es posible, mediante una observación cuidadosa, distinguir tres diferentes zonas (identificadas como Zona 1, Zona 2 y Zona 3). En la Zona 1 se observa una *disminución moderada* del IER cuando se aumenta progresivamente el CAM hasta aproximadamente un valor de 200.

En la Zona 2 se aprecian *disminuciones drásticas* del impacto, de hasta un orden de magnitud, para pequeñas variaciones del CAM alrededor de 250.

Finalmente, en la zona 3, se observan variaciones muy pequeñas del IER, a partir del valor CAM = 400. Esto último implica en términos prácticos que a partir de este punto no se justifica económicamente la inversión adicional en acciones de mitigación. El costo de las acciones de mitigación pudiera entonces, mediante inspección, seleccionarse entre 250 y 400, en caso de contar con suficiente presupuesto.

Estimación del presupuesto mínimo y máximo recomendado

En la sección anterior se generó el Frente de Pareto Óptimo correspondiente al problema (15)

y se concluye que mediante inspección es posible estimar límites inferior y superior para el presupuesto destinado a la mitigación de riesgos. En esta sección se propone un método para estimar de manera numérica dichos límites, correspondientes a las fronteras de la Zona 2 identificada en la Fig. 3.

Para este fin denotemos $y_i = \text{IER}(x_i)$, $r_i = \text{CAM}(x_i)$ a las coordenadas del conjunto de puntos pertenecientes al Frente de Pareto, para $i = 1, 2, \dots, N_P$, donde N_P es el número de puntos del Frente. El primer paso consiste en conseguir una función de interpolación, de la forma

$$y = f(r) \quad (16)$$

$$r_{i=1} \leq r \leq r_{i=N_P}$$

En este trabajo proponemos una interpolación mediante polinomios cúbicos de tipo Spline [11] la cual se ilustra en la Fig. 4.

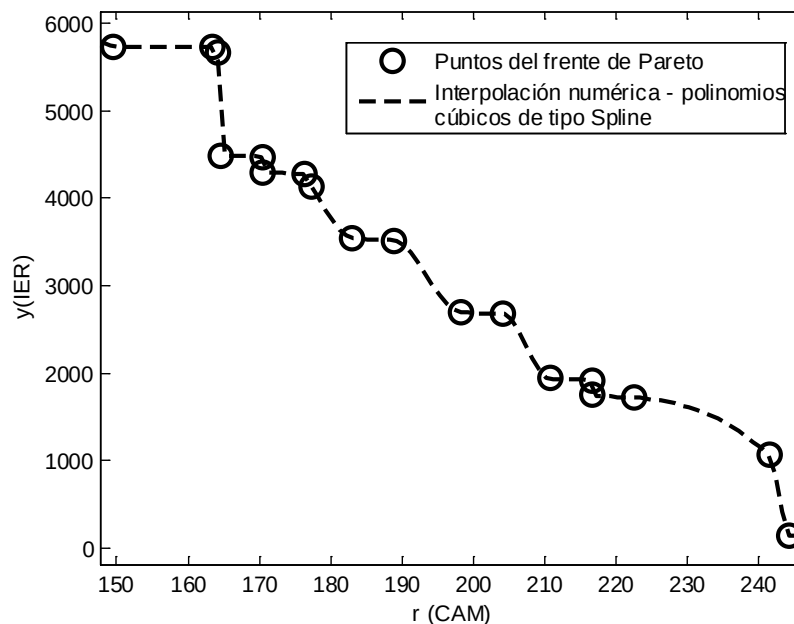


Fig. 4. Interpolación de la curva del Frente de Pareto obtenido [3]

A continuación, determinamos una aproximación numérica de la derivada con respecto a r de la función f , de la forma:

$$f'(r_k) \approx \frac{f(r_k) - f(r_{k-1})}{r_k - r_{k-1}} \quad (17)$$

donde $k = 1, 2, \dots, N_s$, siendo N_s el número de puntos obtenidos mediante la interpolación, el cual se recomienda fijarlo como

$$N_s = 10N_p \quad (18)$$

para obtener una representación precisa de $f(r)$. Esta aproximación de la derivada se ilustra en la Fig.5.

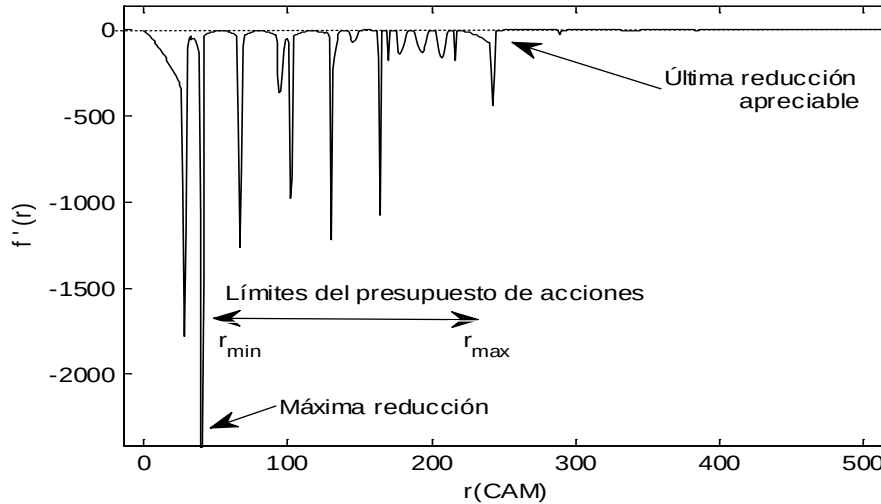


Fig. 5. Representación de la derivada de la función $f(r)$ [3]

En esta Fig.5 es posible apreciar dos picos en particular, que señalan los límites mínimo y máximo recomendados para el presupuesto de acciones. Los mismos corresponden a la “máxima reducción” y a la “última reducción apreciable” en los valores de $f(r)$, definidos de la forma

$$r_{min} = \underset{r_k, 1 \leq k \leq N_s}{\operatorname{argmin}} f'(r_k) \quad (19)$$

y además,

$$r_{max} = \underset{r_k, 1 \leq k \leq N_s}{\operatorname{argmax}} \{r_k : |f'(r_k)| \geq \varepsilon\} \quad (20)$$

donde $\varepsilon > 0$ es una cantidad que define lo que se considera en este trabajo como “ultima reducción apreciable” en el presupuesto.

La justificación para la selección de estos valores en particular es la siguiente: ubicar el “mayor” pico negativo de f' permite aprovechar la combinación de acciones que produce la mayor reducción relativa en el impacto esperado de los riesgos. En cuanto al límite máximo, se intenta ubicar la última reducción que tenga un impacto apreciable en el impacto esperado: cualquier inversión adicional produce una reducción marginal poco considerable.

DISCUSIÓN

Con el fin de evaluar la eficiencia del método se simulaban 100 perturbaciones aleatorias, en las matrices de costo, probabilidad e impacto (de manera independiente en cada matriz), de forma que consideramos tres diferentes casos de estudio, como se define a continuación:

Tabla 1. Rango de variación de valores de r_i

Perturbación Matriz	r_{min}	r_{max}
Costo	30-50	230-260
Probabilidad	45-60	190-230
Impacto	40-60	258-260

$$\text{Caso 1: } c_a \leftarrow c_a + \Delta c_a \quad (21)$$

$$\text{Caso 2: } p_{r,s} \leftarrow p_{r,s} + \Delta p_{r,s}$$

$$\text{Caso 3: } m_{r,w} \leftarrow m_{r,w} + \Delta m_{r,w}$$

Note que únicamente se perturbaron los valores no nulos en las matrices. Se registraron las variaciones en los valores de r_{min} y r_{max} , obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 1, en la cual se puede apreciar el rango de variación entre el segundo y tercer cuartil de los

mismos. Es importante notar que el método fue capaz de estimar correctamente los límites en todos los casos.

En las fig. desde la 6 hasta la 8, es posible apreciar el acumulado de los frentes obtenidos en las simulaciones realizadas en las matrices de costo, probabilidad e impacto, a partir de los cuales es posible apreciar que la forma de la curva no se afecta de manera considerable.

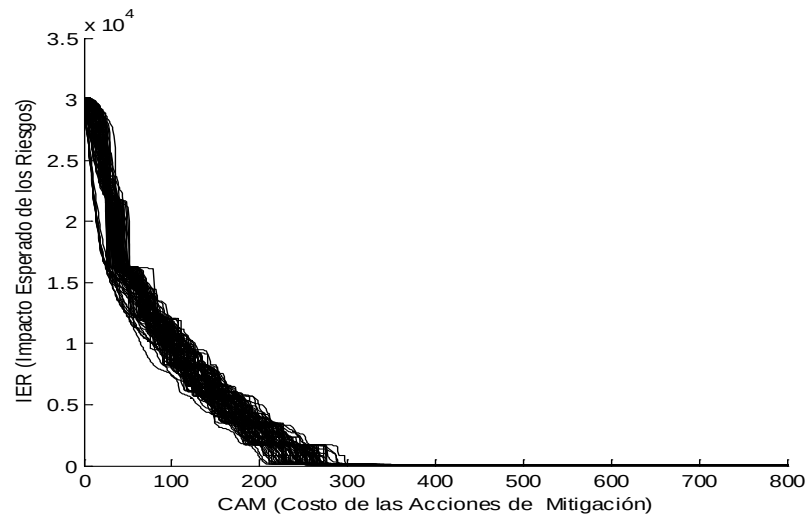


Figura 6. Frentes de Pareto obtenidos mediante perturbaciones en la matriz de costo

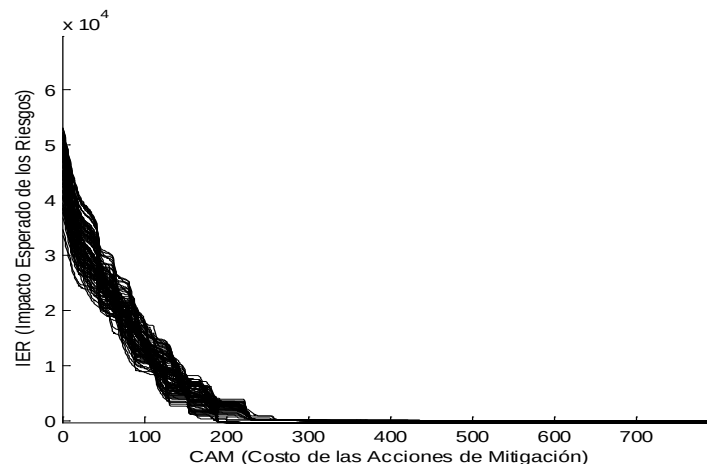


Figura.7. Frentes de Pareto obtenidos mediante perturbaciones en la matriz de probabilidades

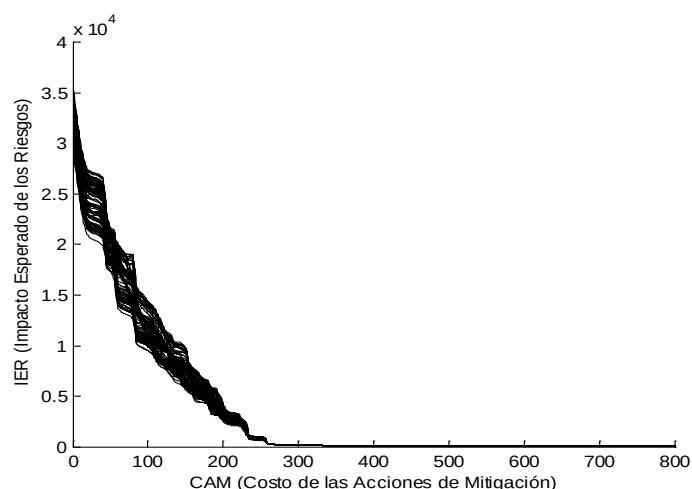


Figura 8. Frentes de Pareto obtenidos mediante perturbaciones en la matriz de impacto

CONCLUSIONES

Gestionar de manera acertada la inversión en la mitigación de riesgos es fundamental para el éxito financiero de un proyecto de ingeniería, tal como lo indica la Norma ISO 32000. El enfoque multiobjetivo propuesto en esta investigación permite considerar al mismo tiempo el costo de las acciones de mitigación (CAM) y el Impacto

Esperado de los Riesgos (IER), con el fin de seleccionar la inversión más conveniente.

En el caso de estudio considerado el método propuesto fue capaz de estimar los límites mínimo y máximo recomendados para el presupuesto de acciones de mitigación de riesgos, denotados r_{min} y r_{max} , incluso cuando se perturbaron de manera aleatoria las matrices

que definen el modelo original. Estos resultados pueden considerarse preliminares puesto que se requieren futuros estudios teórico-prácticos adicionales, que permitan dar generalidad al método, lo cual podría representar una opción interesante para planificación y seguimiento de las acciones de mitigación consideradas para un proyecto en particular.

REFERENCIAS

- Ben David, I., Rabinowitz, G. (2001). *Economic Optimization of Project Risk Management Efforts*. Tel Aviv: Faculty of Management University, Tel Aviv.
- De Marco, A., Jamaluddin, M. (2014). New York: Risk analysis in construction projects: a practical selection methodology. *American Journal of Applied Sciences* 11 (1): 74-84.
- Horine, G. (2005). *Gestión de Proyectos*. 1era Edición. Madrid: Ediciones Anaya.
- International Organization for Standardization (ISO). (2018) Norma ISO 31000:2018, Risk Management-Principles and guidelines. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/43170.html>
- Kerzner, H. (2003). *Project Management: A systems approach to planning, scheduling and controlling*. 8a Edition. New Jersey: John Wiley & Sons
- Kung, H.T, Luccio, F, Preparata, F. (1975) New York: On finding the maxima of a set of vectors. *Journal of the Association for Computing Machinery*, Vol 22, No 4, October, pp 469-476
- Marcut, I., Popa, E. (2008). New Jersey: ASM and Genetic Algorithm for Risk Abatement Actions Selection. *WSEAS Transactions on Business and Economics*., Vol. 5, N° 6: 320-329
- Project Management Institute. (2013) *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*. 5ta Edición. Newtown Square, PA: PMI Publications.
- Purnus, A., Bodea, C. (2013). Amsterdam: Considerations on Project Quantitative Risk Analysis. *Procedia*, Vol.74: 144-153
- Purnus, A., Constanta, B. (2014) Amsterdam: Correlation between time and cost in quantitative risk analysis in construction projects. *Procedia*, Vol.85:436-445
- Paluszny, M., Prautzsch, J., Boehm, W. (2005). *Métodos de Béziérs y B-splines*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.

INDUSTRIAL

CONTROL DIFUSO DE ESTRUCTURA VARIABLE PARA UN PROCESO DE EVAPORACIÓN DE CIRCULACIÓN FORZADA

DIFFUSE VARIABLE STRUCTURE CONTROL FOR AN EVAPORATION PROCESS OF FORCED CIRCULATION

Autores:**Requez, Juan¹; Strefezza, Miguel²; Sánchez, Gustavo²; Granado, Ernesto²**¹Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado"²Departamento de procesos y Sistemas, Universidad Simón Bolívar**Corresponding Author:** strefeza@usb.ve**RESUMEN**

En este trabajo se presenta el diseño de un sistema de Control de Estructura Variable (VSC) difuso elaborado para la concentración, presión y nivel de un sistema de evaporación de circulación forzada. El sistema de control diseñado contempla el funcionamiento simultáneo de tres VSC difusos sobre el modelo no lineal normalizado del proceso, y su desempeño es comparado con un control PI convencional para las mismas variables, mostrando mejoras considerables respecto a su desempeño dinámico. Se analiza el efecto del incremento del orden de funcionamiento del VSC, así como el efecto de los parámetros de diseño sobre la estabilidad del sistema controlado.

ABSTRACT

This paper shows the design of a diffuse Variable Structure Control (VSC) system developed for the concentration, pressure and leveling of a forced circulation evaporation system. The designed control system considers the simultaneous operation of three diffuse VSCs on the normalized nonlinear model of the process, and its performance is compared with a conventional PI control for the same variables, showing considerable improvements regarding its dynamic performance. The effect of the increase in the order of operation of the VSC is analyzed, as well as the effect of the design parameters on the stability of the controlled system.

Palabras clave: Control de Estructura Variable, Control Difuso, Control No Lineal, Control PI, Control de procesos de evaporación.

Key words: Variable Structure Control, Diffuse Control, Nonlinear Control, PI Control, Evaporation Control Process

Recibido: 28/02/2018 **Aprobado:** 07/05/2018 **Versión Final:** 27/08/2018

INTRODUCCIÓN

El control de estructura variable con modo de deslizamiento fue introducido por Utkin (1977) y Savanovic (2011), pero debido a sus dificultades para ser implementado no fue considerado en sus inicios. En la actualidad, los controladores de modo deslizante son utilizados en diferentes aplicaciones. Su principal atractivo son sus propiedades, ya que pueden ser aplicados en sistemas no lineales y de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO). Su propiedad más importante es que son robustos a variaciones de parámetros o a perturbaciones (Li *et al.*, 1997). Los controladores basados en lógica difusa presentan un comportamiento similar a los de estructura variable, además, estos pueden trabajar con problemas de imprecisión e incertidumbre.

El sistema de evaporación por circulación forzada es utilizado en centrales azucareras, industria papelera y producción de alúmina; ya que se desea evitar la evaporación del producto sobre la superficie de calentamiento para reducir los problemas de suciedad y, así, aumentar el período de uso de los equipos antes de realizar limpieza en los mismos. Este es un sistema no lineal y con una alta interacción entre sus variables controladas y manipuladas; por lo que implementar esquemas de control básico no permite obtener resultados satisfactorios. De esta manera, se presentan diferentes estrategias a implementar para obtener un buen control de este tipo de proceso. En este trabajo se plantea utilizar un control de estructura variable difuso. Las principales variables de control para un buen funcionamiento del proceso son: el nivel, la concentración y la presión de operación (Lanza, 2013).

Para implementar el controlador propuesto en este trabajo se utilizará el control de superficie variable.

El control de superficie variable es un tipo de control particularmente usado debido a su habilidad de manejar con sistemas no lineales

(Li *et al.*, 1997). El problema del diseño consiste en seleccionar los parámetros de cada estructura y definir la trayectoria de funcionamiento, llamada superficie deslizante $S(t)$ que es lineal y estable. Se toma $S(t)$, de orden $n-1$, como una ecuación diferencial actuando en función del error.

$$S(t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right)^{n-1} e(t) \quad (1)$$

Con n el orden del proceso, $e(t)$ es el seguimiento del error entre el valor de referencia y el de la salida del proceso. λ es un parámetro de entonamiento y seleccionado por el diseñador. El problema de seguimiento al valor de referencia se reduce a mantener $S(t)=0$ y, una vez alcanzado, mantener (2) para garantizar esto (Silva y Becerra, 2002).

$$\frac{d}{dt} S(t) = 0 \quad (2)$$

La superficie de deslizamiento de primer orden puede ser descrita como (3) y puede calcularse la entrada de control como (4)

$$S = K_d \lambda \cdot e + k_a \cdot \frac{d}{dt} e \quad (3)$$

$$u = u_s + K_{us} \text{sat}(S) \quad (4)$$

Un sistema de control difuso VSC aproxima este comportamiento a través de la selección adecuada de los conjuntos difusos y las reglas de inferencia como se describen en Li *et al.* (1997).

I. Procedimiento Experimental

El modelo del evaporador de circulación forzada presentado en Newell y Lee (1989) y en Barreto y Requez (2012).

La alimentación se mezcla con un gran flujo volumétrico de recirculación de disolución concentrada y se bombea hacia el intercambiador de calor vertical. En el intercambiador de calor se emplea vapor de agua que condensa en la pared exterior de los tubos. El líquido que pasa por el interior de los

tubos, en ebullición, pasa al separador, donde el líquido y el vapor se separan. Parte del líquido concentrado es retirado como producto, mientras la mayor parte es recirculado al sistema. El vapor es condensado por enfriamiento, utilizando agua como refrigerante.

El modelo matemático del evaporador de circulación forzada de tubos verticales descrito por Newell y Lee (1989), fue obtenido a partir de balances de materia y energía. El modelo está conformado por tres ecuaciones diferenciales y nueve ecuaciones algebraicas mostradas en las ecuaciones de Error! Reference source not found. a (12).

$$\rho A \frac{dL2}{dt} = F1 - F4 - F2 \quad (1)$$

$$\frac{M dX2}{dt} = F1X1 - F2X2 \quad (2)$$

$$C \frac{dP2}{dt} = F4 - F5 \quad (3)$$

$$T2 = 0.5616P2 + 0.3126X2 + 48.48 \quad (4)$$

$$T3 = 0.507P2 + 55 \quad (5)$$

$$F4 = \frac{Q100 - F1 C_p (T2 - T1)}{\lambda} \quad (6)$$

$$T100 = 0.1538 F100 + 90 \quad (7)$$

$$Q100 = UA1 (T100 - T2) \quad (8)$$

$$UA1 = 0.16(F1 + F3) \quad (9)$$

$$F100 = \frac{Q100}{\lambda_s} \quad (10)$$

$$T201 = T200 + \frac{Q200}{F200 C_p} \quad (11)$$

$$F5 = \frac{Q200}{\lambda} \quad (12)$$

El sistema descrito (Newell y Lee, 1989) posee ocho entradas y tres salidas. El apareamiento adecuado para las variables se presenta en la

Tabla 1.

Un controlador P y dos controladores PI fueron diseñados para el modelo lineal normalizado basados en la curva de respuesta de las variables ante el proceso basado en el apareamiento sugerido (Requez, 2013), estos parámetros se presentan en la Tabla 2.

MÉTODO

Se plantea el esquema de control de superficie variable para las tres variables controladas de la Tabla 1. Cada controlador es diseñado según los pasos que se describen a continuación:

Paso 1. Describir los conjuntos difusos del error y el cambio del error para cada variable controlada.

Paso 2. Describir el conjunto de reglas que describen el conjunto difuso de cada controlador de superficie variable a través del uso de un sistema de inferencia difuso de Takagi-Sugeno.

Paso 3. Implementar el sistema de control de superficie variable usando una estructura de primer orden, de segundo orden y tercer orden jerárquico.

Paso 4. Variar los parámetros Ku, Kd y γ , observar su impacto sobre la estabilidad y velocidad de respuesta del sistema de control de superficie variable.

RESULTADOS

Inicialmente, para el diseño de los controladores de estructura variable (VSC) de nivel (L2), concentración (X2) y presión (P2) se plantean cinco conjuntos difusos para el error y cinco conjuntos difusos para el cambio del error, etiquetados como Muy Negativo (MN), Negativo (N), Cero (C), Positivo (P) y Muy Positivo (MP). El conjunto de reglas del controlador se muestra en la Tabla 3.

El siguiente paso en el diseño del controlador es la selección de la superficie de respuesta que este presenta, donde la inclinación del plano y de la curva depende del valor de λ . Así, la

superficie para L2 se observa en la Fig. 1.

estructura variable de L2 fueron elegidos como se muestra en la Tabla 4.

Los parámetros de ajuste del controlador de

Tabla 1. Apareamiento sugerido de las variables del proceso

Variable manipulada	Variable Controlada
F2	L2
F200	P2
P100	X2

Tabla 2. Parámetros de controladores PI convencionales para el proceso (Requez, 2013)

Función de transferencia	Kp	Ti
$\frac{L2(s)}{F2(s)} = -\frac{0.15}{s}$	-7.5	0
$\frac{P2(s)}{F200(s)} = -\frac{0.2112}{38s+1}e^{-2.8s}$	42.61364	10.989
$\frac{X2(s)}{P100(s)} = \frac{1.822}{6s+1}e^{-0.8s}$	3.70472	2.664

Tabla 3. Reglas de inferencia para controlador de superficie variable L2, X2 y P2

$\Delta e/e$	MN	N	C	P	MP
MP	0	-1	-2	-3	-3
P	1	0	-1	-2	-3
C	2	1	0	-1	-2
N	3	2	1	0	-1
MN	3	3	2	1	0

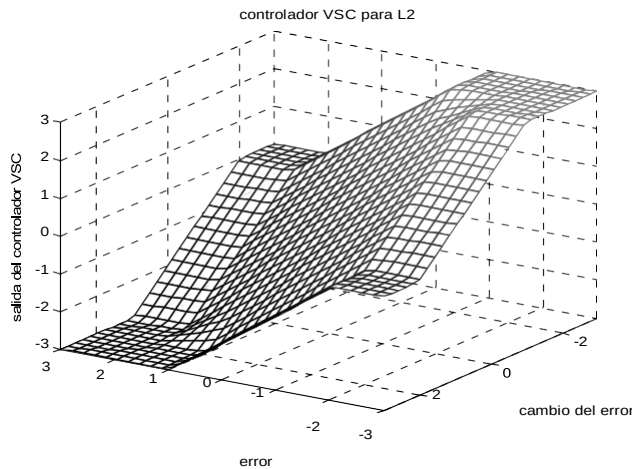


Figura 1. Superficie de respuesta del controlador de estructura variable para L2

Tabla 4. Parámetros del controlador VSC para L2

K	1
K	1
λ	5

Para el parámetro X2, la superficie de respuesta del controlador se observa en la Figura 2. La inclinación del plano y de la curva de esta, depende del valor de λ que se selecciona en la Tabla 5, donde se presentan los parámetros de ajuste del controlador de estructura variable de X2.

Finalmente, para el parámetro P2, la superficie de respuesta del controlador se muestra en la Figura 3. Los parámetros de ajuste del controlador VSC se presentan en la Tabla 6.

Usando la definición de los controladores VSC difusos mostrados, se implementaron los tres controladores difusos que operan simultáneamente sobre el modelo no lineal multivariable, como se muestra en la Figura 4.

El controlador de estructura variable puede ser de tres órdenes diferentes: de primer, de segundo y de tercer orden. Sin embargo, las tres estructuras no se combinan, es decir, todos los controladores implementados son, a la vez, del mismo orden.

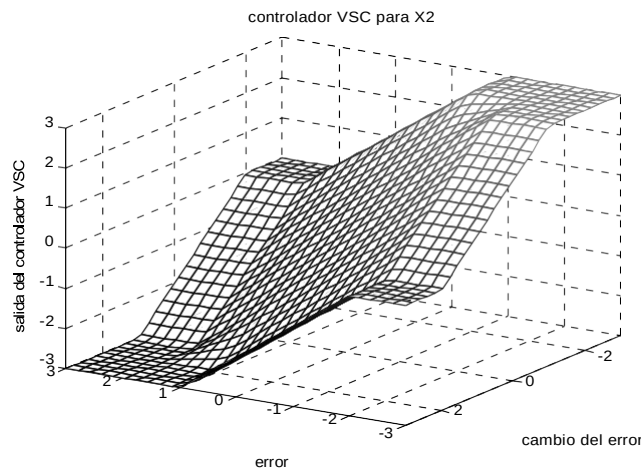


Figura 2. Superficie de respuesta del controlador de estructura variable para X2.

Tabla 5. Parámetros del controlador VSC para X2

K	1
K	2
λ	2

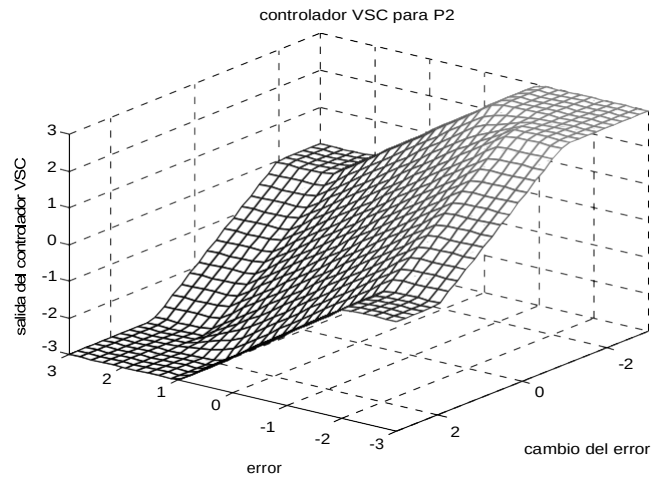


Figura 3. Superficie de respuesta del controlador de estructura variable para P2.

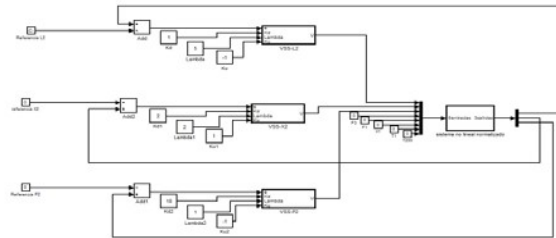


Figura 4. Diagrama del proceso no lineal multivariable con tres controladores.

Tabla 6. Parámetros del controlador VSC para P2

K	1
K	1
λ	18

A. Implementación del controlador de estructura variable de diferentes órdenes jerárquicos

La utilización de los controladores de distinto orden sobre el sistema conlleva algunas diferencias respecto a su estabilidad y velocidad de respuesta, como se puede observar en las Figuras 5, 6 y 7. En general, el sistema de control de tercer orden es menos estable, y requiere mayor tiempo de cálculo en el simulador. Los sistemas VSC de primer y

segundo orden presentan respuestas similares, aunque el sistema de segundo orden presenta menor sobrepico y estabilización más rápida para todas las variables consideradas. Esto es de esperarse porque el procedimiento descrito para el diseño del controlador VSC debe hacerse de un orden menor al del orden del sistema, que es de tercer orden no lineal.

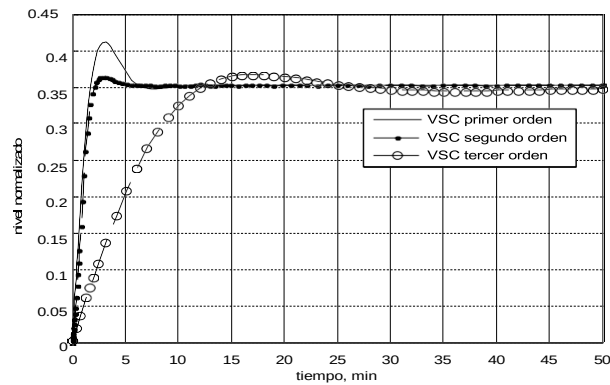


Figura 5. Comparación de la respuesta del nivel L2 para controladores jerárquicos de diferente orden.

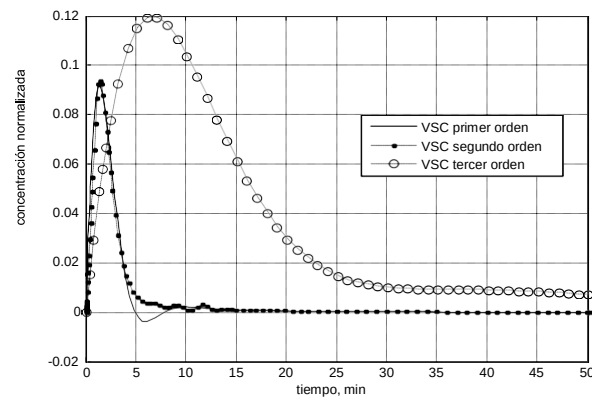


Figura 6. Comparación de la respuesta de la concentración X2 para controladores jerárquicos de diferente orden.

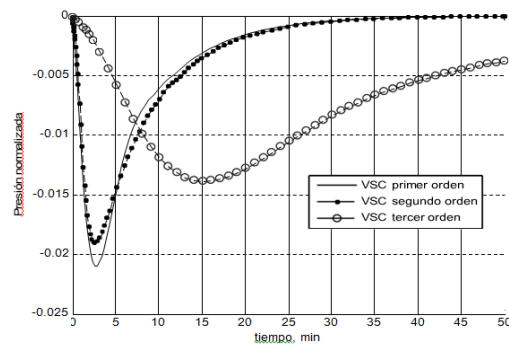


Figura 7. Comparación de la respuesta de la presión P2 para controladores jerárquicos de diferente orden.

B. Comparación del sistema de estructura jerárquico VSC con un sistema de control PID convencional.

Se elige el sistema VSC de segundo orden para el resto de las pruebas a realizarse, ya que presentó un comportamiento dinámico más estable y rápido que el de primer orden. Se presenta a continuación la comparación de la respuesta de este sistema contra un sistema de

control PI como el descrito en la Tabla 2. Las respuestas del proceso controlado se comparan en las Figuras 8, 9 y 10. Obsérvese que la respuesta del controlador de superficie variable es más rápido y produce una respuesta transitoria menos oscilatoria para cada variable, lo que es deseable para este proceso no lineal.

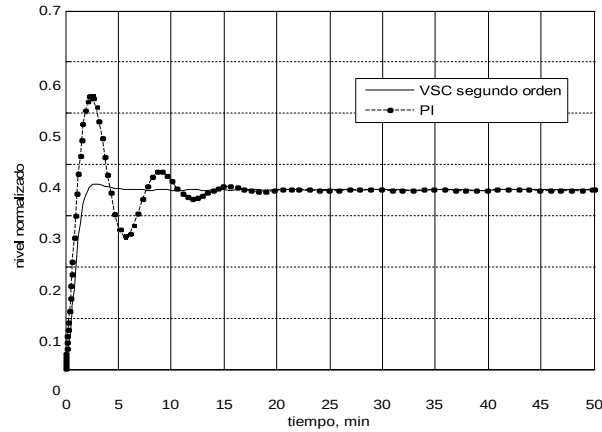


Figura 8. Comparación de la respuesta del nivel L2 para controlador VSC difuso y PI.

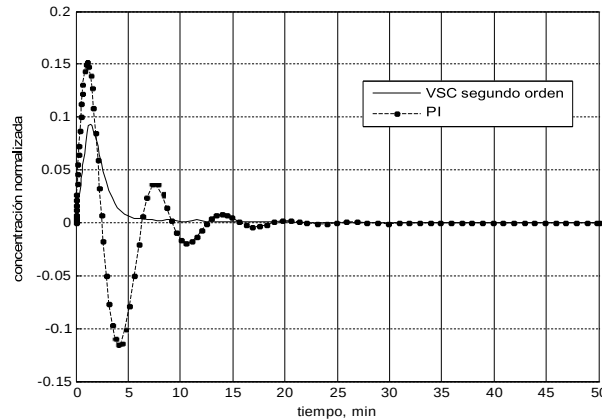


Figura 9. Comparación de la respuesta de la concentración X2 del controlador VSC difuso y PI.

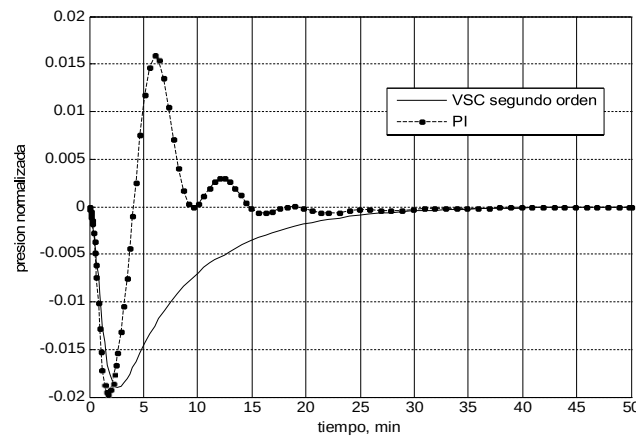


Figura 10. Comparación de la respuesta de la presión P2 para controlador VSC difuso y PI.

C. Efecto del cambio de λ sobre el sistema de control de superficie variable difuso.

Para el cambio del parámetro λ sobre los tres controladores VSC propuestos, se observa que un incremento de este parámetro produce una respuesta **transitoria** más rápida, aunque parece afectar la estabilidad del sistema generando

mayor oscilación alrededor del valor de estado estacionario. Esto puede observarse en las Figuras 11, 12 y 13. Un incremento de λ hace que la curva de respuesta de S mostrada en el diseño de los controladores tenga un cambio más vertical, lo que produce una mayor oscilación al desviarse el error del valor cero.

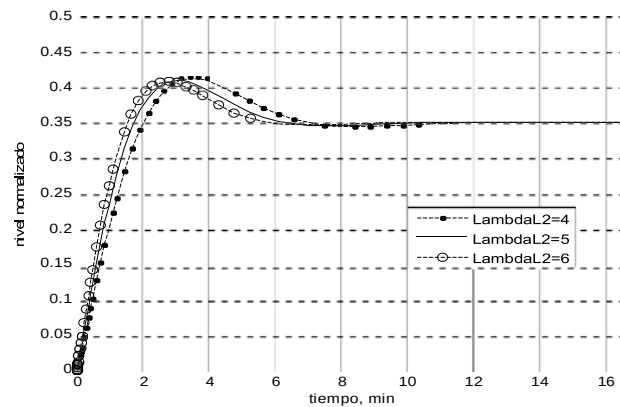


Figura 11. Comparación de la respuesta del nivel L2 para cambios de λ .

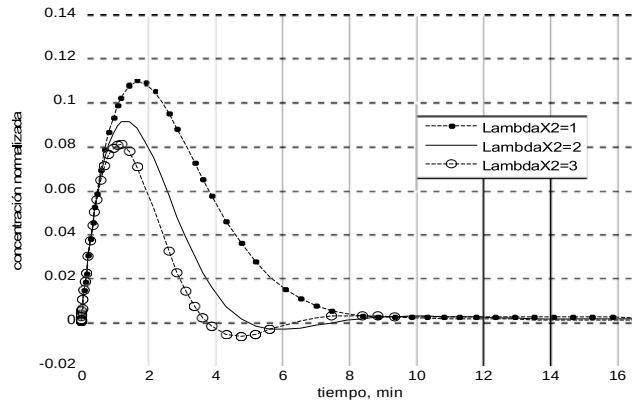


Figura 12. Comparación de la respuesta de la concentración X_2 para cambios de λ .

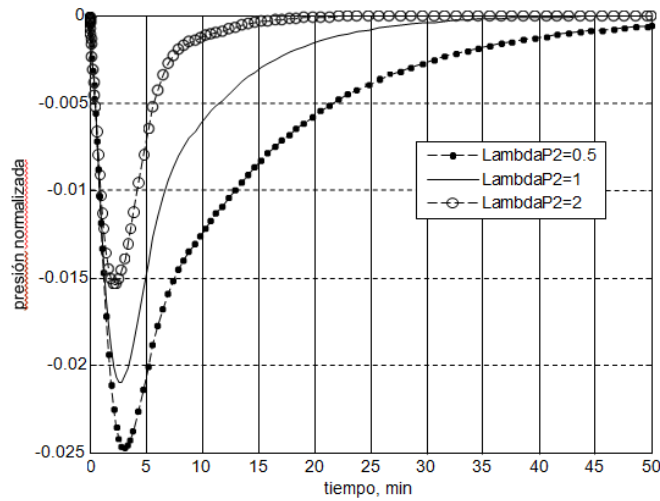


Figura 13. Comparación de la respuesta de la presión P_2 para cambios de λ .

D. Efectos del cambio de K_d sobre el sistema de control de superficie variable difuso.

Para el cambio del parámetro K_d sobre el sistema de control VSC, se observa que una disminución de K_d produce un incremento de la

inestabilidad del sistema, lo que significa un tiempo de estabilización más alto y un mayor sobrepaso máximo de la variable de control. Esto puede observarse en las Figuras 14, 15 y 16.

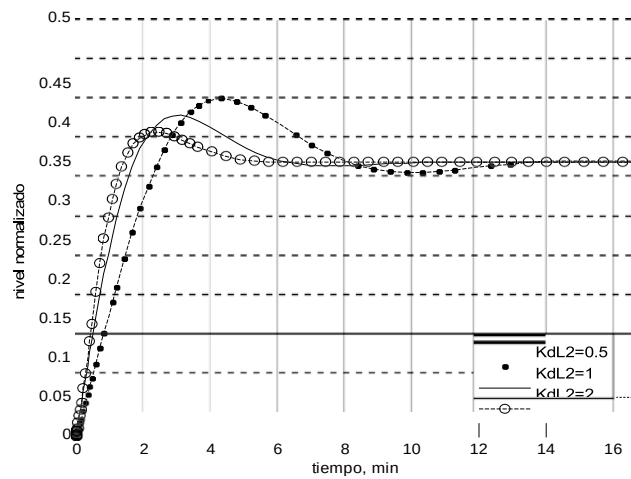


Figura 14. Comparación de la respuesta del nivel L2 para cambios de K_d .

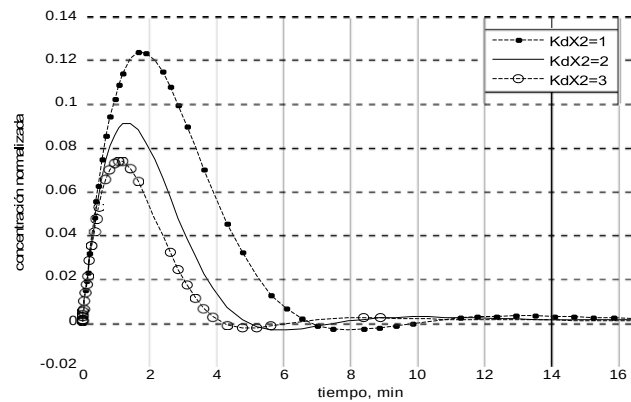


Figura 15. Comparación de la respuesta de la concentración X2 para cambios de K_d .

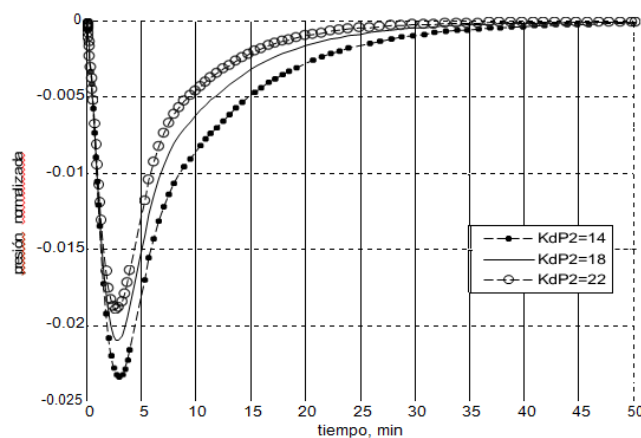


Figura 16. Comparación de la respuesta de la presión P2 para cambios de K_d .

E. Efectos del cambio de K_u sobre el sistema de control de superficie variable difuso

El sistema de control se hace más estable con un incremento de K_u , un tiempo de subida

menor y un tiempo de estabilización menor. Esto puede observarse en las Figuras 17, 18 y 19. Es decir, la estabilidad del sistema de control se beneficia del incremento de K_u .

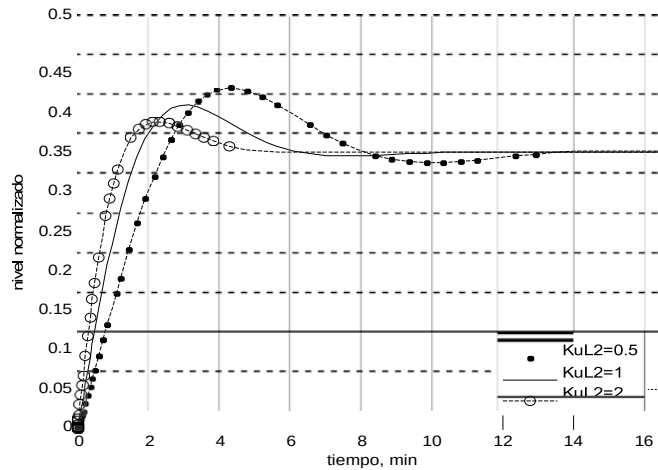


Figura 17. Comparación de la respuesta del nivel L2 para cambios de K_u .

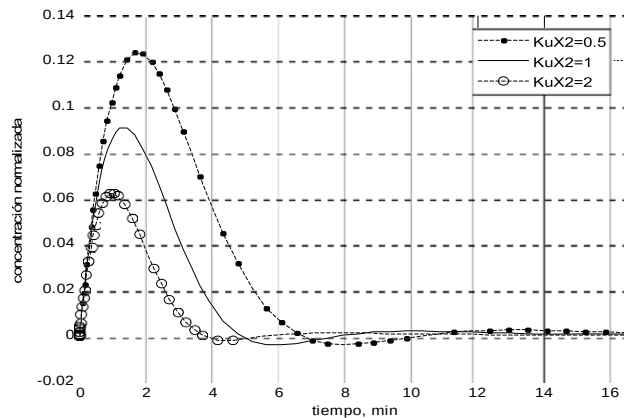


Figura 18. Comparación de la respuesta de la concentración X2 para cambios de K_u .

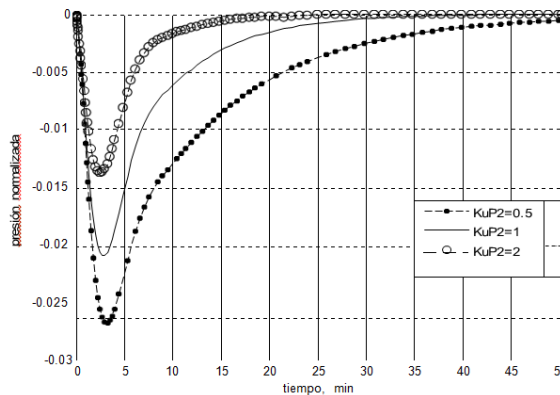


Figura 19. Comparación de la respuesta de la presión P2 para cambios de K_u .

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que se puede integrar la teoría de control difuso y la de superficie variable. Esto permite modificar variables en la estructura del VSC para poder obtener mejor respuesta del sistema como se observa en los resultados. De igual forma esta estructura resulta ser mejor que un control PI convencional.

CONCLUSIONES

El sistema de control VSC depende de la elección de los parámetros de control λ , K_u y K_d . En particular, incrementos de λ elevan la velocidad de respuesta disminuyendo la estabilidad del sistema, haciendo más vertical la superficie de deslizamiento del sistema de control.

El incremento de K_u y K_d mejora la estabilidad del sistema de control, haciéndolo más rápido y más estable.

El sistema de control VSC difuso jerárquico de segundo orden muestra ser más eficiente y mejor que el sistema de control PID convencional. El sistema de control de superficie variable difuso, descrito en esta investigación, permite establecer una estrategia de control no lineal sobre un sistema multivariable de evaporación.

En particular, el sistema VSC recomendado por la experimentación sobre el sistema es uno de segundo orden jerárquico.

REFERENCIAS

- Barreto, E. y Requez, J. P. (2012). Sistema de control PID-difuso de la concentración de soluto a la salida de un evaporador de circulación forzada de tubos verticales. UNEXPO, Venezuela, Barquisimeto.
- Lanza, G. (2013). Control multivariable para un evaporador de circulación forzada mediante realimentación del vector de estado. Trabajo de ascenso, Universidad de Carabobo.
- Li, H., Gatland, H. B., Green A. W. (1998). Fuzzy Variable Structure Control. IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 27, n° 2, pp. 306-312.
- Silva, M. y Becerra, L. (2002). Estrategias de control para resolver el problema del tiempo muerto en un intercambiador de calor. UNEXPO, Barquisimeto.
- Newell, R. y Lee, P. (1989). Applied Process Control, Melbourne: Prentice Hall.
- Requez, J. (2013). Controladores PID difusos para un proceso de evaporación de circulación forzada. Caracas.
- Sabanovic, A. (2011). Variable Structure Systems With Sliding Modes in Motion Control—A Survey. IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 7, n° 2, 212-223.
- Utkin, V. (1977). Variable structure system with sliding modes. IEEE Trans. Automat. Control, vol. AC-22.

INDUSTRIAL

HORNO CERÁMICO SUSTENTABLE PARA PRODUCTOS ARTESANALES DE ARCILLA EN LATINOAMÉRICA. CASO: MÉXICO

SUSTAINABLE CERAMIC KILN FOR CLAY CRAFT PRODUCTS IN LATIN AMERICA. CASE OF STUDY: MEXICO

Autores:**Díaz_García, Juan¹; Suárez, Gustavo²; García, Francisco²; Rosales, Wilber¹; Reina, Jesús¹; Zambrano_Sandoval, Heidy³**¹Dpto. Ing. Mecánica. UNET. Venezuela.²ALTECSUS. C.A. México.³Programa de Investigación Socio Humanístico. UNET**Corresponding Author:** jidiaz@unet.edu.ve**RESUMEN**

La necesidad de hornos cerámicos tecnológicamente sustentables para la fabricación artesanal de productos de arcilla roja en el entorno mexicano fue el motivo de esta investigación. A partir de la experiencia de campo del personal de la empresa ALTECSUS C.A. de C.V., se obtuvieron las características más importantes a ser incorporadas en un horno artesanal para tejas y ladrillos de arcilla roja. Se determinaron las limitaciones de combustible, aislamiento térmico, tiro y duración del ciclo térmico. El diseño incluyó la aplicación de herramientas de simulación (ANSYS15®), que permiten la fabricación de hornos más eficientes energéticamente y sustentables en su operación. La simulación se realizó en varias etapas, consistentes en el modelado CAD, discretización del dominio computacional, análisis de sensibilidad de la malla, condiciones de borde, solución y post-proceso. La malla seleccionada para el estudio transitorio fue de 2478376 elementos tetraédricos y se evaluó la evolución de la temperatura promedio de la carga para tres configuraciones o arreglos. Se establecieron como variables: la temperatura, el refractario, el combustible y la disposición del material dentro del horno. Se sugiere el uso de cámaras de retención de material particulado en la salida de los gases de combustión, para disminuir las emisiones contaminantes. Finalmente, se presenta la aplicación industrial de las herramientas computacionales en la construcción de un horno cerámico más eficiente y sustentable para los microempresarios mexicanos.

ABSTRACT

The need for technologically sustainable ceramic ovens to be used in the craft manufacture of red clay products in the Mexican environment was the motivation for this research. From the field experience of the staff of the company ALTECSUS C.A. of C.V. which provides energy solutions to the Mexican craft ceramic sector, the most important characteristics to be incorporated in the design of a craft kiln for red clay tiles and bricks were obtained. The limitations of: fuel, type of available thermal insulation, draft and duration of the thermal cycle were determined. The design process of a furnace adapted to the needs of the Mexican craft sector included the application of simulation tools (ANSYS15®), which allow the design of more energy efficient and sustainable kilns in their operation. The simulation process was carried out in several stages which consist of CAD modeling, discretization of the computational domain, and sensitivity analysis of the mesh, border conditions, solution and post-process. The mesh selected to perform the study was 2478376 Tetrahedral elements and the evolution of the average temperature of the load for three configurations or arrangements was evaluated. The following variables were established for the design of ceramic clay kilns for Mexico: the temperature, the type of refractory, the fuel and the material disposition inside the kiln. It is also suggested the use of retention chambers of particulate material in the output of combustion gases, which allow reducing polluting emissions. Finally, the industrial application of the design process is presented by means of computational tools in the construction of a more efficient and sustainable ceramic kiln for Mexican micro entrepreneurs.

Palabras clave: horno, arcilla, diseño, simulación, México.**Key words:** kiln, clay, simulation, design, Mexico.**Recibido:** 02/04/2018 **Aprobado:** 26/06/2018 **Versión Final:** 27/08/2018

INTRODUCCIÓN

La cocción o quema de productos de alfarería necesita de un equipo destinado a someter el producto a la temperatura deseada con el mayor aprovechamiento de combustible: este es el horno cerámico. Con este fin existen en la industria moderna diversos tipos de hornos que se construyen atendiendo a varios factores: combustible, tipo de materia prima a usar, volumen de producción, entre otros. Los hornos empleados en la alfarería constituyen dos grupos fundamentales: los periódicos (intermitentes) y los continuos.

Para el diseño de un horno deben considerarse cinco factores críticos (Díaz y Sánchez, 2011): a) clase de horno: de tiro ascendente, descendente, cruzado, circular o de esmalte salino; b) material a ser calcinado: la mezcla de arcillas determina el tipo de horno que se necesita, su tamaño y el combustible; c) condiciones atmosféricas: en el interior se puede establecer una atmósfera oxidante, reductora o neutra; d) combustible: la disponibilidad de gas natural, propano/butano, aceite, fuel-oil, gas-oil, madera, carbón-coque o electricidad debe ser considerada en el momento de realizar el diseño; e) localización: cada localización tiende a influir en el tipo de horno, considerando las regulaciones ambientales existentes en cada país en particular.

Principios de diseño

Para garantizar un diseño que funcione adecuadamente es necesario seguir una serie de principios sencillos que permitirán un buen manejo del calor y de los gases internos (Olsen, 2001): 1) el cubo es la mejor forma para los hornos de altas temperaturas; 2) la forma de la cámara estará determinada por la dirección del flujo de calor; 3) la cámara de combustión depende del combustible utilizado.

Materiales para su construcción

El horno ideal será una caja refractaria con gran eficiencia térmica. Los hornos están dotados normalmente de una estructura o armazón de acero y de un revestimiento de ladrillo aislante u otro material refractario (Díaz *et al.*, 2016). La selección de los materiales para su construcción

es difícil, dado que no existe ningún producto que sea el más adecuado para todos los casos; se deben tomar en cuenta las condiciones de servicios, como temperatura, carga máxima, abrasión debida a las cenizas, ataques por humos, vapores, escorias, y la presencia de atmósferas oxidantes o reductoras. Los materiales más utilizados son los cerámicos, tales como ladrillos, bloques y perfiles refractarios, fibras aislantes, concreto, así como también morteros, mezclas apisonadas, revoques refractarios, bases de hormigón y perfiles de acero. Las partes metálicas se emplean en forma de rieles para transporte de carga, placas divisoras, armaduras, tirantes y soportes de puertas. Los revestimientos con fibras cerámicas ofrecen ciertas ventajas; por ejemplo, el espesor del revestimiento puede ser delgado debido a la baja conductividad térmica del material, baja capacidad calorífica y excelente resistencia al choque térmico.

MÉTODO

La presente investigación se concibió de tipo descriptivo, por cuanto comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la situación o estado actual del fenómeno estudiado (Namakforoosh, 2005). Las técnicas aplicadas fueron la observación directa a través de diversas visitas sucesivas a empresas del sector por parte del personal de ALTECSUS C.A. de C.V., la entrevista no estructurada y el análisis documental, pues se revisaron textos, publicaciones y otros documentos que involucran en su contenido información relevante para el diseño de hornos cerámicos artesanales.

La investigación efectuó la simulación numérica tridimensional de un horno a leña destinado a la cocción de ladrillos, en la cual se busca la mejor distribución de la carga interna para obtener la mayor temperatura promedio del producto. Durante el proceso se siguieron las etapas básicas correspondientes a la dinámica de fluidos computacional (CFD): geometría computacional, discretización del dominio por medio del mallado, condiciones de borde, solución y

resultados. Los mismos se presentan en el párrafo de resultados.

Ecuaciones básicas

La ecuación general de transporte para la masa, cantidad de movimiento, energía, puede ser mostrada en una sola ecuación general, la cual representará la conservación de una propiedad en particular. Si se generaliza para la propiedad ϕ , la ecuación general en su forma integral aplicada a cada celda o volumen de control y discretizada tomando en cuenta los diferentes términos que la conforman, será (Versteeg y Malalasekera, 1995):

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{CV} \rho \phi dV \right) + \int_A n (\rho \phi u) dA = \int_A n (\Gamma \text{ grad } \phi) dA + \int_{CV} S_{\phi} dV$$

El modelado del sistema se desarrolló con base en ecuaciones de continuidad, momento y energía, definidas como:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial \rho v_j}{\partial x_j}$$

$$\frac{\partial \rho v_i}{\partial t} = - \frac{\partial \rho v_j v_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} - g_i \rho \beta (T - T_w)$$

$$\frac{\partial \rho C_p T}{\partial t} = - \frac{\partial \rho C_p T v_i}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[-k \frac{\partial T}{\partial x_j} + q_{r,j} \right] - \tau_{ij} \frac{\partial v_i}{\partial x_j}$$

donde v : vector de velocidad, τ : tensor de esfuerzo cortante, g : vector de aceleración gravitacional, T : temperatura, T_w : temperatura de la pared, q_r : vector de flujo de calor por radiación térmica, ρ : densidad, C_p : capacidad calorífica específica, k : conductividad térmica, y β : coeficiente de expansión de volumen $1/T$ para gas ideal.

Geometría computacional

En esta etapa se realiza el modelado CAD del horno partiendo de su dimensionamiento interno, y ajustado a los requerimientos de espacio y diseño establecidos.

Características del horno cerámico

De acuerdo con los datos recopilados por el personal de campo de ALTECSUS C.A. de C.V. en las visitas a los artesanos, las siguientes condiciones serían las necesarias a cumplir por el horno a diseñar: a) tiro invertido con aire forzado alimentado por ventilador vertical; b) paredes metálicas y recubrimiento de fibra cerámica; c) cuatro hornillas con madera como combustible; d) productos a sinterizar: ladrillo macizo (22 x 11 x 5 cm y un peso de 1,5 kg seco); e) carga sugerida: 4680 ladrillos (7020 Kg); f) volumen interno de más de 6 m³.

RESULTADOS

Los resultados de la evaluación del horno cerámico para productos artesanales de arcilla proyectado para el entorno mexicano se presentan a continuación:

Características dimensionales

De acuerdo con la información recabada por los ingenieros Gustavo Suárez y Francisco García en las visitas a las microempresas, el tamaño de horno más adecuado a su nivel de producción en promedio sería aquel que les permitiera producir al menos 7.000 Kg. de tejas o ladrillos semanales. En función de dicha carga, los requerimientos planteados y aplicando los principios de diseño ya mencionados, se presentan en la figura 1 las características dimensionales del horno a diseñar.

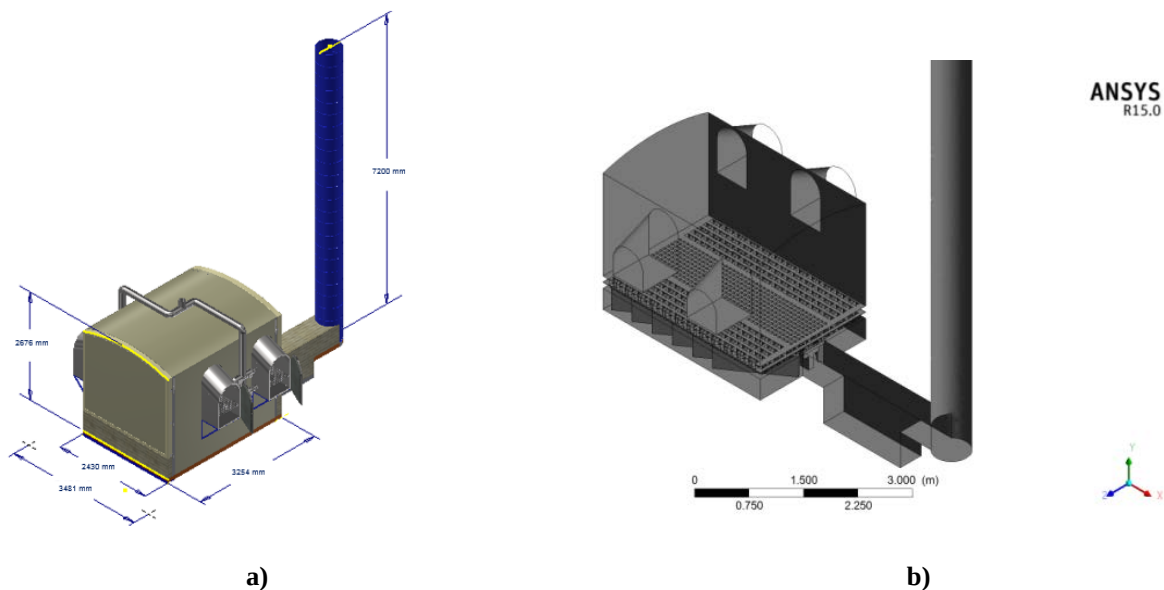


Figura 1. a) Isometría del horno con dimensiones, y b) Vista interna para la simulación.

Geometría computacional

En esta etapa se realizó el modelado CAD, partiendo del dimensionamiento interno

mostrado en la figura 1.a. De la figura 2 a la 5 se visualiza el espacio interno así como la configuración cargada.

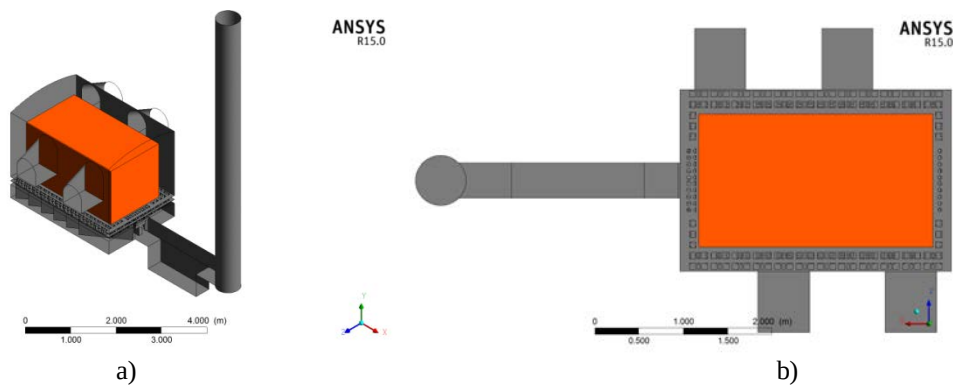


Figura 2. a) Horno vista interna cargado, y b) Horno vista de planta cargado.

Discretización del dominio computacional

A continuación se presenta la tabla 1, con las estadísticas de mallado correspondientes a cada

una de las mallas utilizadas; posteriormente, en la figura 3, se presenta una vista frontal y lateral de la malla 2.

Tabla 1. Estadísticas de las mallas

Malla	Estadísticas	Malla	Estadísticas	Malla	Estadísticas
	Nodos		Nodos		Nodos
1	245318	2	624276	3	1027364
	elementos		elementos		elementos
	913703		2478376		4294384

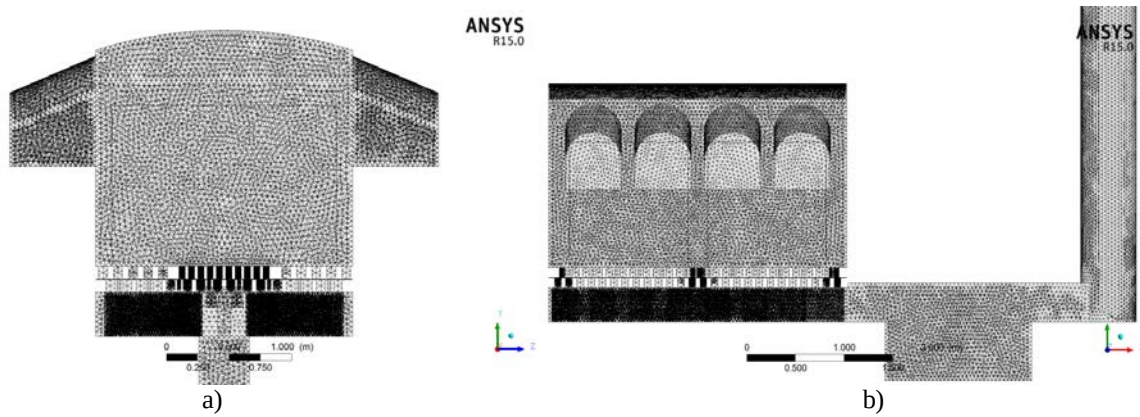


Figura 3. a) Malla 2 vista frontal, y b) Malla 2 vista lateral.

Las condiciones de borde

En la tabla 2 se presentan las condiciones de borde propuestas en la simulación.

Tabla 2. Condiciones de borde

Condición de borde	Valor
Entrada	$\dot{V}_{Entrada} = 4,9 \text{ m}^3/\text{s}$ $T_{entrada} = 1100^\circ\text{C}$
Salida	$P_{Salida} = 0 \text{ Pa}$
Paredes	$u = v = w = 0$ Adiabático
Modelo de turbulencia	$k - \varepsilon$
Modelo de transferencia de calor	Thermal Energy
Modelo de radiación	Monte carlo

Luego de realizar el análisis de sensibilidad de malla se encontró que la discrepancia entre los resultados de las tres mallas utilizadas no supera el 3 % de error; por tanto, los resultados expuestos a continuación corresponden a la malla 2 (Figura 4).

Solución

En la simulación se emplearon tres distribuciones de carga de un solo módulo (C1), dos módulos (C2) y cuatro módulos (C3); y se evaluó la evolución de la temperatura promedio de la carga, como puede apreciarse en la figura 5.

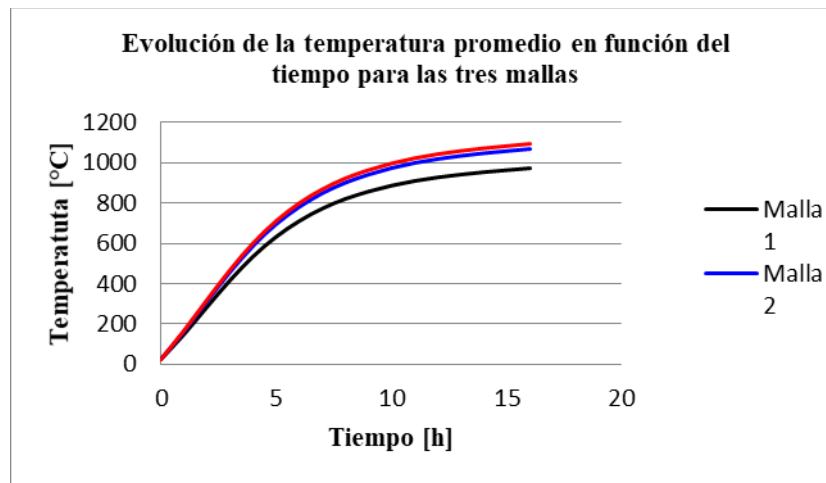


Figura 4. Evolución de la temperatura promedio en función del tiempo para las tres mallas.

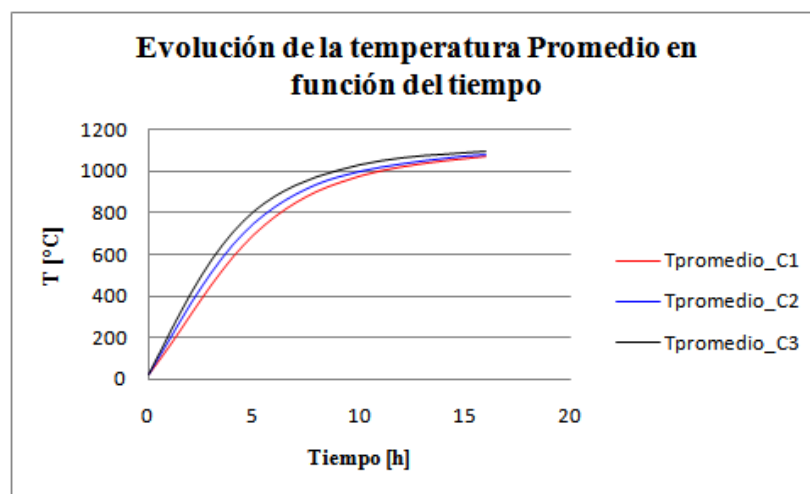


Figura 5. Evolución de la temperatura promedio en función del tiempo para los tres arreglos de carga estudiados.

A continuación se presentan contornos de temperatura para la malla 2 del módulo de carga 3 estudiado.

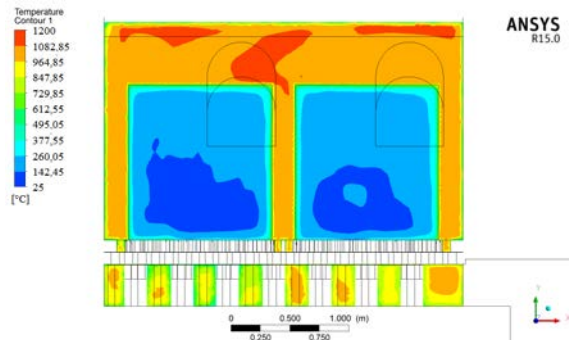


Figura 6. Contorno de temperatura tiempo = 1h.

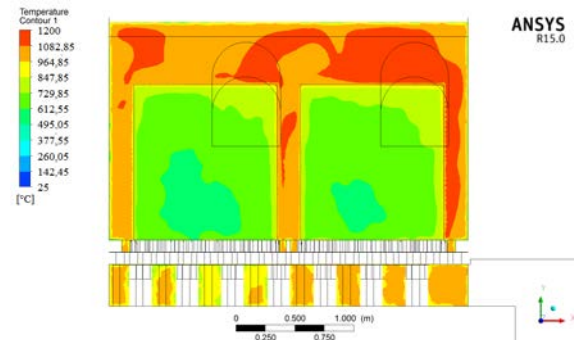


Figura 7. Contorno de temperatura tiempo = 4h.

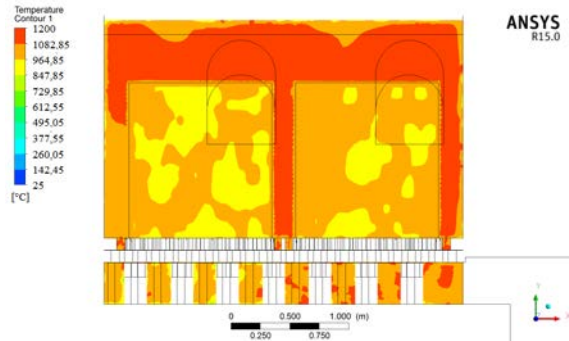


Figura 8. Contorno de temperatura tiempo = 8h.

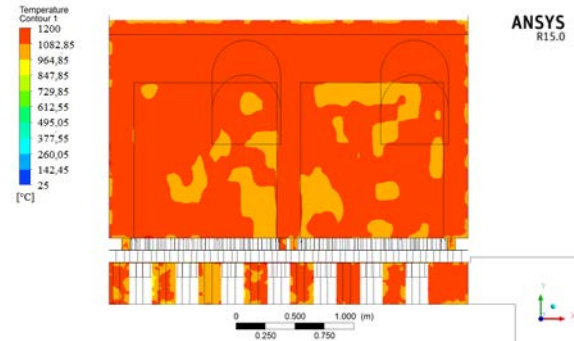


Figura 9. Contorno de temperatura tiempo = 16h.

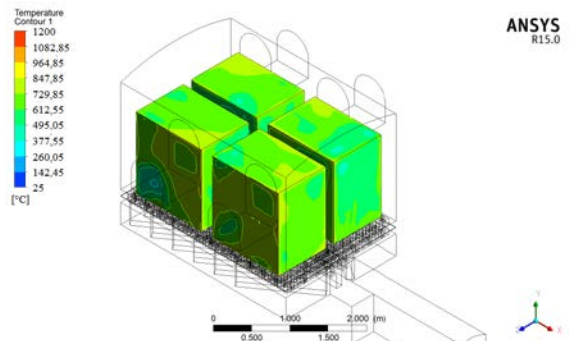


Figura 10. Contorno de temperatura tiempo = 1h.

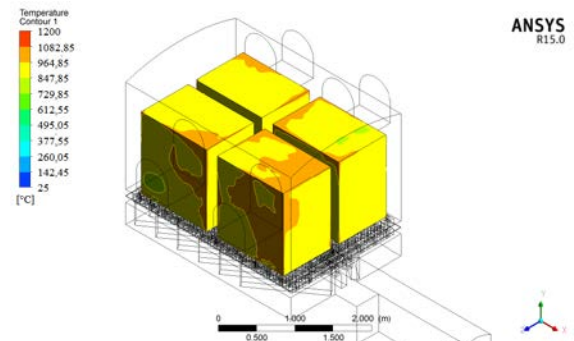


Figura 11. Contorno de temperatura tiempo = 8h.

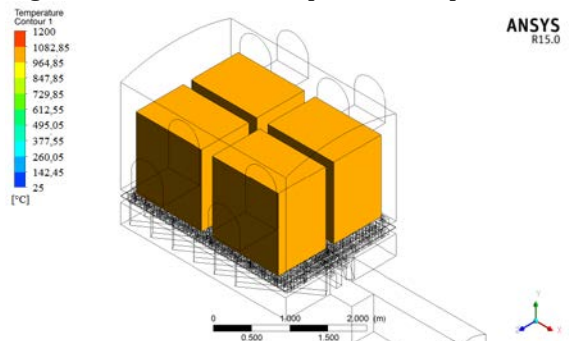


Figura 12. Contorno de temperatura tiempo = 8h.

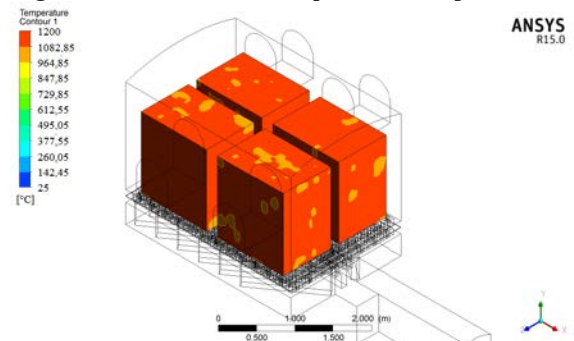


Figura 13. Contorno de temperatura tiempo = 16h.



Figura 17. Horno cerámico sustentable para productos artesanales de arcilla en Latinoamérica, construido a finales de 2017 en el estado de Puebla (México), de acuerdo con las sugerencias de esta investigación.



Figura 18. Ingenieros Gustavo Suárez y Francisco García (izq. con sombreros), y artesanos del sector junto al horno.

DISCUSIÓN

La información recabada por el personal de campo permitió conocer en un principio las necesidades del sector en cuanto a capacidad, tamaño y combustible. En función de la cantidad de carga y otros requerimientos, y aplicando los principios ya mencionados, se diseñó el horno presentado en la figura 1. Para evaluar su desempeño se procedió al modelado CAD partiendo de su dimensionamiento interno, mostrado en la figura 2. La discretización del dominio computacional se obtuvo en la tabla 1, con las estadísticas correspondientes a cada una de las mallas, y posteriormente en la figura 3 se señaló una vista frontal y lateral de la malla 2. Al aplicar el análisis de sensibilidad se encontró que la discrepancia entre los resultados de las tres mallas utilizadas no supera el 3 % de error, y por lo tanto los resultados presentados corresponden a la malla 2 (Figura 4). Para evaluar la configuración de carga se usaron tres distribuciones: uno, dos y cuatro módulos. Se evaluó la evolución de la temperatura promedio de la carga, tal y como se pudo observar en la figura 5, en la que también se puede ver que las tres cargas presentan la misma tendencia, pero se alcanza mayor temperatura mientras se divide en mayor cantidad de módulos la carga total. Los valores de temperatura máximos alcanzados al cabo de 15 horas para las cargas C1, C2 y C3 son 1068,39, 1078,08 y 1093,34 °C. Los contornos de temperatura y su evolución en el tiempo se pueden ver de la figura 6 a la 13, donde se observa que a las 16 horas la carga está a una temperatura uniforme, como se requiere para una buena sinterización de la arcilla. Al comparar los resultados entre C1, C2 y C3 se puede concluir que al utilizar un solo módulo se generan zonas de baja temperatura ubicadas en el centro de la carga, lo que implica que las zonas de frontera adquieren de manera más rápida la condición de temperatura deseada mientras el centro tarda mucho más, condición que se ve mejorada al dividir la carga en módulos, tal y como se puede observar de las figuras 6 a la 13.

Los componentes del horno diseñado son los siguientes: cabina, hornillas, ductos horizontal y vertical de chimenea, y tubería para aire primario y secundario de la hornilla. Sus dimensiones externas generales son: ancho total del horno 3481 mm, ancho de cabina 2430 mm, altura máxima de cabina 2676 mm, profundidad total del horno 6109 mm, profundidad de cabina 3254 mm; altura de chimenea 7200 mm; diámetro del ducto de aire de 4 y 2 pulgadas. La cabina posee dos puertas de acceso y en las paredes laterales tiene instalado un total de cuatro hornillas totalmente desmontables. Las paredes, puertas y cúpula están cubiertas internamente de fibra cerámica y externamente con una cubierta de lámina metálica. El espesor de las paredes y cúpula es de 8 pulgadas y el de las puertas es de 5 pulgadas (Figuras 14 y 15). El piso de trabajo está compuesto por un arreglo de ladrillos macizos y huecos que permiten el adecuado control de la temperatura y la evacuación a través de la chimenea de los gases provenientes de la combustión (Figura 16). La chimenea está constituida inicialmente por un ducto horizontal de sección interna de 410 mm de ancho por 400 mm de altura, y una cámara de expansión de 410 mm de ancho por 800 mm de altura, la cual genera una disminución en la velocidad del flujo de los gases y de esta manera facilita que las partículas suspendidas en los mismos caigan por gravedad y se alojen en esta sección. El horno construido se presenta en las figuras 17 y 18.

CONCLUSIONES

El desarrollo de un horno cerámico sustentable constituye el principal aporte de esta investigación. Debido a los elevados costos de operación que implica el uso de gas natural, una opción más económica la presenta este horno, que emplea desperdicios industriales de madera y tiene a su salida una trampa para material particulado que disminuye la contaminación por emisiones. Al estar recubierto completamente de fibra cerámica, es eficiente y evita la transmisión de calor por radiación al entorno laboral. La evaluación de su desempeño será objeto de futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- Díaz, J. I.; Sánchez, J. (2011). Introducción a los hornos utilizados en la industria cerámica tradicional. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Díaz, J. I.; S. Molina; J.; G. Prato, (2016). Energy-environmental diagnosis of the ceramic sector companies in the metropolitan area of Cucuta, Norte de Santander, Colombia. Key Engineering Materials, 663: 133-139.
- Namakforoosh, M. (2005). Metodología de la investigación. 2da. ed., México: Limusa.
- Olsen, F. (2001). The kiln book: materials, specifications & construction. 3ra. ed., Estados Unidos: Krause Publications.
- Versteeg, H.; Malalasekera, W. (1995). An introduction to computational fluid dynamics.

INDUSTRIAL

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN CLIMAS TROPICALES LATINOAMERICANOS

ENERGETIC CHARACTERIZATION IN LATIN AMERICAN SOCIAL INTEREST HOUSES WITH TROPICAL WEATHER

Autores:

Agudelo, Nancy¹; Ramírez, Rodrigo²; Sainz, Luis³¹UNET. Av. Universidad, Sector Paramillo, 5001 Táchira San Cristóbal, Venezuela²UB. UNIBA. Av. Josep Tarradellas i Joan. 179. 08901. Hospitalet de Llobregat, España³UPC. ETSEIB. Campus Diagonal Sud Av. Diagonal 647 08028 Barcelona, España

Corresponding Author: aagudelo@unet.edu.ve

RESUMEN

En este documento, se desarrolló una metodología para caracterizar desde el punto de vista energético una vivienda de interés social (VIS) típica de los países de América Latina con clima tropical. Para la caracterización se tuvo dos herramientas: en primer lugar se realizó una encuesta a 46 especialistas de países de la zona de interés para determinar cómo sería una vivienda típica. En segundo lugar se estudiaron diferentes normas y estándares: Passivhaus (Alemania), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)(USA), Standard Assessment Procedure (SAP)(Reino Unido), y el Código Técnico de la Edificación (CTE)(España). Como resultado de la calificación con el CTE, se encontró que la vivienda definida no cumple los requerimientos mínimos, alcanzando un 143,4% por encima de la demanda de referencia para calefacción y 272,5% para refrigeración. La vivienda finalmente cumplió con los criterios exigidos por el CTE, alcanzando una calificación de "C" en un baremo de letras que va desde la A a la G, logrando 59,4% de la demanda de referencia para la calefacción y 97,2% para la refrigeración. El estudio permite comprobar que elegir la mejor tecnología para la construcción y el equipamiento adecuado aporta un ahorro energético significativo logrando temperaturas de confort, además del impacto sobre los costos y beneficios asociados al ambiente. Por último se evidencia la necesidad de políticas de eficiencia energética de carácter técnico y jurídico en todos los países Latinoamericanos, que soporten la evolución de las edificaciones hacia la eficiencia y la sostenibilidad.

ABSTRACT

In this document, a methodology was developed to characterize from the energy point of view a housing of social interest (HSI) typical of Latin American countries with tropical climate. Two tools were used for the characterization: first, a survey was carried out to 46 specialists from countries of the area of interest to determine what a typical dwelling would look like. In second place, different norms and standards were studied: Passivhaus (German), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) (USA), Standard Assessment Procedure (SAP) (United Kingdom), and the Technical Building Code (CTE) (Spain). When qualifying, it was found that the characterized housing does not meet the minimum requirements to be qualified, reaching 143.4% above the reference demand of the CTE for heating and 272.5% for cooling. The house finally met the criteria required by the CTE, reaching a grade of "C" in a scale of letters ranging from A to G, achieving 59.4% of the reference demand for heating and 97.2 % for cooling. The study shows that choosing the best technology for construction and adequate equipment provides significant energy savings by achieving comfort temperatures, in addition to the impact on costs and benefits associated with the environment. Finally, there is evidence of the need for energy efficiency policies of a technical and legal nature in all Latin American countries, which support the evolution of buildings towards efficiency and sustainability.

Palabras clave: Vivienda de interés social, eficiencia energética, sostenibilidad, calificación energética, clima tropical.

Key words: housing of social interest, energy efficiency, sustainability, energy rating, tropical weather

INTRODUCCIÓN

Según el informe *Energy technology perspectives 2010, scenarios & strategies to 2050* (OECD/IEA, 2010), el uso global de energía en el sector residencial aumentó 28 % entre 1990 y 2007, y el consumo de energía en los hogares ha crecido más en los países no pertenecientes a la OCDE (34%) que en los que sí pertenecen a esta organización (17%), con lo cual se hace necesaria la búsqueda de estrategias para mitigar la falta de sostenibilidad en el sector. Desde el punto de vista energético, las construcciones son sistemas complejos en los que la interacción de las tecnologías casi siempre influye en la demanda de energía (Zhu, 2012).

Este documento tiene la finalidad de aportar una metodología para caracterizar desde el punto de vista energético una vivienda de interés social, la cual denotaremos como VIS, típica de países latinoamericanos con clima tropical. Para la caracterización se tuvo dos herramientas: en primer lugar se realizó una encuesta a 46 especialistas de países de la zona de interés para determinar cómo sería una vivienda típica. En segundo lugar se estudiaron diferentes normas y estándares, y se logró enmarcar la VIS dentro de una evaluación de eficiencia energética, de la cual se partió para proponer alternativas para la transformación hacia una vivienda eficiente y sostenible.

Special report on renewable energy sources and climate change mitigation (IPCC, 2011) plantea que elegir la mejor tecnología para la construcción es importante debido al impacto sobre los costos y beneficios asociados al ahorro de energía. El estudio de la VIS en los países latinoamericanos con clima tropical se debe al incremento de políticas de estado para el desarrollo de planes de construcción como solución habitacional: un nuevo planteamiento de construcción y equipamiento se traduciría en un ahorro energético significativo y ello haría que algunas tecnologías energéticas sean accesibles.

METODOLOGÍA

Caracterización de la vivienda de interés social

Para la caracterización de la vivienda se usaron los parámetros cualitativos aportados por las legislaturas de los países de la zona:

- Diseño según el sitio geográfico y contexto cultural.
- Inserción de la vivienda y del asentamiento en la trama urbana.
- Vivienda saludable en términos de sanidad, ventilación e iluminación.
- Vivienda segura desde el punto de vista ambiental, social y estructural constructivo, con espacios diferenciados social y funcionalmente.
- Servicios de índole comunitaria, calidad y accesibilidad física ajustadas a parámetros de densidad y distancia.
- Adaptabilidad al desarrollo futuro.

No obstante, estos parámetros no permiten caracterizar cuantitativamente la vivienda. Por ese motivo, se plantea una encuesta enmarcada en cinco categorías:

1. **Ambiente:** datos del entorno donde se levanta la vivienda, como temperatura, humedad, radiación, velocidad del viento.
2. **Cimentación:** criterios relacionados con el terreno destinado a la construcción, como área, base del terreno, vecindad, etc.
3. **Construcción:** todo lo que define la construcción de la vivienda, como diseño, materiales, estructura y acabado arquitectónico.
4. **Equipamiento:** tipos de energía suministrada e instalaciones en que se usan, así como todo equipo que funcione con energía y esté destinado a satisfacer alguna necesidad del usuario.
5. **Confort y sostenibilidad:** medidas y pautas para llegar a valores de confort, bajar los costos de un servicio y aprovecharlo con mayor eficiencia.

A partir de las categorías anteriores se elaboró una encuesta con 72 preguntas que aportan la información necesaria para caracterizar la vivienda. Esta encuesta fue remitida a una muestra de 46 expertos de Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panamá y Venezuela, seleccionados en función de grados de instrucción y vinculación al área. La mayoría son profesores universitarios, dispuestos en distintas ciudades de los países mencionados. Los resultados se presentan a continuación.

Análisis de los resultados de la vivienda

El ambiente donde se ubica la vivienda corresponde a la definición de un clima tropical, en cuanto a temperatura y humedad, con una temperatura promedio anual de 23,09 °C y un rango de humedad relativa entre 65 y 90 %.

Los resultados de las encuestas se resumen en la tabla 1. El criterio utilizado para caracterizar la VIS es aquel en que la mayoría de encuestados coincidía.

Respecto a la categoría de confort y sostenibilidad, se consultó el uso de las siguientes medidas:

- Orientación de la vivienda.
- Distribución interna en función del aprovechamiento de la iluminación natural.

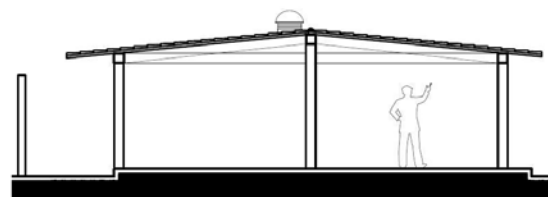
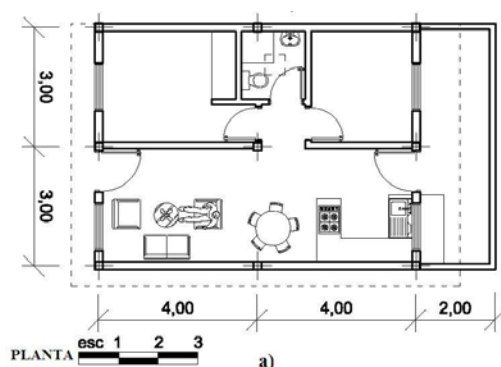


Figura 1. a) Distribución de la VIS. b) Vista lateral de la VIS

- Vegetación como cortina natural y/o climatizador.
- Uso de toldos y persianas para el control de la radiación solar.
- Lucernarios o tragaluz.
- Automatización y/o control en la iluminación.
- Implementación de sistemas alternativos de energía para el agua caliente sanitaria (ACS).
- Prestación en los cristales.

Las respuestas a todas las medidas planteadas fueron negativas, con excepción del uso de lucernarios o tragaluz en los baños y ocasionalmente en la cocina.

Según los resultados del estudio, la VIS se puede describir como una vivienda con una parcela de 60 m² y 48 m² de construcción, de un solo nivel, dos habitaciones, un baño, espacio común para cocina, comedor y salón, y área exterior al final de la vivienda para los servicios de lavandería (Figura 1). Respecto a los acabados, tendría piso de cerámica, techo a dos aguas de madera y teja, baño con revestimiento y piezas de cerámica, y fachada lisa con pintura. En cuanto a los materiales, usa bloque de cemento para las paredes y placa de piso de hormigón armado. En cuanto al equipamiento energético, cuenta con servicios e instalaciones de agua potable, electricidad y gas.

Tabla 1. Caracterización de la VIS

Ambiente		
Parámetro evaluado	Respuesta	Porcentaje
Temperatura	23,09 °C	Promedio
Humedad relativa	78,4 %	Promedio
Radiación solar	6,2 Kwh/m ²	Promedio
Velocidad del viento	4.7 m/s	promedio
Precipitaciones (anual)	54.21 mm	Promedio
Cimentación		
Parámetro evaluado	Respuesta	Porcentaje
Superficie de la parcela	Menos de 60 m2	65 %
Área construida	Menos de 50 m ²	50 %
Preparación de suelo	Hormigón con malla electrosoldada	90 %
Diseño		
Parámetro evaluado	Respuesta	Porcentaje
Número de plantas	Una	65 %
Número de habitaciones	Dos	50 %
Número de baños	Uno	90 %
Distribución de área comunes (un espacio)	Sala, comedor, cocina	
Contacto con la vivienda vecina	Adosada por un lado	35 %
	Adosada por dos lados	35 %
Estructura		
Parámetro evaluado	Respuesta	Porcentaje
Tipo de estructura	Hormigón	45 %
Tipo de fachada	Una hoja	55 %
Material de cerramientos	Bloque de cemento	50 %
Aislantes	Ninguno	65 %
Tipo de cubierta	A dos aguas	80 %
Material de cubierta	Machihembrado y teja	50 %
Acabado de suelo	Cerámica o baldosa	70 %
Acabados		
Parámetro evaluado	Respuesta	Porcentaje
Sistemas de ventanas	Panorámicas o correderas	45 %
Marco de ventana	Aluminio	50 %
Área de ventana	1.5 m ²	35 %
Tipo de cristal	Monolítico de 6 mm	80 %
Sistema de puerta	Abatible	100 %
Marco de puerta	Madera	46 %
	Hierro	46 %
Material de puerta	Madera	62 %
Equipamiento		
Parámetro evaluado	Respuesta	Porcentaje
Servicios básicos	Agua potable, electricidad, gas natural	55 %
Tipo de acometida eléctrica	Aérea	75 %
Tipo de conexión eléctrica	Monofásica 3 hilos (2F+N)	65 %
Tipo de suministro de gas	tanque individual	65 %
Tipo de lámpara	Incandescente	40 %
Equipo de cocción	Gas natural	60 %
Equipo de ACS	Gas natural	40 %
Tipo de ventilación	Cruzada	80 %
Equipo de acondicionamiento	Ventilador portátil	35 %

Estudio de la eficiencia energética de la vivienda de interés social

Una vez caracterizada la VIS, el objetivo siguiente es evaluar su eficiencia energética. Para ello, se analizaron diferentes normativas y estándares destinados a la calificación de la eficiencia energética de las edificaciones, para posteriormente decidir cuál es el más apropiado para el estudio. A partir de la norma elegida se procederá a la evaluación.

Normativas y estándares para la calificación energética

Existen distintas normas y estándares destinados a la calificación de la eficiencia energética de las viviendas, entre los que destacan: Passivhaus (Alemania), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED, Estados Unidos), Standard Assessment Procedure (SAP, Reino Unido) y el Código Técnico de la Edificación (CTE, España). Todas estas normas establecen criterios comunes para la calificación de las construcciones, los cuales buscan satisfacer, según corresponda, la norma americana ASHRAE 55 o la europea UNE-EN-ISO 7730, en lo que respecta al bienestar térmico para ambientes interiores, a través de una temperatura adecuada llamada de confort. A efecto de la calificación de la VIS, de los estándares mencionados destaca el español: el CTE, único que ofrece la posibilidad de hacer una calificación en una variedad de zonas climáticas.

Para la calificación el CTE facilita dos programas:

1. Limitación de la demanda energética (LIDER): evalúa los puntos definidos en el Documento Básico de ahorro de energía 1 (DB-HE1) del CTE, para el cálculo de la demanda energética. El programa compara el edificio objeto a calificar, con otro denominado de referencia, pero que cumple estrictamente las exigencias del DB-HE1 en sus valores límites. El programa LIDER entrega un informe en el que define si el edificio a calificar cumple o no el reglamento del CTE, así como un listado de la composición de los cerramientos y el valor final

y de referencia de transmitancia de los cerramientos.

2. Calener VYP: superada la evaluación del programa LIDER, el Calener evalúa los sistemas de acondicionamiento e instalaciones térmicas, según lo señalado en los DB-HE2 y DB-HE4, respectivamente; la iluminación, según lo determinado en el DB-HE3; y la contribución de energía solar fotovoltaica, establecida en el DB-HE5. El programa Calener entrega un informe final que incluye la definición geométrica y constructiva del edificio, los sistemas de acondicionamiento y la escala de calificación, mostrando la valoración obtenida por la construcción.

El diagnóstico energético se hace con el programa LIDER, al cual se le aportan datos básicos, como ubicación, zona climática, tipo de edificio, orientación e higrometría. Una vez cargada la información, se diseñan los elementos constructivos que la conforman, como los cerramientos opacos y semitransparentes, y se hace la proyección geométrica y la distribución interna de la vivienda.

Evaluación de la demanda energética

Para la evaluación se utilizó como ubicación Las Palmas de Gran Canaria, que corresponde a la zona climática A3, zona que denota la severidad climática de invierno con la letra A (severidad muy leve) y la severidad climática de verano con el número 3 (severidad media alta).

La vivienda se proyectó con la fachada principal hacia el sur y adosada a un lado con otra vivienda, compartiendo la medianera por el lado de las habitaciones y el baño (Figura 2.b).

Los materiales y el orden en que fueron colocados corresponden con los resultados de la encuesta. Los valores de transmitancia utilizados para la simulación son los sugeridos por el programa, y algunos materiales fueron creados para satisfacer el criterio aportado por los especialistas consultados. El resultado obtenido a través del informe generado por el programa es:

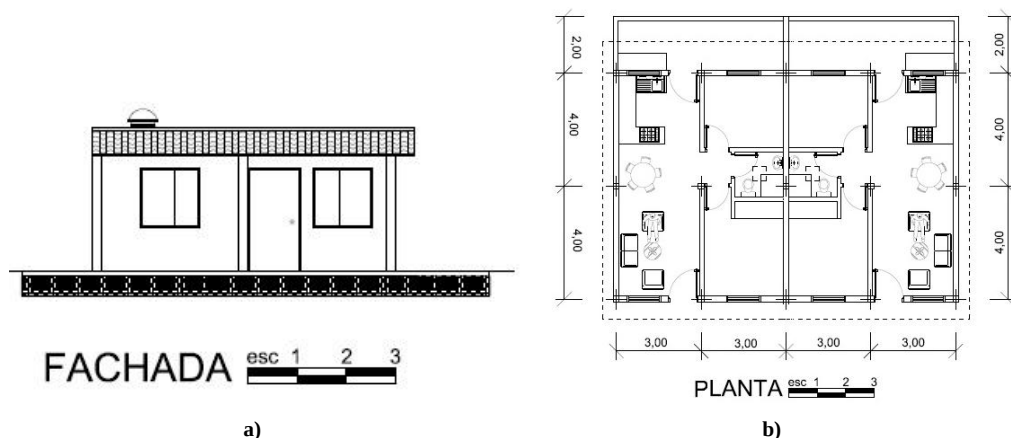


Figura 2. a) Fachada de la VIS. b) Vista de la VIS adosada

“El edificio descrito en este informe NO CUMPLE con la reglamentación establecida por el código técnico de la edificación, en su documento básico HE1”.

La tabla 2 muestra los resultados del programa LIDER. El porcentaje de demanda de referencia expresa la relación del consumo de energía que hay entre el edificio objeto y el edificio de referencia. Así, el valor de 143,4 % significa que la demanda del edificio objeto es 1,434 veces mayor que el edificio de referencia. Los resultados de la proporción relativa a calefacción y refrigeración expresan cuánto de esta demanda corresponde a calefacción y cuánto a refrigeración. El informe especifica que ninguno

de los cerramientos o particiones interiores cumple con los valores de transmitancia térmica máximos permitidos.

La tabla 3 muestra los valores máximos de transmitancia permitidos por el DB-HE1, y en la columna VIS original se muestran los valores obtenidos en la simulación.

La calificación mediante el programa Calener no se realizó debido a que la VIS no cumple los parámetros de demanda energética, con lo cual, para continuar el trabajo, se deben proponer medidas adecuadas para la mejora energética de la vivienda.

Tabla 2. Resultados del programa LIDER VIS original

Parámetros técnicos		
	Calefacción	Refrigeración
% de la demanda de referencia	143,4	272,5
Proporción relativa calefacción refrigeración	74	26

Tabla 3. Transmitancias térmicas de la vivienda

Encerramiento	U (W/m ² K)		
	Valor máximo	VIS original	VIS eficiente
Fachadas	1,25	2,00	0,30
Medianeras	1,80	1,76	0,32
Cerramiento interior	1,80	2,29	0,93
Suelos	0,69	1,13	0,52
Cubiertas	0,65	3,20	0,55
Ventanas	5,70	5,69	2,66
Lucernario	5,70	5,69	2,08
Puerta	5,70	2,20	2,26

DISCUSIÓN

Propuestas de mejora de la demanda energética

Como se comentó, las normativas y estándares revisados establecen criterios comunes, cuyo objetivo es que las construcciones alcancen niveles de consumo de energía mínimos manteniendo el bienestar térmico. De estos criterios se priorizan dos para dar cumplimiento a lo establecido en el DB-HE1 y superar la evaluación del programa LIDER, los cuales son:

- Aislamiento
- Diseño de huecos

Aislamiento: el diseño de una envolvente adecuada limita la demanda energética y favorece el proceso de alcanzar el bienestar térmico. En el caso de estudio, los aislamientos que se eligieron son los mínimos para cumplir con el documento básico DB-HE1.

Para la definición de la envolvente se procedió a evaluar los aportes de los cerramientos que la conforman: fachada, medianera, cerramientos interiores, suelo y cubierta.

En primer lugar, se evaluó el aporte de la fachada (F), para la cual se utilizaron los mismos materiales de la VIS original, incorporando una cámara de aire ligeramente ventilada de 5 centímetros y una capa de 5 centímetros de poliestireno expandido ($\text{EPS}=0,037 \text{ W/m K}$). A la medianera se le agregaron 10 centímetros de EPS. El segundo cambio fueron los cerramientos interiores (CI), a los cuales se les agregó una capa de 2 cm de EPS. El tercer cambio fue colocar aislamiento al suelo (AS), al cual se le agregó una capa de 5 centímetros de lana mineral ($0,04 \text{ W/M K}$). El último cambio a la envolvente fue aislante en la cubierta (AC), a la

cual se le agregó una capa de 5 centímetros de EPS y el ajuste de los puentes térmicos.

A medida que se van agregando los cambios, se nota una significativa mejora en los valores, como se puede ver en la tabla 4, aunque el sistema sigue sin cumplir. El aislamiento asegura la conservación de una temperatura de confort dentro de la vivienda. El punto crítico es el nivel tan alto de humedad que hace imprescindible el uso del aire acondicionado, lo cual se refleja en la demanda para refrigeración. Los problemas se presentan con respecto a los huecos, que permanecen por encima de los valores máximos permitidos.

Diseño de huecos: la reforma de las ventanas y el lucernario se hace por el tipo de cristal. Se sustituye el cristal monolítico de 6 mm por uno de doble acristalamiento (4/12/4) con factor solar de 0,52, que reduce hasta 40 % las aportaciones energéticas sin que esto suponga una pérdida de luminosidad; en cuanto al marco, usa uno de madera de densidad media alta. Con respecto a la puerta, es de madera con marco de madera. El resultado obtenido al incorporar estos últimos cambios al diseño original es:

“El edificio descrito en este informe CUMPLE con la reglamentación establecida por el código técnico de la edificación, en su DB-HE1”.

La tabla 5 muestra los valores aportados por la simulación: se aprecia que están por debajo de 100 %, y ello equivale a que los consumos de la vivienda objeto son menores a los de la vivienda de referencia, de modo que cumple con los valores mínimos establecidos.

Finalmente, la tabla 3 muestra los valores de transmitancia térmica de la vivienda antes y después de incorporar los criterios aportados por las normativas.

Tabla 4. Resultados LIDER

Cambio	% de la demanda	
	Calefacción	Refrigeración
F	121,6	119,4
F + CI	98,6	183,4
F + CI + AS	89,7	182,9
F + CI + AS + AC	55,6	108,4

Tabla 5. Resultados del programa LIDER VIS corregida

	Parámetros técnicos	
	Calefacción	Refrigeración
% de la demanda de referencia	59,0	96,5
Proporción relativa calefacción refrigeración	28,6	71,4

Evaluación energética con el programa Calener VyP

Cumplidos los requisitos de demanda energética, se continúa el proceso de calificación, para lo cual se utiliza el programa Calener VyP.

En este punto es obligatoria la implementación de un tercer criterio: el programa Calener evalúa los sistemas de acondicionamiento e instalaciones térmicas; la vivienda obtenida de la caracterización no cuenta con ninguno. De las instalaciones térmicas, se elige el sistema de agua caliente sanitaria (ACS) con contribución solar térmica, y de esta forma se cumple lo concerniente a la previsión de consumo de energía y reducción de emisiones de CO₂ previsto en el DB-HE2 y el DB-HE4.

Para el caso de estudio, el DB-HE4 establece una contribución solar mínima anual de 60 %, ya que pertenece a la zona V, correspondiente a una radiación solar media diaria anual sobre superficie horizontal de $H \geq 5,0 \text{KWh/m}^2$.

De acuerdo al DB-HE4, dado el emplazamiento geográfico de Las Palmas de Gran Canarias a 29° 25' de latitud Norte, se estima que la orientación de los paneles solares debe ser hacia el Sur, con inclinación de 30° respecto a la horizontal,

asegurando por el procedimiento para la estimación de pérdidas por orientación e inclinación de 4,6 %, es decir, se aprovecha un 95,4 % de la energía solar, no habrá pérdidas por sombras ya que se asume que no hay obstáculos que tapen los rayos solares, lo que cumple el máximo de pérdidas permitido, de 15 %, establecido en el DB-HE4.

Para el cálculo del número y la selección del panel adecuado, se utilizó el método f-chart (Beckman *et al.* 1977), recomendado por el DB-HE4, que permite calcular la cantidad de energía térmica proveniente de la energía solar desglosando el aporte mensual. Estos cálculos se verificaron con el uso de la herramienta de simulación para la validación del cumplimiento del DB-HE4 aportada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), de España.

El panel seleccionado tiene las características mostradas en la tabla 6. Con él se asegura una contribución de energía solar mensual en los valores mostrados en la tabla 7 y una contribución promedio anual de 92,885 % de energía solar con respecto a la energía convencional, lo que cubre con holgura el 60 % establecido por el DB-HE4.

Tabla 8. Resultados finales del Calener VyP

	Edificio objeto		Edificio referencia	
	Por m ²	anual	Por m ²	anual
Consumo de energía final en KWh	23,2	1115,3	26,3	1264,7
Consumo de energía primaria en KWh	39,8	1911,5	44,1	2119,0
Emissiones de CO ₂ en Kg CO ₂	10,6	508,8	12,2	585,6

CONCLUSIONES

En el artículo se han utilizado unas categorías prácticas, extraídas de la definición de las legislaturas de los países latinoamericanos estudiados para la caracterización de la VIS con clima tropical, logrando este objetivo con satisfacción. Además, se evaluó su eficiencia energética y se comprobó que esta vivienda no se rige por ningún criterio de eficiencia, con lo cual se estudiaron los cambios adecuados para transformarla en una vivienda con una certificación energética buena, sin afectar en gran medida el diseño original.

Los criterios aplicados son aislamiento, acristalamiento y ACS con contribución solar térmica.

El aislamiento asegura la conservación de una temperatura de confort dentro de la vivienda. La sustitución de los cristales convencionales por unos con doble acristalamiento mantiene el control solar y favorece el aislamiento térmico y acústico. El aporte de energía solar térmica para suplir la demanda de ACS permite un ahorro en el uso de energía convencional durante la vida útil del sistema. Este punto es delicado de acuerdo a la realidad de costo de la energía en cada uno de los países del estudio, así como el costo de la implementación de las mejoras del sistema de ACS. Dicho tema se tiene previsto como objeto de un próximo estudio.

Existe una gran posibilidad real de reducir el consumo de energía eléctrica en el sector residencial, a través de los ajustes constructivos que disminuyen el uso de los sistemas de climatización, además del aporte del equipamiento con aparatos eficientes.

En lo arquitectónico se podrían estudiar otras alternativas que limiten la energía por el uso de

aire acondicionado, como elevar la altura de los techos, colocar ventanas a desnivel entre las aguas del techo, variar las dimensiones de las ventanas o diseñar portales ventilados, lo cual sería tarea de diseño de los especialistas.

Del análisis hecho en este trabajo se reconoce una carencia de políticas energéticas en una gran parte de América Latina, que estén orientadas a la legislación de la eficiencia energética, el ahorro energético y de las energías renovables, desde el punto de vista técnico y jurídico, con incentivos como subvenciones, asesorías, entrega de materiales, etc., para asegurar una aceptación y penetración de estas políticas en todos los sectores de la sociedad latinoamericana, de tal forma que soporten el avance de sus edificaciones hacia la eficiencia y la sostenibilidad.

REFERENCIAS

- Annunziata, E., Rizzi, F., Frey, M. (2012). European legal status of the improvement of energy efficiency in buildings. 9na. International Conference on the European Energy Market (EEM-2012).
- ANSI/ASHRAE. (s.f.). Estandart 55-2004. Thermal environmental conditions for human occupancy.
- Beckman, W. A.; Klein, S. A.; Dué, J. A. (1977) Solar heating design, by the f-chart method. Tecnology & Engineering. 1977.
- Documento básico HE, ahorro de energía. (2013). Disponible en: www.codigotecnico.org
- European Parliament. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Bruselas.
- Günther, H. (2000). Políticas de viviendas de interés social orientadas al mercado: experiencias recientes con subsidios a la

- demanda en Chile, Costa Rica y Colombia. Publicaciones de las Naciones Unidas.
- IDAE. (2009). Calener-VYP: Viviendas y edificios terciarios pequeños y medianos. Manual de usuario.
- IDAE. (s.f.). Lider Documento basico HE Lider v1.0 manual de usuario.
- LEED. (2009). For new construction and major renovations version 3.0.
- OECD/IEA. (2010). *Energy Technology Perspectives 2010 Scenarios & Strategies to 2050*. International Energy Agency
- Plataforma edificación Passivhaus PEP. (s.f.). Disponible en: www.plataforma-pep.org.
- The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings. (s.f.). Disponible en: www.gov.uk/standard-assessment-procedure
- The Secretary General's Advisory Group on Energy and Climate Change (AGECC). (2010). *Energy for a Sustainable Future*. New York.
- UNE-EN ISO 7730. (2005). Ergonomics of the thermal environment. Disponible en: www.un.org/millenniumgoals/pdf/AGECCsummaryreport.pdf
- Zhu, W. (2012). Occupancy pattern based intelligent control for improving energy efficiency in building. 8vo. IEEE International Conference on Automation Science And Engineering.

AGROPECUARIA

AGROPECUARIA

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CLOROFILA Y NITRÓGENO EN PLANTAS DE PIMENTÓN INOCULADAS CON BACTERIAS RIZOSFÉRICAS

ESTIMATION OF CHLOROPHYLL AND NITROGEN CONTENT IN PEPPER PLANTS INOCULATED WITH RHYZOSPHERIC BACTERIA

Autores:

Castro, Yulimar¹; Blanco, Erika Lorena^{1,2}¹Laboratorio de Fitobioteología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Apdo 5101. Mérida, Venezuela.²Departamento de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Apdo 5001. San Cristóbal, Venezuela

Corresponding Author: yulimarcastromolina@gmail.com

RESUMEN

En los cultivos agrícolas existe una estrecha relación entre la capacidad fotosintética y el contenido de nitrógeno foliar. El nitrógeno, constituyente básico de la clorofila y de las enzimas del ciclo del carbono, juega un papel determinante en la fotosíntesis. En la presente investigación, se estudió la relación entre el nitrógeno foliar y el contenido de clorofila total en plantas de pimentón inoculadas con consorcios de bacterias rizosféricas (ME01, YE1, Alf y Azo) y diferentes niveles de fertilización. Las plántulas de pimentón previamente inoculadas, se establecieron en umbráculo con un diseño experimental completamente aleatorizado, de trece tratamientos con cinco repeticiones cada uno. Para los tratamientos con rizobacterias, se utilizó un inóculo 1×10^8 cel.ml⁻¹ de cada consorcio más una fertilización con un producto comercial (18-18-18) a $\frac{1}{2}$, un $\frac{1}{4}$ de concentración, y los tratamientos controles con las dosis $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ y completa de fertilización, pero sin inóculo rizobacteriano. A los 180 días del desarrollo de las plantas, se seleccionaron hojas al azar en la zona intermedia del tallo, las cuales se cortaron con sacabocados para obtener 1 g de hoja. A los mismos fragmentos del tejido vegetal, les fue determinada la concentración de clorofila extractable en acetona 80 % mediante el método de Arnon; posteriormente, el contenido de nitrógeno foliar se determinó por el método Kjeldahl. Los resultados, se analizaron mediante la prueba de Duncan con el programa SPSS20. Se obtuvo similaridad ($p < 0.05$) en la cuantificación de clorofila con el consorcio ME01+ YE1 fertilizado a $\frac{1}{2}$ con respecto al control fertilizado completo; mientras que, en el contenido de nitrógeno, el mismo consorcio obtuvo un porcentaje similar al control fertilizado completo. Los resultados sugieren que estas bacterias podrían actuar como estimuladoras de la actividad fotosintética y biofertilizantes para emplearse en la producción de cultivos de interés hortícola bajo un enfoque agroecológico.

ABSTRACT

In agricultural crops there is a close relationship between the photosynthetic capacity and the foliar nitrogen content. Nitrogen, the basic constituent of chlorophyll and the enzymes of the carbon cycle, plays a decisive role in photosynthesis. In this research, the relationship between foliar nitrogen and the total chlorophyll content, a and b in pepper plants inoculated with consortia of rhizospheric bacteria (ME01, YE1, Alf and Azo) and different levels of inorganic fertilization was studied. The previously inoculated pepper seedlings were established in a shade structure with a completely randomized experimental design, of thirteen treatments with five repetitions each. For treatments with rhizobacteria, a 1×10^8 cel.ml⁻¹ inoculum was used for each consortium plus a fertilization with a commercial product (18-18-18) at $\frac{1}{2}$, a $\frac{1}{4}$ concentration, and the control treatments at doses $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ and complete fertilization but without rhizobacterial inoculum. 180 days after the development of the plants, random leaves were selected in the intermediate zone of the stem, which were cut with punch to obtain 1 g of leaf, the same fragments of the vegetal tissue were determined the concentration of extractable chlorophyll in Acetone 80% by the Arnon method, subsequently the foliar nitrogen content was determined by the Kjeldahl method. The results were analyzed by the Duncan test with the SPSS20 program. Similarity was obtained ($p < 0.05$) in the quantification of chlorophyll with the consortium ME01 + YE1 fertilized at $\frac{1}{2}$ with respect to the complete fertilized control, while in the nitrogen content the same consortium obtained a similar percentage to the complete fertilized control. The results suggest that these bacteria could act as stimulators of photosynthetic activity and bio fertilizers to be used in the production of crops of horticultural interest under an agro ecological approach.

Palabras clave: Actividad fotosintética, macronutrientes, PGPR, *Capsicum annuum* L.

Key words: Photosynthetic activity, macronutrients, PGPR, *Capsicum annuum* L.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es el elemento más abundante en los vegetales después del carbono, el hidrógeno y el oxígeno, ya que participa en los procesos de crecimiento como un componente estructural y funcional (Coyne, 2000). De igual forma es uno de los elementos más limitantes para el crecimiento de las plantas en la mayoría de los ecosistemas, en parte debido a que más del 50% del nitrógeno es utilizado en el aparato fotosintético (Aert y Chapin, 2000). Para investigar la relación fotosíntesis-nitrógeno foliar, Evans (1989) estableció que el nitrógeno implicado en la fotosíntesis se dividía en dos partes: una en forma de proteínas solubles y otra en los complejos proteína-pigmentos contenidos en los tilacoides de los cloroplastos. Esta división representa, funcionalmente, la fase oscura y luminosa de la fotosíntesis respectivamente. En los tilacoides, solamente se invierten cuatro (4) moles de nitrógeno por mol de clorofila; mientras que en el complejo pigmentos-proteínas se invirtieron cuarenta (40) moles por mol de clorofila. Debido a esto, se ha encontrado cierta correspondencia entre la clorofila y el contenido de nitrógeno foliar.

En el caso del cultivo de pimentón, la deficiencia de nitrógeno retarda el crecimiento, produciendo plantas débiles y hojas cloróticas que disminuyen los rendimientos de producción en este rubro (Montero *et al.*, 2010). Los síntomas aparecen cuando la concentración de nitrógeno en la hoja desciende a valores menores de 4% (Muñoz *et al.*, 2004). Teniendo en cuenta que la fertilización constituye una actividad fundamental para la producción agrícola, y que los fertilizantes convencionales, además de costosos, son tóxicos para la salud humana y el medio ambiente, se presenta como una opción muy interesante para la utilización de la biofertilización nitrogenada. Con el uso en suelos agrícolas de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) capaces de fijar el nitrógeno en plantas no leguminosas, se conseguirá, por una parte, disminuir los aportes nitrogenados inorgánicos; y por otra, colaborar con la obtención de metodologías no contaminantes y adecuadas desde un punto de

vista medioambiental. La fijación de nitrógeno en vida libre es la que ocurre por microorganismos que viven libremente en el suelo, sin estar asociados con ninguna planta (Ahemad y Kibret, 2013). Los géneros más conocidos son *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas* y *Clostridium*. Los rizobios de igual forma pueden producir metabolitos que desempeñan un papel importante en el crecimiento vegetal (Antoun *et al.*, 2006). Estas bacterias han sido empleadas extensivamente como biofertilizantes para mejorar la disponibilidad de nitrógeno en hortalizas como tomate (*Lycopersicum esculentum*) (Santillana *et al.*, 2005).

La técnica más ampliamente usada para la determinación cuantitativa de nitrógeno total es la de Kjeldahl (Bremmer y Mulvaney, 1982), la cual fue desarrollada en el siglo pasado y, debido al firme principio químico en el que se fundamenta, prácticamente no ha sido modificada. La determinación de clorofila en tejidos vegetales (por extracción con acetona a 80 % (Moran, 1982), es un método utilizado para estimar el estado nutricional de los cultivos en lo que se refiere al nitrógeno, hierro y magnesio principalmente (Sachdchina y Dimitrieva, 1995). La sustentabilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas en el país requiere del uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agroecosistemas, donde los biofertilizantes se presentan como componentes esenciales de los sistemas sustentables, puesto que representan una vía económicamente atractiva y de notable beneficio ecológico.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el contenido en clorofila y el nitrógeno foliar en hojas de plantas de pimentón inoculadas con rizobacterias para evaluar el estado nutricional de la planta con la inoculación de las bacterias en condiciones de umbráculo.

MÉTODO

El ensayo fue realizado en el umbráculo de la Facultad de Ciencias de la Universidad de los Andes. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, de trece (13) tratamientos con cinco (5) repeticiones cada uno.

Los tratamientos consistieron en consorcios de bacterias rizosféricas pertenecientes al cepario del Laboratorio de Fitobioteología de la Facultad de Ciencias-ULA (ME01, YE1, Alf y Azo) más una fertilización con un producto comercial (18-18-18) a $\frac{1}{2}$, y un $\frac{1}{4}$ de concentración. Los tratamientos controles fueron con dosis $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ y completa del fertilizante, pero sin los consorcios bacterianos.

Los cultivos de cepas de rizobios (ME01, YE1, y Alf) se prepararon partiendo de cultivos conservados en cápsulas de Petri con medio YM sólido modificado (manitol 2,5g/l, sacarosa 7,5g/l) (YMm) (original de Vincent, 1975) de los cuales se tomó una muestra de cada uno y se sembró por agotamiento en el mismo medio y se incubó a 28°C por tres (3) días para obtener colonias frescas aisladas, tomando en cuenta la velocidad de crecimiento de cada cepa rizobiana. La cepa de *Azospirillum* (Azo), se tomó de colonias aisladas del medio Rojo Congo (RC) (Rodríguez-Cerrato, 1984), las cuales se sembraron en medio AN líquido. Todas las cepas se incubaron a 28°C con agitación a 100 rpm por 3 días. Transcurridas las 24 a 72 horas de incubación de las rizobacterias en sus respectivos medios de cultivo, se procedió a hacer un cultivo denso de cada una de las cepas en tubos con 2ml de solución salina al 0.89%. Seguidamente, se realizó un recuento en cámara de Neubauer para obtener un título de 1×10^8 cel.ml⁻¹. A partir de esa suspensión, se tomó diferentes volúmenes y se transfirió a Erlenmeyers que contenían 15 ml de solución salina al 0.89% esterilizados previamente. Las semillas de pimentón (variedad Yelowonder), se colocaron en un vaso de precipitado con agua destilada estéril y solución de jabón azul al 1% con agitación continua durante 20 minutos para eliminar el fungicida adherido a su superficie. Luego se realizaron nueve (9) lavados con agua destilada estéril. Seguidamente, bajo condiciones asépticas, se esterilizó con hipoclorito al 1,5%, hasta cubrir totalmente las semillas, manteniendo el recipiente tapado y agitando constantemente durante 10 min. Luego, se efectuaron de 8-9

lavados con abundante agua destilada estéril, y se transfirieron a los Erlenmeyers conteniendo el inóculo de los consorcios a una concentración de 1×10^8 cel.ml⁻¹. A la fiola sin inóculo, se le agregó 100 µl de solución salina al 0,89%. Todo se llevó a una plancha de agitación orbital por 1 h. Por último, se transportaron las semillas inoculadas a la cámara de flujo laminar dejando escurrir las fiolas a través de gasa médica estéril hasta obtener un secado de las semillas a temperatura ambiente (Reyes *et al.*, 2008). Las plántulas de pimentón fueron producidas en bandejas de germinación de cincuenta (50) celdas (dos -2- semillas por cada cavidad) que contenían sustrato comercial estéril, distribuyendo siete (7) tratamientos inoculados, cada uno con diez (10) semillas y un (1) control no inoculado con treinta (30) semillas. Las bandejas, se mantuvieron en el umbráculo y se observaron diariamente registrando el número de plantas emergidas por tratamiento. Se regaron con agua destilada estéril día por medio y se fertilizaron una vez por semana con solución Hoagland a 1/8, 1/5 y $\frac{1}{4}$ de su concentración hasta el día del trasplante.

Las plántulas, se transfirieron a bolsas de tres (3) kg. que contenían suelo no estéril de la unidad de producción “Los sueños del Abuelo” ubicada en San Juan de Lagunillas, Sector Sabanota del Municipio Sucre, estado Mérida, cuyas parcelas tienen más de veinte (20) años siendo cultivadas con rubros rotatorios de solanáceas. Seguidamente, se realizó una segunda inoculación con 3ml de cada consorcio rizobiano para asegurar los tratamientos. La fertilización, se realizó cada 12 días con un fertilizante comercial soluble 18-18-18 (N-P-K) aportando 8% de NH₃ - 10% de nitrógeno nítrico; 18% de P₂O₅; 18% de K₂O, según las recomendaciones para obtener un rendimiento de 18.000 kg/ha (Jaimez *et al.*, 2010). Los riegos fueron cada 2 ó 3 días dependiendo de las condiciones ambientales del umbráculo. La unidad experimental estuvo constituida por sesenta y cinco (65) plantas en total identificadas de la siguiente manera:

Tabla 1. Identificación de los tratamientos utilizados en el umbráculo.

Tratamientos	Consorcios
1	Azo+ME01+fertilización $\frac{1}{2}$
2	Azo+YE1+fertilización $\frac{1}{2}$
3	ME01+YE1+fertilización $\frac{1}{2}$
4	ME01+Alf+fertilización $\frac{1}{2}$
5	YE1+ Alf + fertilización $\frac{1}{2}$
6	Azo+ME01+ fertilización $\frac{1}{4}$
7	Azo+YE1+fertilización $\frac{1}{4}$
8	Azo+ Alf + fertilización $\frac{1}{4}$
9	ME01+YE1+fertilización $\frac{1}{4}$
10	ME01+Alf + fertilización $\frac{1}{4}$
11	No inoculado, fertilizado a un $\frac{1}{2}$
12	No inoculado, fertilizado a un $\frac{1}{4}$
13	No inoculado fertilizado completo

Durante el desarrollo del ciclo de la planta, se evaluó la evolución de los diferentes tratamientos. Para la cuantificación de clorofila, se realizó un muestreo de hojas al azar en la parte intermedia del tallo de la planta y se utilizó el método de Arnon publicado por Bruinsma (1963), que consiste en pesar un gramo de material vegetal fresco por triplicado, el cual se homogenizó con 20 ml. de acetona concentrada. El homogeneizado, se filtró en papel filtro wathman N° 3 y el líquido y se recolectó en un matraz aforado de 50 ml protegido de la luz para evitar degradación de la clorofila. Luego se aforó con acetona a 80 % y posteriormente, se leyó su absorbancia en un espectrofotómetro a 652 nm. El material vegetal aéreo, posteriormente fue colocado en bolsas de papel y llevado a una estufa a 60 °C (Rincón *et al.*, 2002) por un tiempo de 72 horas y se determinó el peso seco.

Una vez secas y pesadas las muestras se molieron en un molino de acero inoxidable, y se les determinó el contenido de nitrógeno en el tejido foliar por el método micro-Kjeldhal. Posteriormente, se realizó un análisis mediante la prueba de Duncan con el programa SPSS20.

RESULTADOS

En la cuantificación de clorofila (Figura 1), el tratamiento ME01+YE1+fertilización $\frac{1}{2}$ registró valores iguales al tratamiento No inoculado fertilizado completo 2,51 mg.mg⁻¹ peso foliar y 2,53 mg.mg⁻¹ peso foliar respectivamente. De igual forma, mostró diferencia significativa con el control no inoculado fertilizado a un $\frac{1}{2}$ (2,31 mg.mg⁻¹ peso foliar), demostrándose los beneficios de este consorcio nativo en la capacidad fotosintética. Los tratamientos restantes, no mostraron efectos benéficos.

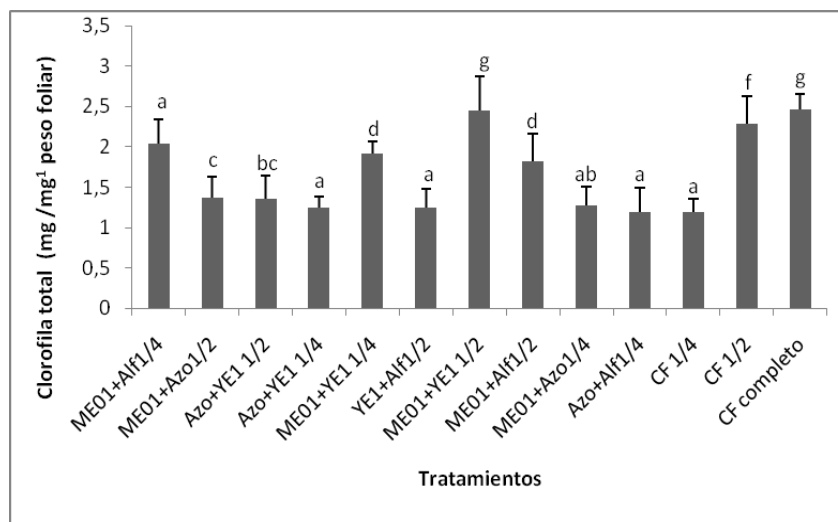


Figura 1. Determinación de clorofila en plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) Las barras de error representan la desviación estándar. Medias con letras no comunes dentro de cada variable difieren estadísticamente, según prueba de Duncan. SPSS20 $p \leq 0.05$ ($n=3$).

En la Tabla 2, se observa que la inoculación con el consorcio ME01+YE1+fertilización $\frac{1}{2}$ incrementó el porcentaje de nitrógeno foliar (4,8%), siendo mayor al control No inoculado

fertilizado $\frac{1}{2}$, (4,1%); sin embargo, no incrementó significativamente en comparación al control no inoculado fertilización completo.

Tabla 2. Efecto de la inoculación de los consorcios de rizobacterias sobre la concentración de nitrógeno en plantas de pimentón en invernadero. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. Prueba de Duncan SPSS20 para $p \leq 0.05$ ($n=3$).

Tratamientos	g N.planta ⁻¹	% N
Azo+Alf $\frac{1}{4}$	0,222±0,2 a	1,8±0,1 a
Azo+YE1 $\frac{1}{2}$	0,374±0,1 b	3,2±0,1 ab
Azo+YE1 $\frac{1}{4}$	0,369±0,1 b	3,2±0,1 a
ME01+Alf $\frac{1}{2}$	0,365±0,1 b	3,2±0,1 b
ME01+Alf $\frac{1}{4}$	0,161±0,2 a	3,2±0,1 a
ME01+Azo $\frac{1}{2}$	0,453±0,1 b	3,9±0,1 d
ME01+Azo $\frac{1}{4}$	0,421±0,1 bc	3,7±0,5 c
ME01+YE1 $\frac{1}{2}$	0,536±0,1 cde	4,8±0,1 e
ME01+YE1 $\frac{1}{4}$	0,369±0,1 b	4,2±0,1 d
YE1+Alf $\frac{1}{2}$	0,403±0,5 bc	3,6±0,5 c
Control No inoculado F $\frac{1}{4}$	0,397±0,1 b	3,8±0,5 c
Control No inoculado F $\frac{1}{2}$	0,509±0,1 de	4,1±0,1 d
Control No inoculado F completo	0,590±0,1 e	5,3±0,5 f

DISCUSIÓN

El resultado del tratamiento inoculado con el consorcio ME01+YE1+fertilización $\frac{1}{2}$ pudiera estar vinculado al efecto de las citoquininas en la planta, secretadas posiblemente en este caso por las cepas que conformaron dicha combinación; ya que estas hormonas inducen la división celular e incrementan el contenido de clorofila a través de la diferenciación de cloroplastos, las funciones de las enzimas de estos organelos, la acumulación de pigmentos y el aumento de la actividad fotosintética (Davies *et al.*, 1995). De acuerdo con lo señalado por Bécquer *et al.* (2012), la combinación de cepas de *Sinorhizobium* y *Azospirillum* indujeron el mayor contenido de clorofila en plantas de trigo. Este efecto, se debe posiblemente a que la planta, al no tener deficiencias de nutrientes, produce mayor área foliar fotosintéticamente activa, por lo que tiene mayor capacidad de captación de luz solar afectando positivamente la fotosíntesis; ya que, el N es componente estructural de la clorofila y aminoácidos utilizados en las reacciones fotosintéticas (Marschner, 1990), lo que nos indicaría que el consorcio ME01+YE estaría actuando como facilitador de la disponibilidad de nutrientes (biofertilizante).

En otros estudios, se ha reportado también que la coinoculación de rizobacterias y micorrizas incrementa los pigmentos fotosintéticos comparado con plantas no inoculadas (Carpio *et al.*, 2005).

Los resultados de coinoculación, se basan en el hecho de que la relación mutualista que se establece entre hongos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal, ocurre de tal forma que por un lado las bacterias ponen a disposición de la planta el N atmosférico fijado y los hongos incrementan la absorción de otros elementos, entre los que se encuentra el P, muy importante para garantizar una adecuada fijación del N y el crecimiento de las plantas (Rivera *et al.*, 2003).

Incrementos de N foliar atribuidos a la actividad simbiótica de hongos formadores de micorrizas demostraron que *Rhizofagus intraradices* fue

promotor de una mayor cantidad de clorofila y concentración de N foliar, comparando con plantas de maíz no inoculadas (Loredo *et al.*, 2007).

De acuerdo con la clasificación del contenido de N en el follaje del cultivo de pimentón (Jones *et al.*, 1991), los tratamientos pueden agruparse en tres grupos: a) los que registran valores mayores que 4.5%, son considerados como altos; b) valores de 3.5 a 4.49%, considerados como óptimos o suficientes; y c) valores de 3.00 a 3.49%, que son bajos. De acuerdo con lo anterior, los dos primeros grupos son representados por el 69,2% del total de los consorcios, dentro del primer grupo los tratamientos más sobresalientes fueron el tratamiento fertilizado completo con un 5,3% y el consorcio ME01+YE1 a $\frac{1}{2}$ con 4,8%, incluso superaron el rango establecido. El resultado resalta la efectividad del consorcio ME01+YE1 suplementado a $\frac{1}{2}$ permitiendo que las plantas tengan un estado nutricional adecuado para su desarrollo normal, a pesar de no haber sido estadísticamente similar al control fertilizado completo.

CONCLUSIÓN

El consorcio microbiano ME01 + YE1, se presentó como promisorio para mejorar posiblemente la actividad fotosintética y la disponibilidad de nutrientes en condiciones de déficit nutricional, con la utilización del 50% del fertilizante requerido para el desarrollo del cultivo de pimentón en condiciones de umbráculo, de acuerdo con el contenido de clorofila y N obtenidos en comparación al control fertilizado completo.

Los resultados obtenidos representan una gran alternativa para la sustitución parcial de fertilización química, sobre todo los nitrógenados, con buenos resultados para el crecimiento de las plantas de pimentón, a bajo costo y de forma amigable con el ambiente.

REFERENCIAS

- Aerts, R., Chapin, F. (2000). The mineral nutrition of wild plant revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Adv. Ecol. Res.* 30: 1-67.
- Ahemad, M. y Kibret, M. (2013). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University-Science*. En prensa.
- Antoun, H., y D. Prevost. (2006). Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. En: Z.A. Siddiqui (Ed.). *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*, Springer, Dordrecht. 1-38.
- Bécquer, C. J.; Lazarovits, G. Nielsen, Laura; Quintana, Maribel, Adesina, ModupeQuigley, Laura. (2012). Effect of inoculation with rhizospheric bacteria in two varieties of wheat. *Pastos y Forrajes*. 38(1):29-37.
- Bremner, L y C. Mulvaney. (1982). Total nitrogen. *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties 2nd edition. ASA, S.S.A. Madison, Wisconsin, USA. 595-634.
- Bruinsma, J. (1963). The quantitative analysis of chlorophyll a and b in plant extracts. *Protochem and Photobiol* 2: 241-249.
- Carpio, A. L.; Davies, F. T. and Arnold, M. A. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers: effect on growth and leachate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:131-139.
- Coyne, M. (2000). *Microbiología del Suelo: Un enfoque exploratorio*. Barcelona, España: Editorial Paraninfo. 134-141
- Davies, P. (1995). The plant hormones: their nature, occurrence and factors in plant physiology, biochemistry and molecular biology. 2a ed. Kluwer Academic Publishers, Ithaca, NY. 780-796.
- Evans, J. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78: 9-19.
- Jaimez, R. Cedeño, L. Adam, A. Bruno, A. Espinoza, W. Rodríguez V. (2010). *Pimentón en Invernadero*. Universidad de los Andes. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Primera Edición. Talleres gráficos universitarios. 11-44.
- Jones, J.B. B. Wolf y H.A. Mills. (1991). *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing. Athens, USA. GA., 205-211.
- Loredo, O. Beltrán, L. y Peña del Río, M. A. (2007). Uso de biofertilizantes para la producción de maíz forrajero en condiciones de temporal. *Campo Experimental San Luis, INIFAP. Folleto científico Núm. 2*. 60-68.
- Marschner, H. (1990). *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press. San Diego, CA.
- Montero, L. Duarte, C. Cun, R. Cabrera, J. A. y González, P. (2010). Efectividad de biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos Trop.* 31:11-14.
- Moran, R. (1982). Formulae for determination of chlorophyll pigments extracted with N,N-dimethylformamide. *Plant Physiol.* 69:1376-1381.
- Muñoz, R. (2004). Manejo del cultivo de pimiento en invernadero *Manual de producción hortícola en invernadero*. 2ª. (Ed.) Intagri. México. 257-281.
- Reyes I, Alvarez L, El Ayoubi H, Valery A. (2008). Selección y Evaluación de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento en Pimentón y Maíz. *Bioagro* 20(1): 37-48.
- Rincón, S. L. Saes, J. Balsolobre, E. y Pellicer, C. (2002). Crecimiento y absorción de nutrientes de pimiento grueso en cultivos bajo invernadero. *Invest. Agr. Prod. Protec. Veg.* 10:47-59.
- Rivera, R. Fernández, F. Fernández, K. (2003). El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. *Estudio de caso: El Caribe*. 166-174.
- Rodríguez, M y Cerrato, R. (1984). Estudio y caracterización de la relación Simbiótica de *Rhizobium phaseoli* frijol *Phaseolus vulgaris* de distintos hábitos de crecimiento. *Memorias XIII Reunión Latinoamericana sobre Rhizobium* Campinas, Sao Paulo.
- Sachdchina, T. y V.V. Dimitrieva. (1995). Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen

uptake from the soil. Plant Nutr. 18: 1427-1437.

Santillana, N., Arellano, D. (2005). Capacidad del *Rhizobium* de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Miller). Ecol. Aplic. 4: 47-51.

Vincent, J. M. (1975). Cultivo, Aislamiento y Conservación de los *Rhizobios*. Manual Práctico de Rizobiología. Primera Edición. Editorial Hemisferio Sur. S. R. L. (1):1-17.

AGROPECUARIA

EFFECTO DE CEPAS NO PATOGENICAS DE *Fusarium oxysporum* (ASCOMYCOTA: NECTRIACEAE) EN PLÁNTULAS DE TOMATE, PEPINO Y CEBOLLAEFFECT OF NON-PATHOGENIC STRAINS OF *Fusarium oxysporum* (ASCOMYCOTA: NECTRIACEAE) IN TOMATE, CUCUMBER AND ONION SEEDLINGS**Autores:****Bautista, Luis; Granados, Liliana**

Laboratorio de Control Microbiológico. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela.

Corresponding Author: lbautis@gmail.com**RESUMEN**

Se ha demostrado que la presencia de cepas no patógenicas de *Fusarium oxysporum* pueden proteger a las plantas contra las enfermedades causadas por cepas patógenicas. El objetivo de esta investigación consistió en evaluar el efecto de dos cepas no patógenicas de *F. oxysporum* inoculadas en plantas de pepino, tomate y cebolla. El trabajo, se ejecutó en el laboratorio de Control Microbiológico-UNET. Las cepas fueron aisladas de raíces de plantas sanas de tomate y papa, siendo cultivadas en medio PDA. Se realizó una prueba de patogenicidad inoculando las cepas (1×10^7 esporas. ml^{-1}) en raíces, con heridas, de 10 plantas de cada especie. Para medir el efecto sobre la germinación, se sumergieron semillas en suspensiones (1×10^7 esporas. ml^{-1}) de las cepas por 1 h. En bandejas plásticas de cultivo (de 50 celdas), con sustrato comercial esterilizado y en un arreglo completamente al azar, se evaluó el efecto de aplicaciones semanales (30 ml por celda) de las cepas (1×10^7 esporas. ml^{-1}). A los 45 días, se midió: altura de plantas, diámetro del tallo, materia seca aérea y radicular. No se encontraron daños, ni síntomas asociados con la presencia de las cepas de *Fusarium* en las plantas donde fue inoculado. Ambas cepas fueron capaces de colonizar las raíces de las plantas tratadas. No se observó efecto negativo en el proceso de germinación y se determinó un efecto positivo en la longitud de la radícula proveniente de semillas tratadas. Se presentó una tendencia a mejorar los parámetros de crecimiento de las plántulas de pepino y tomate con las aplicaciones de las 2 cepas. En general, se observó un efecto positivo sobre el desarrollo las plántulas como respuesta a la inoculación con las cepas no patógenicas de *F. oxysporum*.

ABSTRACT

It has been shown that the presence of non-pathogenic strains of *Fusarium oxysporum* can protect plants against diseases caused by pathogenic strains. The effect of two non-pathogenic strains of *F. oxysporum* inoculated in plants of cucumber, tomato and onion was evaluated in this research. The work was developed in the Microbiological Control laboratory-UNET. The strains were isolated from roots of healthy plants of tomato and potato, being cultivated in medium of PDA. A pathogenicity test was carried out inoculating the strains (1×10^7 spores. ml^{-1}) in roots, with wounds, of 10 plants of each species. To measure the effect on germination, the seeds were immersed in suspensions (1×10^7 spores. ml^{-1}) of the strains per 1 h. In plastic trays of cultivation (of 50 cells), with commercial substrate sterilized and in a completely random arrangement, the effect of weekly applications (30 ml per cells) of the strains (1×10^7 spores. ml^{-1}) was evaluated. To 45 days, height, stem diameter, shoot and root dry matters were measured. No damage or symptoms were found associated with the presence of *Fusarium* strains in the plants where it was inoculated. Both strains were able to colonize the roots of treated plants. No negative effect on the germination process was observed and a positive effect in the radicle length of treated seed was determined. A tendency to improve growth parameters of seedlings of cucumber and tomato with 2 strains applications was presented. In general, a positive effect on the seedlings development in response to inoculation with non-pathogenic strains of *F. oxysporum* was observed.

Palabras clave: *Fusarium oxysporum*, avirulento, inoculación, suspensiones.**Key words:** *Fusarium oxysporum*, avirulent, inoculation, suspensions.

INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Fusarium* tienen distribución mundial y gran importancia desde el punto de vista agrícola y económico. Su ocurrencia es cosmopolita, siendo comunes en el suelo, aire y agua. Muchas especies tienen capacidad de causar enfermedades en plantas cultivadas, algunas pueden causar infecciones oportunistas en el hombre y en animales, y algunas pocas producen toxinas que pueden afectar la salud del hombre y los animales.

Fusarium oxysporum Schlecht es una especie que se presenta principalmente como saprófita o también como patógeno especializado denominado *formae speciales* (forma especial: f. sp.), según la planta hospedante u hospedantes relacionados que afecte (Garcés *et al.*, 2001). Por ejemplo, la forma especial *lycopersici* de *F. oxysporum* causa la marchitez vascular o fusariosis del tomate.

Las cepas de *F. oxysporum* pueden dividirse de acuerdo con su forma de interactuar con la planta o plantas huésped en cepas no patógenas y patógenas (Arbeláez, 2000; Da Silva y Bettiol, 2005). Las cepas que provienen de plantas aparentemente sanas son llamadas no patógenas y se conoce que pueden proteger a las plantas contra cepas patógenas (Olivain *et al.*, 2006). Según Gordon y Martyn (1997), la interacción entre las cepas de *Fusarium* patógenas y no patógenas puede dar lugar al control de la enfermedad. Las cepas no patógenas son conocidas por proteger a las plantas a través de su capacidad para colonizar la raíces y por competir con las patógenas por nutrientes tales como hierro y carbono orgánico (Alavoubette y Olivain, 2002; Kaur *et al.*, 2010). Estas cepas no patógenas son catalogadas en la categoría ecológica como mutualistas endofíticas.

Los dos mecanismos de acción asociados con cepas no patógenas de *Fusarium* son la competencia y la resistencia sistémica inducida (Alavoubette y Olivain, 2002; Kaur *et al.*, 2010). La competencia puede entenderse como la capacidad que tiene un microorganismo para

desplazar a otro en la búsqueda de nutrientes a nivel de la rizósfera o por sitios de infección en las raíces. Mientras que la resistencia sistémica inducida en un mecanismo que desencadena una serie de repuesta defensivas, a nivel de toda la planta, está dirigida a detener el avance de una enfermedad.

Diversos trabajos reportan el potencial de controlar cepas patógenas de *F. oxysporum* con el uso de cepas no patógenas, en cultivos como; pepino (Mandeel y Baker, 1991), clavel (Rodríguez *et al.*, 1992), melón (Larkin *et al.*, 1996), tomate (Da Silva y Bettiol, 2005; Olivain *et al.*, 2006), y bananos (Waweru *et al.*, 2014). Igualmente, otras especies de *Fusarium* han sido reconocidas como no patógenas coexistiendo endófitamente dentro de los tejidos de las plantas sin causar enfermedades, tal es el caso de *F. decemcellulare* en cacao (Sosa *et al.*, 2016) y *F. equiseti* en espinaca (Horinouchi *et al.*, 2010).

También, las cepas no patógenas de *F. oxysporum* han sido señaladas con potencial para reducir los daños causados por nematodos fitoparásitos. Por ejemplo, Dababat y Sikora (2007) demostraron que una cepa de *F. oxysporum*, no patógena, conocida como FO162, redujo el daño causado por el nematodo agallador *Meloidogyne incognita*. Señalan que el hongo inhibió la penetración y el desarrollo de las formas juveniles cuando se encontraba presente en las raíces de plantas de tomate. Igualmente, demostraron que la cepa, inoculada al momento de la siembra, causó una reducción significativa en la cantidad de agallas y de masas de huevos del nematodo. Igualmente, Pocasangre *et al.* (2006) reportaron que raíces de plantas de banano bioprotegidas con cepas no patógenas presentaron una menor población del nematodo *Radopholus similis*.

Además de proteger a las plantas de cepas patógenas, las cepas de *F. oxysporum* no patógenas son reportadas como agentes promotores del crecimiento de las plantas e inductores o activadores de los mecanismos de resistencia sistémica contra fitopatógenos. Al respecto, Pocasangre *et al.* (2006) encontraron que cepas no patógenas de *F. oxysporum*

promovieron un mayor desarrollo del tallo y un mayor número de hojas de banano. También, Thongkamngam y Jaenaksorn (2017) encontraron que una cepa no patogénica de *F. oxysporum* incrementó el peso fresco de tres (3) variedades de lechuga. En relación a inducción de resistencia, Fuchs *et al.* (1997) demostraron que cepas no patogénicas de *F. oxysporum* indujeron resistencia contra la marchitez vascular del tomate, al incrementar la actividad de enzimas como quitinasas, β -1,3 glucanasas y β -1,4 glucosidasas.

Refiriéndose al desarrollo de programa de control con estos agentes, Kaur *et al.* (2010) sugieren que antes de planear el uso a gran escala de las cepas no patógenas de *F. oxysporum*, como agentes de control biológico, es necesario evaluar su comportamiento y el impacto potencial sobre los ecosistemas del suelo. En consideración del frecuente aislamiento de cepas nativas de *F. oxysporum*, a partir de raíces de plantas sanas de tomate, papa y pimentón, provenientes de diferentes localidades del estado Táchira, se procedió a evaluar el efecto de dos cepas no patogénicas de este hongo en el desarrollo de plántulas de tomate, pepino y cebolla, en condiciones de casa de cultivo.

MÉTODO

Los bioensayos, se realizaron en la casa de cultivo del laboratorio de Control Microbiológico-UNET, ubicado en el sector paramillo, San Cristóbal, Estado Táchira. Se utilizaron semillas de cebolla (*Allium cepa* L.) certificadas, híbrido Alteza (ciclo corto), semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) King seeds y semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Fercon. Se emplearon dos cepas de *Fusarium oxysporum* no patogénico; una, codificada como C1, fue colectada en plantas sanas de papa, en El Cobre, municipio José María Vargas. La segunda denominada C2 se colectó de plantas sanas de tomate, en la Unidad Académica La Tuquerena, ubicada en Rubio, municipio Junín. Ambas cepas fueron previamente aisladas en medio papa dextrosa agar (PDA) e identificadas como *F. oxysporum*,

siendo mantenidas congeladas en glicerol al 10%.

Masificación de cepas: De colonias reactivadas en PDA, se realizó masificación de las cepas en medio líquido constituido por extracto de papa (50 g/l) y dextrosa (20 g/l). Los ingredientes fueron mezclados y esterilizados por 30 min, por vapor a presión, en recipientes de 250 ml de capacidad. Luego, al medio frío, se le inocularon 5 discos (0,5 cm de diámetro) de micelio en medio PDA, se agitaron y se incubaron a condiciones de laboratorio por 15 d. Las cepas masificadas fueron mantenidas en refrigeración (4°C) hasta su uso.

Preparación de suspensiones: a partir de las cepas, de 15 d, crecidas en caldo de papa dextrosa, se prepararon suspensiones de esporas de cada cepa. Para ello, se tomaron 20 ml del medio que se vertieron en 50 ml de agua destilada estéril (ADE). La solución resultante, se agitó obteniéndose suspensiones que fueron ajustadas, en cámara de Neubauer, a una concentración de 1×10^7 esp./ml. Estas suspensiones fueron previamente preparadas a la realización de cada bioensayo.

Prueba de patogenicidad: bandejas plásticas de cincuenta (50) celdas, limpias y asépticas, se llenaron con sustrato comercial (Sunshine) previamente esterilizado por 40 min en vapor a presión. Se utilizó un bandeja por especie de planta, realizando el soterró de veinticinco (25) semillas por cultivo. Las plantas, se mantuvieron en casa de cultivo con techo plástico, realizándose riegos periódicos y dos (2) aplicaciones de fertilizante foliar (fórmula completa), aplicado por aspersión manual.

Para la inoculación, plántulas de 25 d fueron extraídas de las bandejas y se les practicaron heridas realizando cortes apicales de las raíces e inmersión por 2 min en las suspensiones de esporas. Seguidamente, las plántulas fueron nuevamente depositadas en bandejas limpias. En una arreglo completamente al azar, por cada cultivo y cepa se inocularon 8 plántulas. Como testigo 8 plantas por cultivo, con cortes de raíz, fueron inmergidas en agua destilada estéril.

Todas las plántulas tratadas fueron mantenidas en casa de cultivo por 20 d. Durante este tiempo se realizaron observaciones periódicas para diagnosticar la aparición de síntomas característicos asociados con la enfermedad causada por *F. oxysporum*.

Para detectar la presencia de *Fusarium* en las raíces de las plantas tratadas, se tomaron muestras de raíces de cinco (5) plantas por cultivo y cepa, que fueron lavadas con abundante agua para retirar los restos de sustrato. Posteriormente, se secaron con toallín estéril y fueron sometidas a esterilización superficial, pasando segmentos de raíz, de 1 cm de longitud, en alcohol, hipoclorito de sodio (0,5%) y lavado con ADE. Luego, quince (15) segmentos de raíz, esterilizados y secos, fueron depositados sobre la superficie de medio PDA vertido en placas de Petri. Las placas se incubaron, por 8 d, a condiciones de laboratorio ($25\pm 2^\circ\text{C}$), cuantificándose el número de segmentos de raíz con presencia de colonias de *F. oxysporum* (Bao *et al.*, 2002). Con estos datos se determinó el porcentaje de raíces colonizadas por las cepas del hongo.

Efecto sobre la germinación: semillas de cada especie, lavadas por tres (3) veces, con abundante agua fueron sumergidas por 1 h en suspensiones (1×10^7 esp./ml) de las cepas. En los testigos, las semillas fueron sumergidas en ADE. Las semillas tratadas fueron depositadas en bandejas de aluminio con papel toallín humedecido (15 ml de ADE) e introducidas en bolsas plásticas transparentes. Los montajes, se incubaron a $25\pm 2^\circ\text{C}$, revisándose cada 24 h por 8 d. Se utilizaron veinte (20) semillas por repetición, con tres (3) repeticiones por cultivo y cepa, en un diseño completamente al azar.

Efecto sobre el crecimiento de las plántulas: bandejas plásticas limpias de cincuenta (50) celdas, se llenaron con sustrato comercial esterilizado por 40 min en vapor a presión. Seguidamente, se soterraron las semillas que fueron tratadas con 30 ml/celda de una suspensión de 1×10^7 esp./ml. En los testigos, se aplicaron 30 ml de ADE. En arreglos completamente al azar, por cada cultivo, se

prepararon tratamientos constituidos por las dos (2) cepas más un testigo. Se prepararon (3) tres repeticiones por tratamiento y cada repetición estuvo conformada por cinco (5) plantas. El mantenimiento del bioensayo, se realizó en casa de cultivo aplicándose riego manual y dos (2) fertilizaciones foliares (fórmula completa) por aspersión manual.

A los cuarenta y cinco (45) días después de la siembra, se realizó la medición de: Altura de plántula, desde el cuello de la plántula hasta el meristemo apical (cm/plántula); diámetro del tallo, a 4 cm del cuello de las plántulas (mm/plántula), longitud de la raíz principal, número de hojas y materia seca aérea y radical. La materia seca se determinó extrayendo la planta completa para luego dividir la parte aérea y la parte radical. Cada parte fue colocada en bolsas de papel y llevadas a la estufa a 70°C por 72 h. Posteriormente, fueron pesadas en una balanza analítica. A los datos de cada bioensayo, se les realizó análisis de la varianza, previa comprobación de los supuestos del análisis de la varianza y comparación de medias por la prueba de Tukey ($P<0,05$). Los análisis, se realizaron con el programa InfoStat versión libre (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Prueba de patogenicidad: Las plántulas inoculadas con las cepas se mantuvieron completamente sanas durante todo ensayo. No se evidenciaron síntomas morfológicos, ni histológicos, a nivel externo o interno, asociados a las cepas inoculadas. Las plántulas inoculadas con las dos (2) cepas de *F. oxysporum* plántulas inoculadas con ADE presentaron un y comportamiento similar en cuanto a crecimiento y sanidad. En relación con la colonización de raíces, las 2 cepas de *Fusarium*, no patógenas, fueron capaces de colonizar las raíces de las tres (3) especies de plantas, encontrándose que la cepa C1 tuvo un porcentaje de colonización de 50; 70 y 66,7% en pepino, tomate y cebolla, respectivamente. Mientras que en la cepa C2, el porcentaje fue de 56,7; 30 y 63,3% en pepino, tomate y cebolla, respectivamente.

Efecto sobre la germinación: se presentó el proceso normal de germinación en las semillas de las tres (3) especies vegetales, que fueron tratadas con suspensiones de las dos (2) cepas de *Fusarium*. No se observó ningún efecto negativo sobre la germinación. Tampoco se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el porcentaje de germinación por efecto de las cepas en las semillas de las tres (3) especies vegetales. El porcentaje de germinación fue de 100% en las semillas de pepino, tomate y cebolla tratadas con las cepas C1 y C2. En el testigo, el porcentaje de germinación fue de 100% en pepino y cebolla, y de 90% en tomate.

En las tres (3) especies tratadas, la longitud de la raíz fue superior en las semillas tratadas en

comparación con el testigo. A los 5 d, se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en la longitud de la raíz del tomate y la cebolla. Contrariamente, en pepino no se presentaron diferencias destacables (Tabla 1). En tomate, las dos (2) cepas indujeron una mayor longitud de la raíz siendo diferentes a la longitud de la raíz de las plantas testigo. La cepa C2 indujo un 35,5% de incremento en la longitud de la raíz respecto al testigo. En cebolla, la cepa C1 promovió la mayor longitud de raíz, induciendo un 53,8 % de incremento en comparación al testigo. En pepino, hubo un comportamiento similar entre las cepas y el testigo. Sin embargo, las cepas mostraron tendencia incrementar la longitud de la raíz.

Tabla 1. Longitud promedio de la raíz de pepino, tomate y cebolla (5 días), tratadas con dos cepas de *F. oxysporum* no patógeno.

Cepas	Longitud del raíz (cm)		
	Pepino	Tomate	Cebolla
C1	11,9 ^a	6,4 ^b	2,6 ^a
C2	11,9 ^a	7,6 ^a	1,7 ^{ab}
Testigo	10,7 ^a	4,9 ^c	1,2 ^b
C.V.	13,2	12,4	25,8

Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P < 0,05$). Prueba de Tukey.

Efecto sobre el crecimiento: en la tabla 2, se muestran los resultados del efecto de las aplicación de las dos (2) cepas de *F. oxysporum* sobre las variables biométricas de crecimiento vegetativo de las plántulas de pepino, tomate y cebolla. A los 40 d, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) en la altura del pepino, resultando el testigo con el de mayor promedio. En tomate, se encontraron diferencias significativas, destacando la aplicación de la cepa C1 con el mayor promedio de altura, mientras que la cepa C2 y el testigo fueron estadísticamente similares. En cebolla, se encontraron diferencias significativas y las dos (2) cepas promovieron mayor altura que el testigo. Tanto en tomate, como en cebolla; la aplicación de las cepas indujo una mayor altura de las plántulas cuando se compara con el testigo.

En el contenido de materia seca de la parte aérea, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) para pepino y tomate, y no hubo diferencias en cebolla. En pepino, el mayor promedio de biomasa seca aérea, se presentó con la aplicación de la cepa C2, siendo superior a la cepa C1 y al testigo. En tomate, en la biomasa aérea de las plántulas del testigo se evidenció un mayor contenido de materia seca que el obtenido con la aplicación de las cepas. En cebolla, no se demostró diferencia en el contenido de materia seca de la parte aérea, entre las cepas y el testigo.

En la materia seca total, se presentaron diferencias significativas en pepino y tomate; mientras que en cebolla, no hubo diferencias. En pepino, se destacó la cepa C2, siendo diferente y superior al testigo. Las plantas tratadas con la cepa C2 acumularon un 29,2% más de materia seca en comparación al testigo. En tomate, las plantas testigo acumularon mayor materia seca que las plantas donde se aplicaron las cepas.

Tabla 2. Valores promedios de las variables de crecimiento vegetativo medidas en plántulas de pepino, tomate y cebolla después de 35 días del tratamiento con dos cepas de *F. oxysporum* no patogénico.

Variable medida	Cultivo	Cepas		Testigo	Coeficiente de variación (%)
		C1	C2		
Altura (cm)	Pepino	41,3 ^a	43,6 ^a	43,8 ^a	14,1
	Tomate	43,4 ^a	29,2 ^b	27,1 ^b	14,4
	Cebolla	18,9 ^a	21,0 ^a	14,8 ^b	19,1
Diámetro de tallo (mm)	Pepino	0,7 ^a	0,7 ^a	0,5 ^b	18,8
	Tomate	0,6 ^a	0,5 ^a	0,6 ^a	23,1
	Cebolla	0,17 ^a	0,17 ^a	0,14 ^a	214
Longitud de raíz (cm)	Pepino	14,8 ^a	15,0 ^a	14,6 ^a	15,9
	Tomate	16,3 ^a	13,6 ^b	13,5 ^b	15,9
	Cebolla	2,4 ^a	2,6 ^a	1,5 ^b	18,9
Número de hojas	Pepino	10,6 ^{ab}	11,9 ^a	9,1 ^b	24,5
	Tomate	7,0 ^b	8,8 ^a	7,5 ^b	17,5
	Cebolla	2,9 ^a	3,3 ^a	2,1 ^b	25,8
Peso seco raíz (g)	Pepino	0,34 ^b	0,49 ^a	0,52 ^a	18,5
	Tomate	0,37 ^c	0,55 ^b	0,79 ^a	22,6
	Cebolla	0,0033 ^b	0,01 ^a	0,0029 ^b	18,9
Pesos seco aéreo (g)	Pepino	1,43 ^b	2,12 ^a	1,50 ^b	15,3
	Tomate	0,81 ^c	1,23 ^b	1,73 ^a	20,6
	Cebolla	0,02 ^a	0,02 ^a	0,02 ^a	21,5
Peso seco total (g)	Pepino	1,77 ^b	2,61 ^a	2,02 ^b	17,2
	Tomate	1,18 ^c	1,78 ^b	2,52 ^a	16,1
	Cebolla	0,03 ^a	0,03 ^a	0,02 ^a	18,9

Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P < 0,05$). Prueba de Tukey.

En el diámetro del tallo, se encontraron diferencias significativas para el pepino y el tomate. En pepino, las cepas indujeron un mayor diámetro que el testigo. En tomate, la cepa C1 presentó el mayor diámetro mientras que el diámetro en las plantas testigo fue estadísticamente similar a C2. En cebolla, no se encontraron diferencias significativas, aunque los promedios de las cepas fueron superiores al testigo.

Respecto a la longitud de las raíces, en tomate, se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$). La cepa C1 indujo el mayor promedio, mientras que C2 tuvo un comportamiento similar al testigo. En pepino y cebolla, no se encontraron diferencias significativas respecto a la longitud radicular.

Para el número de hojas, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) en pepino y tomate. En pepino, las dos

(2) cepas de *Fusarium* indujeron un mayor promedio de hojas por planta con respecto al testigo. En tomate, la cepa C2 promedió mayor número de hojas que la cepa C1 y el testigo. En cebolla, no se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el número de hojas por planta.

En la materia seca de la raíz, se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en pepino, tomate y cebolla. En pepino, el testigo indujo mayor contenido de materia seca aunque estadísticamente no difirió de la cepa C2. La cepa C1 tuvo menor contenido de materia seca. En tomate, la materia seca fue superior en el testigo, comparado con las 2 cepas. En cebolla, la cepa C2 promedió un mayor contenido de materia seca radical.

DISCUSIÓN

Prueba de patogenicidad: Los resultados indican que ninguna de las dos (2) cepas ocasionó enfermedad en las plantas tratadas; por lo que, se consideran como cepas no patogénicas. Después de 20 d de la inoculación, las raíces tratadas se observaron sanas, sin lesiones, ni daños necróticos. Al respecto, Bao *et al.* (2002) indican que las cepas que no inducen síntomas de marchitez o pudrición del cuello de las plántulas son consideradas no patogénicas. Además, Fourie *et al.* (2011) señalan que las cepas patogénicas y no patogénicas de *F. oxysporum* pueden ser distinguidas entre sí con pruebas de patogenicidad; pero, no con análisis morfológico o estudios de compatibilidad sexual.

El hongo fue reaislado en medio de cultivo a partir de las raíces, de las tres (3) especies, inoculadas con cada cepa. Esto ratifica que el hongo penetró y colonizó las raíces tratadas sin causarle ningún daño. Al igual que en esta investigación, otros trabajos confirman la alta capacidad de colonización de raíces de plantas por diferentes cepas de *F. oxysporum* no patogénicos (Patil *et al.*, 2011).

Las cepas inoculadas fueron originalmente aisladas de papa (C1) y tomate (C2) y resultaron no patogénicas a plántulas de pepino, tomate y cebolla. Otros trabajos reportan que aislados de *Fusarium* no patogénicos, obtenidos de una especie determinada, se comportaron como no patogénicos a diferentes especies (Patil *et al.*, 2011). Al respecto, Da silva y Bettiol (2005) señalan que esto es importante ya que un aislado no patogénico pudiera ser utilizado para diferentes hospedantes.

Efecto sobre la germinación: Los resultados mostraron que las cepas no patógenas, aplicadas a las semillas, provocaron una mayor longitud de la radícula, en las 3 especies, cuando se compararon con el testigo. Se destaca que la cepa aislada de tomate (C2) tendió a inducir la mayor respuesta. Son escasos los reportes bibliográficos sobre el efecto de cepas de *F. oxysporum* no patogénicas en la germinación de

semillas y en la longitud de la radícula; sin embargo, Validov *et al.* (2011) encontraron resultados diferentes. Al respecto, señalan que cepas no patógenas de *F. oxysporum* no aportaron ningún efecto en el grado de germinación de semillas de tomate.

Efecto sobre el crecimiento: En la mayoría de las variables medidas, las dos (2) cepas de *F. oxysporum* no patogénicas indujeron un comportamiento estadísticamente similar o superior al testigo. Aunque los resultados no muestran una clara evidencia del efecto de las cepas C1 y C2 de *F. oxysporum* sobre las variables biométricas de crecimiento, se pudiera destacar que con la inoculación de las cepas hubo una tendencia a mejorar el desarrollo de las plantas de tomate, cebolla y pepino. Por otro lado, la acción positiva ejercida por las cepas del hongo, se manifestó en una mejor apariencia de las plantas tratadas en comparación con el testigo. Se desarrollaron plántulas sanas con un follaje verde intenso, siendo más vigorosas y fuertes. Esto pudiera señalarse como indicativo favorable de la acción del hongo como promotor del crecimiento.

Aunque en la literatura existe poca información sobre el efecto de las cepas de *F. oxysporum* no patogénico sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas, Patil *et al.* (2011) encontraron que el tratamiento con cepas no patogénicas de *F. oxysporum* mejoraron la longitud y el peso de raíces de plántulas de tomate. Además, señalan que estas cepas tuvieron un alto poder de colonización de raíces. También, Thongkamngam y Jaenaksorn (2017) encontraron que una cepa no patogénica de *F. oxysporum* incrementó el peso fresco de tres (3) variedades de lechuga. En otras especies vegetales como *Musa* sp. Pocasangre *et al.* (2006) reportan que cepas no patogénicas de *F. oxysporum* promovieron un mayor desarrollo de tallos y número de hojas.

Al comparar entre las cepas evaluadas, la cepa C2 (aislada de raíces de tomate) presentó mejor comportamiento respecto a la cepa C1 (aislada de papa), siendo específicamente mejor su desempeño en aumentar el peso seco de raíz y

aéreo, en pepino y tomate. Autores como Da Silva y Bettiol (2005) y Patil *et al.* (2011) señalan que cepas aisladas de una especie pueden promover el desarrollo de otras especies vegetales. Además, Kaur *et al.* (2010) mencionan efectos diferenciales entre cepas de *F. oxysporum* no patogénicas.

Aunque esta constituye una fase inicial de la investigación, los resultados sugieren que estas cepas podrían ser aplicadas en la fase de semillero, previo a la siembra; de manera que el hongo, se establezca en las raíces, con lo cual se promoverían plántulas sanas de mejor porte y desarrollo. Además, estarían protegidas contra cepas patógenas del mismo hongo cuando sean llevadas al sitio definitivo, al momento del trasplante. En relación a ello, las cepas no patogénicas de *F. oxysporum* han sido ampliamente documentadas con capacidad para reducir la incidencia de la marchitez vascular del tomate causada por cepas patogénicas (Da Silva y Bettiol, 2005; Forsyth *et al.*, 2006; Patil *et al.*, 2011; Nawar, 2015). Así mismo, estas cepas podrían proteger contra daños por otros patógenos radiculares como el nematodo agallador (*M. incognita*) (Dababat y Sikora, 2007).

En nuestras condiciones, la aplicación de cepas no patogénicas en plantas como tomate y pepino podrían contribuir a disminuir los efectos dañinos de otros fitopatógenos, ya que aunque no fue investigado en este trabajo, otros reportes de investigaciones señalan que las cepas no patogénicas de *F. oxysporum* son capaces de activar o inducir la expresión de mecanismos de resistencia sistémica (Alavoubette y Olivain, 2002; Kaur *et al.*, 2010) contra un amplio espectro de patógenos.

CONCLUSIONES

1. Las plántulas de tomate, pepino y cebolla, cuyo sistema radical fue inmerso en suspensiones de *F. oxysporum* no patogénico, no mostraron síntomas de enfermedad vascular y se desarrollaron normalmente, corroborándose la no patogenicidad de las cepas evaluadas.

2. Las cepas no patogénicas de *F. oxysporum*, no afectaron el proceso de germinación de las semillas y mostraron un efecto positivo sobre la longitud de la radícula del tomate y la cebolla.

3. No se observó ningún efecto negativo sobre las plántulas como respuesta a la inoculación con las cepas no patogénicas de *F. oxysporum*; por el contrario, ambas cepas mostraron una tendencia a mejorar los parámetros de crecimiento de las especies evaluadas.

REFERENCIAS

- Alavoubette, C., Olivain, C. (2002). Modes of action of non-pathogenic strains of *Fusarium oxysporum* in controlling *Fusarium* wilts. Plant Protect. Sci. 38 (Special Issue 1):195-199.
- Arbeláez, G. (2000). Algunos aspectos del género *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*. Rev. Agr. Colomb. 17:11-22.
- Bao, J., Fravel, D., O'Neill, N., Lazarovits, G., Berkum, P. (2002). Genetic analysis of pathogenic and nonpathogenic *Fusarium oxysporum* from tomato plants. Can. J. Bot. 80:271-279.
- Da Silva, J., Bettiol, W. (2005). Potential of non-pathogenic *Fusarium oxysporum* isolates for control of *Fusarium* wilt of tomato. Fitopatol. Bras. 30(4): 409-412.
- Dababat, A.Y., Sikora, R. (2007). Importance of application time and inoculum density of *Fusarium oxysporum* 162 for biological control of *Meloidogyne incognita* of tomato. Nematropica 37(2):267-275.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Forsyth, L., Smith, L., Aitken, E. (2006). Identification and characterization of non-pathogenic *Fusarium oxysporum* capable of increasing and decreasing *Fusarium* wilt severity. Mycol. Research 110:929-935.
- Fourie, G., Steenkamp, E.T., Ploetz, R., Gordon, T., Viljoen, A. (2011). Current status of the taxonomic position of *Fusarium oxysporum* formae specialis *cubense* within the *Fusarium*

- oxysporum* complex. Infect. Genet. Evol. 11:533-542.
- Fuchs, J.G., Moënné-Loccoz, Y., Défago, G. (1997). Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* strain Fo47 induces resistance to *Fusarium* wilt in tomato. Plant Dis. 81:492-496.
- Garcés, E., Orozco, M., Bautista, G., Valencia, H. (2001). *Fusarium oxysporum* el hongo que nos falta conocer. Act. Biol. Colomb. 6(1):7-25.
- Gordon, T., Martyn, R. (1997). The Evolutionary Biology of *Fusarium oxysporum*. Ann. Rev. Phytopathol. 35(1):111-28.
- Horinouchi, H., Muslim, A., Hyakumachi, M. (2010). Biocontrol of *Fusarium* wilt of spinach by the plant growth promoting fungus *Fusarium equiseti* gf183. J. Plant Pathol. 92(1):249-254.
- Kaur, R., Kaur, J., Singh, R. (2010). Nonpathogenic *Fusarium* as a biological control agent. Plant Pathol. J. 9(3):79-91.
- Larkin, R.P., Hopking, D.L., Martin, F.N. (1996). Suppression of *Fusarium* wilt of watermelon by nonpathogenic *Fusarium oxysporum* and other microorganisms recovered from a disease-suppressive soil. Phytopathology 86:812-819.
- Mandeel, Q. (1991). Mechanisms involved in biological control of *Fusarium* wilt of cucumber with strains of nonpathogenic *Fusarium oxysporum*. Phytopathology 81:462-469.
- Nawar, L. (2015). Studies on the efficacy of non-pathogenic *Fusarium oxysporum* isolate to control *Fusarium* wilt of tomato plants in Saudi Arabia. Inter. J. Sci. Res. 4(1):1949-1954.
- Olivain, C., Humbert, C., Nahalkova, J., Fatehi, J., Haridon, F., Alabouvette, C. (2006). Colonization of tomato root by pathogenic and nonpathogenic *Fusarium oxysporum* strains inoculated together and separately into the soil. Appl. Environ. Microbiol. 72 (2):1523-1531.
- Patil, S., Sriram, S., Savitha, M.J. (2011). Evaluation of non-pathogenic *Fusarium* for antagonistic activity against *Fusarium* wilt of tomato. J. Biol. Cont. 25(2):118-123.
- Pocasangre, L., Menjivar, R., Zum, A., Riveros, A., Rosales, F., Sikora, R. (2006). Hongos endofíticos como agentes biológicos de control de Fitonematodos en banano. En: XVII Simposio y Congreso ACORBAT 2006: Reunião Internacional da Associação para a Cooperação nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical. 254). Santa Catarina, Brasil. P. 249-2454. Disponible en: www.musalit.org/viewPdf.php?file=IN060654_spa.pdf&id=10473
- Rodríguez, J., Rodríguez, P., Rojas, J., Sánchez, J., Arveláez, G. (1992). Control biológico del marchitamiento vascular del clavel miniatura ocasionado por *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* con aislamientos no patógenos de *Fusarium oxysporum*. Rev. Agr. Colomb. 9 (1):19-29.
- Sosa, D., Parra, D., Noceda, C., Pérez-Martínez, S. (2016). Co-occurrence of pathogenic and non-pathogenic *Fusarium decemcellulare* and *Lasiodiplodia theobromae* isolates in cushion galls disease of cacao (*Theobroma cacao* L.) J. Plant Prot. Res. 56(2):129-138.
- Thongkamngam, T., Jaenaksorn, T. (2017). *Fusarium oxysporum* (F221-B) as biocontrol agent against plant pathogenic fungi *in vitro* and in hydroponics. Plant Prot. Sci. 53(2):85-95.
- Validov, S., Kamilova, F., Lugtenberg, B. (2011). Monitoring of pathogenic and non-pathogenic *Fusarium oxysporum* strains during tomato plant infection. Microb. Biotechnol. 4(1):82-88.
- Waweru, L., Turoopa, L., Kahangia, E., Coyneb, D., Dubois T. (2014). Non-pathogenic *Fusarium oxysporum* endophytes provide field control of nematodes, improving yield of banana (*Musa* sp.). Biol. Cont. 74:82-88.

AGROPECUARIA

INCIDENCIA DE LA INOCULACIÓN CON MICROORGANISMOS RIZOSFÉRICOS BENÉFICOS Y ROCA FOSFÓRICA SOBRE EL CRECIMIENTO DEL PIMENTÓN (*Capsicum annuum* L.)

INOCULATION WITH BENEFICIAL RIZOSPHERIC MICROORGANISMS AND PHOSPHORIC ROCK ON THE PEPPER GROWTH (*Capsicum annuum* L.)

Autores:

Sánchez, Luberto_Argenis¹; Reyes, Isbelia¹

¹ Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental. Decanato de Investigación. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

Corresponding Author: lasanchez@unet.edu.ve

RESUMEN

Algunos microorganismos benéficos, con características útiles para el crecimiento vegetal y asociados a la rizósfera de las plantas, han sido aislados y masificados para su uso como inoculantes o biofertilizantes, y se han convertido en una herramienta biotecnológica de importancia para la agricultura sostenible. En este sentido, se planteó evaluar en condiciones de umbráculo la respuesta del pimentón a la aplicación de inoculantes previamente aislados y distintas fuentes de fósforo (P). La investigación se realizó en macetas con suelo proveniente de la Unidad Académica La Tuquerena (Rubio, estado Táchira, Venezuela), con bajo contenido de P y pH fuertemente ácido. Se realizaron 2 experimentos en diseño completamente al azar, uno con fuente de P soluble y otro de baja solubilidad (roca fosfórica). Los tratamientos biológicos fueron con los microorganismos benéficos *Penicillium rugulosum* (cepa IR), *Trichoderma* sp. (cepa VP), *Enterobacter* sp. (cepa 17), *Microbacterium* sp. (cepa 45) y los consorcios microbianos: IR17, VP17, IR45, VP45. Todos los tratamientos se evaluaron por triplicado. En la octava semana luego del trasplante se determinaron: número de hojas, altura de la planta y número de botones florales. En el análisis de medias se encontraron resultados con valores significativamente superiores ($P < 0,05$) cuando se aplicó el fósforo soluble en los tratamientos IR y VP17 y cuando se aplicó roca fosfórica en los tratamientos 45, IR17 y VP17, con respecto al testigo no inoculado. Estos resultados muestran que la fuente de P determinó en la mayoría de los casos la expresión del tratamiento biológico, y se observa que para las dos fuentes de fósforo utilizadas el consorcio microbiano VP17 mantuvo su sinergismo benéfico con las plantas de pimentón.

ABSTRACT

Some beneficial microorganisms associated with the rhizosphere of plants, and with useful characteristics for plant growth promotion have been isolated and massified for inoculation as biofertilizers. These have been found to be an important biotechnological tool for the development of sustainable agriculture. In this sense, this research aimed to evaluate under greenhouse conditions the response of the pepper to the application of previous isolated inoculants and different phosphorus (P) sources. The investigation was carried out in pots with soil from La Tuquerena, Academic Unit (Rubio, Táchira State), presenting a low P content and a strong acidic pH level. Two experiments were carried out in a completely randomized design, one with a soluble P source and another with a low solubility (phosphate rock). The biological treatments were with the beneficial microorganisms: *Penicillium rugulosum* (IR strain), *Trichoderma* sp. (strain VP), *Enterobacter* sp. (strain 17), *Microbacterium* sp. (strain 45), and the microbial consortia IR17, VP17, IR45, VP45. All treatments were evaluated in triplicate. In the eighth week, after the transplant, the number of leaves, height of the plant and number of flower buds were determined. For media analysis, significantly higher values ($P < 0.05$) were found in the IR and VP17 and in the 45, IR17 and VP17 treatments when soluble phosphate and rock phosphate were applied, respectively, and compared to the non-inoculated control. These results showed that the P source is what determines in most cases the expression of the biological treatments. It was also found, for the two phosphate treatments, that the microbial consortium VP17 kept its beneficial synergism with the pepper plants.

Palabras clave: biofertilizantes, consorcios microbianos, fósforo.

Key words: biofertilizers, microbial consortia, phosphorus

Recibido: 08/03/2018 Aprobado: 22/05/2018 Versión Final: 27/08/2018

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población humana y la agricultura convencional han dado paso a la generación de actividades antrópicas no amigables al ambiente. La alta demanda de alimentos se ha caracterizado por un alto consumo de insumos externos como los fertilizantes sintéticos; estos, utilizados en cantidades inadecuadas, generan contaminación de suelos y mantos acuíferos, pérdida de la biodiversidad microbiana, altas concentraciones de nitritos y nitratos en los alimentos, y elevado costo económico en los sistemas agrícolas de producción (Sharma *et al.* 2013).

Una alternativa para la disminución de los fertilizantes sintéticos es el uso de los microorganismos rizosféricos benéficos para las plantas. Estos influyen en el crecimiento, ya que su actividad aumenta la disponibilidad de elementos químicos y sustancias de crecimiento vegetal (Reyes y Valery 2007); en tal sentido, se han encontrado incrementos en la germinación de semillas de cultivos como parchita (Cubillos-Hinojosa *et al.* 2009), maíz (Reyes *et al.* 2008; López *et al.* 2008; Gholami *et al.* 2009) y pimentón (Di Barbaro *et al.* 2005; Reyes *et al.* 2008; Diniz *et al.* 2009; Marquina *et al.* 2018). Igualmente, se han reportado incrementos en el número de hojas de plantas de tomate (Terry *et al.* 2010), de ají (Castillo *et al.* 2009) y de pimentón (Angulo-Castro *et al.* 2017), y efectos benéficos sobre la altura de plantas de arroz (Madhaiyan *et al.* 2010), de tomate (Terry y Leyva 2005; Terry *et al.* 2010), y de pimentón (Kokalis-Burelle *et al.* 2006; García y Pacheco 2010; Martínez *et al.* 2013; Herrera-Parra *et al.* 2017). Por tanto, con el fin de incrementar la disponibilidad de los nutrientes esenciales y las sustancias de crecimiento para el pimentón, se evaluaron varios microorganismos benéficos, previamente seleccionados, en un ensayo en macetas bajo condiciones de umbráculo, utilizando la roca fosfórica de Monte Fresco, estado Táchira (Venezuela), como fosfato de baja solubilidad, bajo las consideraciones de un manejo sostenible.

MÉTODO

La investigación se realizó en el umbráculo del Laboratorio de Biofertilizantes de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET). Se realizaron 2 experimentos con tratamientos totalmente aleatorizados, uno con fuente de fósforo (P) soluble (P_2O_5) y otro con fuente de P de baja solubilidad (roca fosfórica). Los tratamientos biológicos con los microorganismos rizosféricos benéficos fueron dos cepas bacterianas (*Enterobacter* sp. cepa 17 y *Microbacterium* sp. cepa 45), dos cepas fúngicas (*Penicillium rugulosum* cepa IR y *Trichoderma* sp. cepa VP) y los consorcios respectivos (IR17, VP17, IR45, VP45). Todos los tratamientos y el testigo no inoculado se evaluaron por triplicado. La unidad experimental fue la planta de pimentón.

Las semillas de pimentón se desinfectaron e inocularon según Reyes *et al.* (2008), y posteriormente a la inoculación se colocaron en bandejas de germinación de horticultura de 128 alvéolos dotadas de turba, previamente lavadas y esterilizadas con hipoclorito de sodio a 5,25 %. Asimismo, se estableció un testigo no inoculado. Transcurridos 40 días de la siembra se realizó el trasplante de las plántulas de pimentón en macetas de 6 kg utilizando un suelo proveniente de la Unidad Académica de “La Tuquerena”, Rubio, estado Táchira, el cual presentó bajo contenido de P y pH fuertemente ácido. Después del trasplante, se realizó una segunda inoculación con los microorganismos rizosféricos, la cual consistió en colocar 2 ml de inóculo a una concentración de aproximadamente $1,0 \times 10^7$ UFC.ml⁻¹ para asegurar los tratamientos.

A todos los tratamientos se les aplicó una solución nutritiva de base según el criterio de extracción de 70, 16 y 92 kg.ha⁻¹ de N, P_2O_5 y K_2O , de acuerdo a Wichmann (1992). Para la fuente de P de alta solubilidad, esta se aplicó en forma de P_2O_5 una semana después del trasplante, y para la fuente de P de baja solubilidad en forma de roca fosfórica al momento del trasplante y mezclándola con el

suelo a una dosis de 300 kg.ha⁻¹. La roca fosfórica utilizada procedió de las minas de Monte Fresco, edo. Táchira, con un contenido de P de 99 mg.g⁻¹ (Reyes *et al.* 2001). En la 8.^a semana del trasplante se evaluaron como variables biométricas el número de hojas, la altura de la planta y el número de botones florales por planta. En el experimento con fuente de P soluble, los tratamientos fueron comparados con dos testigos: un testigo absoluto (TA) no inoculado y sin aplicación de la solución nutritiva de base y un testigo químico A (TQA) no inoculado y con P en forma de P₂O₅. En el experimento con fuente de P de baja solubilidad, igualmente los tratamientos fueron comparados con los testigos TA, TQA y un testigo químico B (TQB) no inoculado y con P en forma de roca fosfórica.

Los datos se sometieron a un análisis de varianza y de comparación de medias por el método de mínima diferencia significativa (LSD), previamente cumplido con los supuestos de normalidad de los datos y la homocedasticidad de la varianza, según los estadísticos de Shapiro Will y Bartlett (Tapia 2012).

RESULTADOS

En la tabla 1 se observa, para la fuente de P de alta solubilidad, que el TA presentó diferencias significativas ($P<0,05$) desfavorables en todas las variables evaluadas, respecto al TQA. La mayoría de los tratamientos inoculados con microorganismos promotores de crecimiento incrementaron todas las variables biométricas evaluadas, respecto al TQA; resalta que los mayores incrementos significativos ($P<0,05$) con la inoculación biológica para estas variables correspondieron a los tratamientos con las cepas IR y VP17. Estos tratamientos incrementaron en

promedio 24 % la altura de la planta, 42 % el número de hojas y 63 % el número de botones florales. Asimismo, se observó un incremento promedio de 16 % en el número de hojas con los tratamientos VP45 y 45; y de 52 % en el número de botones florales con los tratamientos IR17 y 17, respecto al TQA. En consecuencia, estos microorganismos, al aplicarse fosfatos solubles, estarían actuando en brindar a la planta una mayor disponibilidad o absorción de los nutrientes y optimizar la aplicación del testigo comercial.

En el experimento con fuente de P de baja solubilidad, al aplicar la roca fosfórica de Monte Fresco (Tabla 2) se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0,05$) favorables con la aplicación del TQB, respecto al TQA, para las variables número de hojas y número de botones florales. La mayoría de los tratamientos inoculados incrementaron significativamente ($P<0,05$) el número de hojas y el número de botones florales por planta, respecto al TQA, lo que permite inferir que la fuente de P de baja solubilidad estimuló un mayor crecimiento vegetativo del pimentón en relación al TQA.

Al utilizar fuente de P de baja solubilidad o roca fosfórica, no se encontraron diferencias significativas favorables en las variables evaluadas y los diferentes tratamientos biológicos, respecto al TQB, posiblemente como resultado de la existencia de una relación sinérgica favorable entre la planta de pimentón, la aplicación de la roca fosfórica y la acción de la microflora autóctona del suelo. Sin embargo, los tratamientos VP17, IR17 y 45 incrementaron significativamente en promedio 27 % el número de hojas y 74 % el número de botones florales, respecto al TQA (Tabla 2).

Tabla 1. Efecto de los inoculantes con la fuente de fósforo soluble sobre las variables biométricas del

Tratamientos	Nº de hojas	Altura (cm)	Nº de botones florales
TA	8,0 e	7,4 e	1,0 e
TQA	12,7 d	16,7 cd	8,0 cd
IR	19,7 a	21,6 a	13,0 a
VP	12,3 d	15,0 d	6,3 d
17	14,0 cd	15,5 d	12,3 ab
45	14,7 bc	18,2 bc	10,0 bc
IR17	13,0 cd	16,5 cd	12,0 ab
IR45	14,0 cd	15,2 d	10,3 abc
VP17	16,3 b	19,7 ab	13,0 a
VP45	14,7 bc	14,7 d	8,3 cd

pimentón

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba estadística de medias LSD a un nivel de confianza del 95 %; n=3; TA: Testigo absoluto; TQA: Testigo químico no inoculado y con P en forma de P_2O_5 ; IR: *P. rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; 17: *Enterobacter* sp.; 45: *Microbacterium* sp.

Tabla 2. Efecto de los inoculantes con la fuente de fósforo de baja solubilidad sobre las variables biométricas del pimentón

Tratamientos	Nº de hojas	Altura (cm)	Nº de botones florales
TA	8,0 f	7,4 c	1,0 g
TQA	12,7 e	16,7 ab	8,0 def
TQB	15,7 abc	19,8 ab	11,3 abc
IR	16,3 abc	19,5 ab	9,0 cde
VP	13,3 e	15,5 b	5,0 f
17	17,0 ab	19,2 ab	7,0 ef
45	17,3 a	19,0 ab	13,7 ab
IR17	15,0 cd	18,6 ab	13,7 ab
IR45	15,3 bc	16,8 ab	10,3 cd
VP17	16,0 abc	21,5 a	14,3 a
VP45	16,3 abc	19,6 ab	11,0 bcd

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba estadística de medias LSD a un nivel de confianza del 95 %; n=3. TA: Testigo absoluto; TQA: Testigo químico no inoculado y con P en forma de P_2O_5 ; TQB: Testigo químico no inoculado y con P en forma de roca fosfórica; IR: *P. rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; 17: *Enterobacter* sp.; 45: *Microbacterium* sp.

DISCUSIÓN

La inoculación de microorganismos rizosféricos benéficos como herramienta biotecnológica en la agricultura sostenible ha permitido mejorar productivamente los cultivos agrícolas al protegerlos contra fitopatógenos y estimular el crecimiento vegetal (Angulo-Castro *et al.* 2017). En efecto, Herrera-Parra *et al.* (2017) encontraron que cepas de *Trichoderma* ejercieron control biológico contra *Meloidogyne incognita* y promovieron el crecimiento del pimentón. De este modo, los beneficios de los microorganismos rizosféricos benéficos han sido

documentados sobre diferentes cultivos agrícolas; por ejemplo, en plantas de tomate, al ser tratadas con *Pseudomonas aeruginosa*, se encontraron incrementos significativos en el número de hojas de hasta 53 % (Terry *et al.* 2010) y de 23 % en la altura de la planta al inocularlas con el consorcio microbiano *Azospirillum brasilense* y *Glomus clarum* (Terry y Leyva 2005). En caña de azúcar, la altura de la planta fue estadísticamente superior con la biofertilización, respecto al tratamiento con fertilización comercial (Stamford *et al.* 2016), y en pimentón la inoculación microbiana incrementó significativamente el diámetro del

tallo en 14,8 % (Martínez *et al.* 2013) y la germinación de las semillas en 28,5 % (Marquina *et al.* 2018).

De igual manera, en plantas de pimentón se ha reportado el efecto de los microorganismos rizosféricos sobre variables biométricas de crecimiento. De ahí que Marquina *et al.* (2018) reportaron incrementos de 30,1 % en la longitud del vástago y Martínez *et al.* (2013) consiguieron un incremento de 21,3 % en la altura de la planta. De modo similar Herrera-Parra *et al.* (2017) consiguieron con la inoculación de *Trichoderma* un aumento de 17,3 % en la altura de la planta, respecto al control. Ahora bien, Madhaiyan *et al.* (2010) evaluaron en consorcio a *A. brasilense* y *Methylobacterium oryzae* y encontraron un aumento de 30 % en la altura, aunque al inocular de manera individual la cepa *M. oryzae* la altura de la planta aumentó 36 % en comparación con el testigo no inoculado. Lo anterior explica el efecto que puede tener un microorganismo aplicado individualmente o en consorcios microbianos sobre el crecimiento de la planta. Del mismo modo, la planta hospedera también puede incidir en la eficiencia de la inoculación microbiana, pues Angulo-Castro *et al.* (2017) evaluaron la biofertilización bacteriana sobre la altura de la planta de dos cultivares de pimentón y encontraron resultados contradictorios para cada cultivar, con respecto a los tratamientos testigos. Esto último, posiblemente producto de la competencia de las cepas microbianas por la colonización de la rizósfera y a la quimio-atracción que ejercen los exudados radicales de las plantas.

En relación al número de botones florales, parámetro indicativo del potencial productivo de la planta, se observó que este se incrementó significativamente con la aplicación del tratamiento VP17 con las distintas fuentes de P; además, los resultados encontrados en este trabajo con la fuente de P de alta solubilidad y VP17 concuerdan con los reportados por Reyes *et al.* (2008), quienes hallaron igualmente en pimentón incrementos significativos de 62 % en el número de botones florales al realizar inoculaciones con rizobacterias promotoras de crecimiento. Asimismo, se observó en el número

de botones florales con la aplicación de la roca fosfórica (Tabla 2) la expresión de una relación sinérgica entre los consorcios microbianos IR17 y VP17, en comparación con los tratamientos 17, IR y VP; contrariamente, los consorcios microbianos IR45 y VP45 no presentaron sinergismo con respecto a los tratamientos aplicados individualmente, para esta misma variable. Por tanto, se debe considerar la relación entre las cepas, pues, al mezclarlas en consorcios microbianos, estas pueden actuar en forma sinérgica, neutral o antagónica.

La utilización de la roca fosfórica en forma directa en los cultivos agrícolas puede ser efectiva, pues, dependiendo de la disolución de los fosfatos naturales, estos pueden llegar a alcanzar e incluso superar las fuentes de alta solubilidad (Chien *et al.* 2011), producto de que la efectividad de los fosfatos naturales dependerá de su composición (Reyes *et al.* 2001), del tiempo de disolución (Lugo *et al.* 2009), de los ácidos orgánicos exudados por la raíz de la planta (Chien *et al.* 2011) y de la capacidad bioquímica de los microorganismos autóctonos para liberar los metabolitos que intervienen en la disolución de los fosfatos relativamente insolubles (Vassileva *et al.* 2010); por consiguiente, la disolución de los fosfatos en el suelo y su disponibilidad para la planta es muy compleja. Sin embargo, la utilización de microorganismos rizosféricos disolventes de fosfatos o promotores del crecimiento vegetal por otros mecanismos, es una herramienta ventajosa de la biotecnología para los agricultores que desean conservar el suelo y diseñar sistemas productivos con principios agroecológicos (Lopes-Assad *et al.* 2010). De esta manera, los microorganismos disolventes permiten incrementar parámetros de importancia agronómica, como el observado en el número de botones florales de pimentón (Tablas 1 y 2), al aplicarse el consorcio microbiano de *Trichoderma* sp. cepa VP y de *Enterobacter* sp. cepa 17. Así mismo, la inoculación microbiana permitió observar el potencial benéfico como biofertilizante de algunos consorcios microbianos evaluados en esta investigación con distintas fuentes de P, sobre el crecimiento vegetativo del pimentón, bajo las

consideraciones de un manejo sostenible.

CONCLUSIONES

La investigación permitió observar en el cultivo del pimentón que los inoculantes microbianos propuestos en consorcio expresan un sinergismo benéfico para la planta, que los microorganismos aplicados en forma individual. Ello implica considerar el consorcio microbiano a utilizar en el pimentón y de esta manera alcanzar con la biofertilización una herramienta ventajosa de la biotecnología agrícola para los productores que desean conservar el ambiente con principios agroecológicos.

AGRADECIMIENTO

Al Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, por el apoyo a través del proyecto 02-009-2016.

REFERENCIAS

Angulo-Castro, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M. y García-Barradas, O. (2017). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema ii en plántulas de 2 variedades de *Capsicum annuum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrícicos arbusculares. *Rev Argent Microbiol.* Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.011>

Castillo, C., Sotomayor, L., Ortiz, C., Leonelli, G., Borie, F. and Rubio, R. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*Capsicum annuum* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research.* 69 (1): 79-87.

Chien, S., Prochnow, L. y Mikkelsen, R. (2011). Uso agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa. *Informaciones Agronómicas.* 1 (13): 13-16.

Cubillos-Hinojosa, J., Valero, N. y Mejía, L. (2009). *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento vegetal del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). *Agronomía Colombiana.* 27 (1):

81-86. Disponible en <http://www.agronomia.unal.edu.co/adjunto/s/investigacion/revista/27-1/v27n1a11.pdf>.

Di Barbaro, G.; Pernasetti, S. y Stegmayer, A. (2005). Evaluación del efecto de *Azospirillum brasilensis* en la germinación y emergencia del pimiento pimentonero (*Capsicum annuum* L. var. Trompa de elefante). *Centro de Investigaciones en Zonas Áridas y Semiáridas.* 6 (1): 74-85.

Diniz, K., Silva, P., Oliveira, J. and Emiliorelli, J. (2009). Sweet pepper seed responses to inoculation with microorganisms and coating with micronutrients, aminoacids and plant growth regulators. *Scientia Agricola.* 66 (3): 293-297. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162009000300002&script=sci_arttext.

García, C. y Pacheco, A. (2010). *Efectos de aislados bacterianos en germinación y crecimiento de plántulas de chile* (*Capsicum annuum* L.). Universidad Autónoma de Querétaro. Disponible en <http://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2010/index.html>

Gholami, A., Shahsavani, A. and Nezarat, S. (2009). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *World Academy of Science, Engineering and Technology.* 49 (1): 19-24.

Herrera-Parra, E., Cristóbal-Alejo, J. and Ramos-Zapata, J. (2017). *Trichoderma* strains as growth promoters in *Capsicum annuum* and as biocontrol agents in *Meloidogyne incognita*. *Chilean Journal of Agricultural Research.* 77(4): 318-324.

Kokalis-Burelle, N. Kloepper, J. and Reddy, M. (2006). Plant growth-promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere miccoorganisms. *Applied Soil Ecology.* 31 (1): 91-100.

López, M., Martínez, R., Brossard, M., Bolívar, A., Alfonso, N., Alba, A. y Pereira, H. (2008). Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos. *Agronomía Tropical.* 58 (4): 391-401.

- Lopes-Assad, M., Avansini, S., Erler, G., Rosa, M., Porto, J. and Ceccato-Antonini, S. (2010). *Rock powder solubilization by Aspergillus niger as a source of potassium for agroecological systems*. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia.
- Lugo, M., Ramírez, R. y Entrena, I. (2009). Roca fosfórica y superfosfato triple como fuentes de fósforo para *Centrosema* en un suelo ácido. *Zootenia Tropical*. 27 (4): 443-456.
- Madhaiyan, M., Poonguzhali, S. and Kang, Bo-Goo. (2010). Effect of co-inoculation of methylophilic *Methylobacterium oryzae* with *Azospirillum brasilense* and *Burkholderia pyrrhocina* on the growth and nutrient uptake of tomato, red pepper and rice. *Plant Soil*. 328 (1): 71-82.
- Marquina, M., Ramírez, Y. y Castro, Y. (2018). Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimentón *Capsicum annuum* L. var cacique gigante. *Bioagro*. 30(1): 3-16.
- Martínez, L., Martínez, R., Hernández, M., Arvizu, S. y Pacheco, J. (2013). Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(1): 63-69.
- Reyes, I., Álvarez, L., El Ayoubi, H. y Valery, A. (2008). Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz. *Bioagro*. 20 (1): 37-48.
- Reyes, I., Baziramakenga, R., Bernier, L. and Antoun, H. (2001). Solubilization of phosphate rocks and minerals by a wild-type strain and two UV-induced mutants of *Penicillium rugulosum*. *Soil Biology & Biochemistry*. 33 (1): 1741-1747.
- Reyes, I. y Valery, A. (2007). Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento del Maíz (*Zea mays* L.) con *Azotobacter* spp. *Bioagro*. 19 (3): 117-126.
- Sharma, S., Sayyed, R., Trivedi, M. and Gobi, T. (2013). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*. 2:587.
- Stamford, N., Simões, D., Santiago, A., Almeida, E., Silva, W. and Cruz, L. (2016). Rock biofertilizer and earthworm compost on sugarcane performance and soil attributes in two consecutive years. *Scientia Agricola*. 73 (1): 29-73.
- Tapia, J. (2012). *Diseño estadístico de experimentos*. Barinas (Venezuela): Fondo Editorial UNELLEZ.
- Terry, E. y Leyva, A. (2005). Evaluación agrobiológica de la coinoculación micorrizas-rizobacterias en tomate. *Agronomía Costarricense*. 30 (1): 65-73.
- Terry, E., Ruiz, J. y Tejeda, T. (2010). Efecto de un bioproducto a base de *Pseudomona aeruginosa* en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* Mill). *Revista Colombiana de Biotecnología*. 12 (1): 32-38. Disponible en http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01233475201000010004&lng=en&nrm=iso.
- Vasileva, M., Serrano, M. and Bravo, V. (2010). Multifunctional properties of phosphate-solubilizing microorganisms grown on agro-industrial wastes in fermentation and soil conditions. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 1 (85): 1287-1299.
- Wichmann, W. (1992). *World fertilizer use manual*. Germany: IFA. Disponible en <http://www.fertilizer.org/ifa/>

AGROPECUARIA

APLICACIONES DE GALLINAZA Y *Trichoderma harzianum* EN EL DESARROLLO DE *Solanum tuberosum* VAR. GRANOLAAPPLICATIONS OF POULTRY MANURE AND *Trichoderma harzianum* IN THE DEVELOPMENT OF *Solanum tuberosum* VAR. GRANOLA

Autores:

Roa, María; Bautista, Luis

Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

Corresponding Author: mariav.roa@unet.edu.ve

RESUMEN

La papa es uno de los cultivos de mayor importancia económica para el municipio José María Vargas. A fin de incentivar el uso de productos biológicos en la producción sustentable del cultivo, se evaluó el efecto de la aplicación, individual y conjunta, de *Trichoderma harzianum* y gallinaza sobre el crecimiento y producción del cultivo de papa var. Granola. En un diseño factorial simple con arreglo al azar, se aplicaron cinco tratamientos y tres repeticiones: gallinaza 20 días antes de la siembra, gallinaza en la siembra, *T. harzianum*, gallinaza más *Trichoderma* y manejo convencional. La gallinaza se aplicó en dosis de 10 ton.ha⁻¹ y el *Trichoderma* se inyectó a una dosis de 1x10⁷ esporas.ml⁻¹. Se usaron parcelas de 42 m². Además, se monitoreó el efecto de la gallinaza en la sobrevivencia del hongo durante el ciclo del cultivo. Se midieron variables vegetativas (altura de la planta, número de tallos, número de hojas, materia seca aérea y radical) y productivas (peso fresco y número de tubérculos y rendimiento total) a los 35, 66 y 97 días. No se encontraron diferencias significativas para las variables de crecimiento, aunque la aplicación de gallinaza, 20 días antes de la siembra, mostró una tendencia positiva en el desarrollo de estas variables. En el rendimiento, se presentaron diferencias significativas siendo la aplicación de gallinaza 20 días antes y gallinaza con *T. harzianum*, los mejores tratamientos con 71,68 y 70,63 ton.ha⁻¹, respectivamente. Se demostró que la gallinaza expuesta a condiciones de campo no afectó la sobrevivencia de *T. harzianum*. Se concluye que la aplicación de gallinaza antes de la siembra, en la siembra o combinada con *T. harzianum* tiene efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas y en el rendimiento del cultivo de papa.

ABSTRACT

The potato is one of the most economically important crops for the José María Vargas municipality. In order to encourage the use of biological products in the sustainable production of the crop, the effect of the individual and joint application of *Trichoderma harzianum* and poultry manure on the growth and production of the potato crop var. Granola. In a simple factorial design randomly arranged, five treatments and three repetitions were applied: poultry manure 20 days before sowing, poultry manure at planting, *T. harzianum*, poultry manure plus *Trichoderma* and conventional management. The manure was applied in doses of 10 ton.ha⁻¹ and the *Trichoderma* was injected at a dose of 1x10⁷ spores.ml⁻¹. Parcels of 42 m² were used. In addition, the effect of poultry manure on the survival of the fungus during the crop cycle was monitored. Vegetative variables (height of the plant, number of stems, number of leaves, aerial and radical dry matter) and productive (fresh weight and number of tubers and total efficiency) were measured at 35, 66 and 97 days. No significant differences were found for the growth variables, although the application of poultry manure, 20 days before sowing, showed a positive trend in the development of these variables. Regarding efficiency, there were significant differences being the application of poultry manure 20 days before and poultry manure with *T. harzianum* the best treatments with 71.68 and 70.63 ton.ha⁻¹, respectively. It was shown that poultry manure exposed to field conditions did not affect the survival of *T. harzianum*. It is concluded that the application of poultry manure before planting, in the sowing or combined with *T. harzianum* has a positive effect on the growth of the plants and on the efficiency of the potato crop.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, biofertilizante, crecimiento, promoción, biocontrol.

Key words: *Solanum tuberosum*, biofertilizer, growth, promotion, biocontrol.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), se ubica entre los cinco (5) cultivos de mayor importancia económica y alimenticia del mundo, después de cereales como: arroz, trigo y maíz. En la producción de papa de América del Sur, Venezuela ocupa el 5to lugar con un rendimiento de 19,376 ton.ha⁻¹ (FAO, 2016). En el estado Táchira, se producen alrededor de 47000 ton, siendo el municipio José María Vargas el segundo productor con 6747 ton (Arias y Arnaude, 2010).

Por condición natural, los suelos del estado Táchira, destinados a la producción de papa, son de baja fertilidad, por lo que no satisfacen los requerimientos necesarios para obtener altos rendimientos (Arias y Arnaude, 2010). Esta condición conduce a la aplicación de algún tipo de fertilizante para aumentar la producción por superficie.

En los andes venezolanos, la actividad agrícola vegetal depende del uso de productos de síntesis química, mientras que el uso de productos biológicos es bajo e incipiente. Zamora *et al.* (2008) señalan que si bien el uso de productos químicos ha mantenido la productividad agrícola durante años, el mismo ha fracasado, pues ha contribuido con el deterioro de la calidad ambiental, ocasionando problemas en los suelos, las aguas y la salud en general. Por otro lado, Muñoz *et al.* (2015) sostienen que la aplicación de abonos orgánicos; además de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, pueden prevenir y controlar enfermedades debido al ambiente supresivo que se genera.

Entre los abonos orgánicos, Zamora *et al.* (2008) indican que el uso de gallinaza, como fuente orgánica, incrementó el rendimiento de papa en un 20% aproximadamente, además de tener efecto residual de nutrientes en ciclos sucesivos.

En la producción vegetal, el uso de insumos ecológicos involucra el uso de abonos orgánicos y el uso de agentes de control biológico. Según Martínez *et al.* (2013) para que un microorganismo sea un eficiente controlador

biológico debe tener alta capacidad reproductiva, un complejo enzimático que le permita infectar y destruir al patógeno en un amplio rango de condiciones ambientales y debe ser inocuo para el hombre y los animales. Entre los agentes de control biológico, los hongos del género *Trichoderma* (anamorfo de *Hypocrea*) son de los más estudiados; dado que, tienen la capacidad de atacar y regular poblaciones de fitopatógenos y algunas especies se destacan por la capacidad de estimular o promover el crecimiento de las plantas y activar mecanismos de resistencia sistémica contra enfermedades (Ballén, 2010; Akansha *et al.*, 2018).

Manjurul *et al.* (2012) demostraron que tres (3) tipos de biofertilizantes enriquecidos con *Trichoderma* aumentaron significativamente el crecimiento y el rendimiento de la mostaza y el tomate. Encontraron que la aplicación de 50% de fertilizante nitrogenado junto con 50% de biofertilizantes enriquecidos con *Trichoderma* aumentó en 108 y 203%, el rendimiento de la mostaza y el tomate, comparado con el testigo. Algunos autores como Osorio-Nila *et al.* (2005), Ulacio *et al.* (2003) y Baños *et al.* (2010) reportan la utilización conjunta de gallinaza y *Trichoderma* sp. en el control de enfermedades en diferentes cultivos.

En Venezuela, y en especial en el estado Táchira, se utiliza el *Trichoderma* con fines de control de hongos patógenos de suelo; sin embargo, ha sido poco estudiado como promotor del crecimiento vegetal. Esta situación hace necesaria la evaluación de productos de origen biológico que contribuyan a solventar las necesidades de fertilidad y fitoprotección de los cultivos. Por tal motivo, en el presente trabajo, se evaluó la aplicación conjunta de *Trichoderma harzianum* Rifai (anamorfo de *Hypocrea lixii* Pat.) y gallinaza en el desarrollo del cultivo de papa.

MÉTODO

El ensayo, se realizó en la aldea Venegará, municipio José María Vargas, estado Táchira; a 2010 msnm. El trabajo consistió en la aplicación de gallinaza y *T. harzianum*, así como su

aplicación conjunta en el cultivo de papa. Para ello, se dispuso de cinco (5) tratamientos: aplicación de gallinaza 20 días antes de la siembra, gallinaza al momento de la siembra, gallinaza al momento de la siembra y aplicaciones semanales de *T. harzianum*, *T. harzianum* y un testigo. La dosis de gallinaza y *T. harzianum* fueron de 10 ton.ha⁻¹ y 1x10⁷ esp.ml⁻¹, respectivamente. Se aplicó un diseño factorial simple con arreglo completamente al azar, con cinco (5) tratamientos y tres (3) repeticiones para un total de quince (15) parcelas. Cada parcela contó con un área de 42 m² y un área total de ensayo de 630 m².

Manejo agronómico del cultivo: en la preparación de terreno se realizaron dos pases de arado de cincel (bueyes) y dos pases de rastra. El surcado se realizó de forma manual empleando escardillas. La siembra, se realizó a una distancia de 0,3 m entre plantas y 0,7 m entre hileras. Al momento de la siembra, se realizó una fertilización química a una dosis de 1000 kg.ha⁻¹ de fórmula 10-20-20. El riego, se realizó por aspersión, dependiendo de la humedad del suelo y de la etapa del cultivo. Se hizo aporque manual a los 40 días después de la siembra (DDS). La cosecha fue manual, a los 106 DDS.

Variables evaluadas: Se evaluaron variables de crecimiento y rendimiento. Las variables de crecimiento, se midieron a los 35 DDS en etapa de crecimiento y a 66 DDS en etapa de floración. Las variables fueron; altura de la planta, número de tallos, número de hojas. La materia seca aérea y radical, se determinó en las etapas de crecimiento, floración y madurez fisiológica a los 97 DDS. Las variables de producción, se determinaron en crecimiento, floración y madurez fisiológica; para ello, se realizó un muestreo destructivo, al azar, de seis (6) plantas por tratamiento. Se midió el peso fresco y el número de tubérculos por planta, el peso fresco de los tubérculos comerciales y el rendimiento.

Viabilidad del *T. harzianum*: Para evaluar el efecto de la gallinaza sobre la sobrevivencia de *T. harzianum*, se colocaron en bolsas de malla plástica (malla zaran verde), 40 g de gallinaza inoculada con *T. harzianum* a una concentración

de 1x10⁷ esp.g⁻¹. Se ubicaron siete (7) bolsas en cada una de las tres repeticiones correspondientes al tratamiento gallinaza inoculada con *T. harzianum*, las cuales fueron enterradas a 5 cm de profundidad y cubiertas con suelo. De cada repetición, se colectó una bolsa a los 5, 19, 33, 57, 75 y 106 DDS, para un total de 6 extracciones durante el ciclo del cultivo. Este material, se trasladó al Laboratorio de Control Biológico para determinar la concentración del hongo en cada fecha de extracción.

La concentración, se determinó por el método de dilución y recuento en placa usando una solución madre compuesta de 10 g de material en 90 ml de agua destilada estéril. Se realizaron tres (3) diluciones que fueron sembradas en medio de cultivo semi-selectivo modificado para *Trichoderma* (Hetong *et al.* 2008), constituido por; PDA (40 g.l⁻¹), Rosa de Bengala (0,050 g.l⁻¹), Captan (0,050 g.l⁻¹), Benomilo (0,001 g.l⁻¹), Cloranfenicol (0,250 g.l⁻¹), Streptomina (0,1 g.l⁻¹) y ácido láctico (1 ml.l⁻¹). El conteo de las colonias de *T. harzianum*, se realizó a los 4 días de incubación en un contador manual. Posteriormente, se determinaron las UFC del hongo por gramo de gallinaza.

Análisis estadístico: Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y contraste múltiple de rangos usando el comparador Duncan al 95% de confiabilidad, mediante el programa estadístico Statgraphic Plus versión 5.1. Para la viabilidad de *T. harzianum*, se utilizó estadística descriptiva construyendo una curva de la concentración del hongo a través del tiempo.

RESULTADOS

Los resultados de las variables de crecimiento, se muestran en la tabla 1. En la altura de las plantas, no presentaron diferencias significativas (P<0,05) en las dos (2) fases fenológicas evaluadas. Sin embargo, se destaca que la aplicación de gallinaza, 20 días antes de la siembra, tendió a producir plantas con mayor promedio de altura, en crecimiento y floración. En el número de hojas y tallos, no se presentaron

diferencias significativas en las aplicaciones evaluadas.

En cuanto a la materia seca radical en crecimiento, floración y madurez, las plantas de papa no mostraron diferencias estadísticamente significativas. A pesar de ello, se observa una tendencia hacia la mayor acumulación de materia seca radical en los tratamientos donde se aplicó gallinaza. En el contenido de materia seca aérea, se presentaron diferencias significativas en la etapa de crecimiento, destacando la aplicación de gallinaza, 20 días antes de la siembra. Aunque a la floración y madurez, el análisis no mostró diferencias significativas en el contenido de materia seca por los tratamientos. Resultado similar, se presentó en el contenido de materia seca total.

En la tabla 2 son presentados los resultados obtenidos en las variables de producción. En el peso fresco de tubérculos, se presentaron diferencias significativas en las fases de crecimiento y madurez y no hubo diferencias en la etapa de floración. Los mayores promedios de peso fresco de tubérculos, se produjeron con las aplicaciones de gallinaza, 20 días antes de la siembra, y con las aplicaciones semanales de *T. harzianum*. Para el número de tubérculos por planta, no se mostraron diferencias estadísticas en crecimiento; mientras que en la fase de madurez, se presentaron diferencias significativas. En esta fase, la mejor respuesta la obtuvo el testigo o manejo convencional que fue diferentes y superior a los restantes tratamientos.

Tabla 1. Valores promedios para variables de crecimiento de papa en 3 etapas fenológicas por efecto de la aplicación de *T. harzianum* y gallinaza

Variables	Etapa	Testigo	Gallinaza 20 DAS	Tratamientos			C.V.
				Gallinaza	<i>Trichoderma</i> + Gallinaza	<i>Trichoderma</i>	
Altura (cm)	Crecimiento	14,63 ^a	14,70 ^a	14,14 ^a	13,03 ^a	13,30 ^a	0,23
	Floración	32,43 ^a	36,10 ^a	35,83 ^a	35,63 ^a	32,33 ^a	0,16
N° hojas	Crecimiento	7,87 ^a	7,63 ^a	7,37 ^a	7,70 ^a	7,82 ^a	0,22
	Floración	8,60 ^a	8,74 ^a	8,70 ^a	8,94 ^a	9,00 ^a	0,14
N° tallos	Crecimiento	2,36 ^a	2,46 ^a	2,53 ^a	2,36 ^a	2,23 ^a	0,41
	Floración	2,80 ^a	2,93 ^a	2,56 ^a	2,90 ^a	2,43 ^a	0,40
Materia seca raíz (g)	Crecimiento	0,86 ^a	0,90 ^a	0,70 ^a	0,71 ^a	0,90 ^a	0,25
	Floración	2,90 ^a	2,71 ^a	4,53 ^a	4,46 ^a	4,13 ^a	0,57
	Madurez fisiológica	7,50 ^a	9,50 ^a	9,80 ^a	8,00 ^a	6,66 ^a	0,37
Materia seca aérea (g)	Crecimiento	8,03 ^{ab}	9,93 ^a	8,75 ^{ab}	6,66 ^b	7,63 ^a	0,25
	Floración	26,00 ^a	35,00 ^a	37,83 ^a	14,50 ^a	33,33 ^a	0,39
	Madurez fisiológica	27,83 ^a	28,66 ^a	30,16 ^a	30,83 ^a	37,33 ^a	0,28
Materia seca total (g)	Crecimiento	8,89 ^{ab}	10,83 ^a	9,45 ^a	7,37 ^b	8,53 ^a	0,24
	Floración	28,9 ^a	37,71 ^a	42,36 ^a	45,96 ^a	37,46 ^a	0,38
	Madurez fisiológica	35,33 ^a	38,16 ^a	39,96 ^a	38,83 ^a	43,99 ^a	0,25

Promedio seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes. Prueba de Duncan ($P < 0,05$)

Tabla 2. Valores promedios para variables de producción de papa por efecto de la aplicación de *T. harzianum* y gallinaza

Tratamientos	Etapas	Testigo	Gallinaza 20 DAS	Gallinaza	<i>Trichoderma</i> + Gallinaza	<i>Trichoderma</i>	C.V.
Peso fresco de tubérculos (g)	Crecimiento	3,77 ^{ab}	5,88 ^a	4,97 ^{ab}	3,03 ^b	5,67 ^a	0,43
	Floración	630,16 ^a	655,50 ^a	761,66 ^a	723,50 ^a	747,50 ^a	0,31
	Madurez fisiológica	1275 ^b	1525 ^a	1425 ^{ab}	1650 ^a	1516 ^a	0,23
Nº de tubérculos	Crecimiento	13 ^a	15,83 ^a	17,83 ^a	14,33 ^a	17,66 ^a	0,27
	Floración	14,66 ^a	16,66 ^a	16,33 ^a	15,50 ^a	17,83 ^a	0,33
	Madurez fisiológica	19,33 ^a	14,50 ^b	13,16 ^b	12,16 ^b	14,12 ^b	0,30
Peso fresco de los tubérculos comerciales (g)	Cosecha	152,25 ^{ab}	175,52 ^a	169,79 ^{ab}	159,93 ^{ab}	142,37 ^b	0,45
Rendimiento (ton.ha⁻¹)	Cosecha	55,44 ^b	71,68 ^a	63,98 ^{ab}	70,63 ^a	59,85 ^b	0,27

Promedio seguidos de la misma letras no son significativamente diferentes. Prueba de Duncan (P<0,05)

Una aspecto del efecto de la aplicación del hongo *T. harzianum* en el proceso de formación de tubérculos, a los 35 días después de la siembra, es presentada en la figura 1. En la misma, se puede apreciar el inicio del proceso de formación de tubérculos, donde se aplicó el *Trichoderma*, comparado con la no formación de tubérculos en las plantas testigo.

Con respecto al peso fresco de tubérculos comerciales (tubérculos con calibre mayor a 65 mm) presentaron diferencias significativas (P<0.05) al momento de la cosecha (Tabla 2). Se observa que los tubérculos comerciales con el mayor peso fresco promedio correspondieron al tratamiento, donde se aplicó la gallinaza, 20 días antes de la siembra. Aunque, estadísticamente tiene un comportamiento similar a los otros tratamientos, a excepción de la aplicación de *T. harzianum* que fue diferente e inferior en el peso fresco de tubérculos comerciales.

Para la variable rendimiento, los resultados mostraron diferencias significativas (P<0.05) en la producción por hectárea. Los mayores rendimientos, se alcanzaron con la aplicación gallinaza, 20 días antes de la siembra, así como donde se aplicó conjuntamente gallinaza y *T. harzianum* con medias de 71,68 y 70,63 ton.ha⁻¹, respectivamente.

Efecto de la gallinaza en la sobrevivencia de *T. harzianum*

En condiciones de campo, no se encontró un efecto negativo de la gallinaza sobre la viabilidad y sobrevivencia de *T. harzianum*. La concentración inicial del hongo en la gallinaza fue de 1,04x10⁵ ufc.g⁻¹ y la concentración del hongo, presente en la gallinaza, al final del cultivo de papa (106 días) fue de 3,6x10⁴ ufc.g⁻¹ (Figura 2). El hongo aplicado en la gallinaza y mantenido enterrado en bolsas plásticas porosas, durante el ciclo del cultivo de papa, permaneció viable y fue recuperado de la gallinaza.



Figura 1. Comparación del inicio del proceso de formación de tubérculos, a los 35 días después de la siembra, en raíces de papa. **A y B.** Raíces de plantas con manejo convencional, sin tubérculos. **C y D.** Raíces de plantas con aplicaciones semanales de *T. harzianum*, con formación de tubérculos.

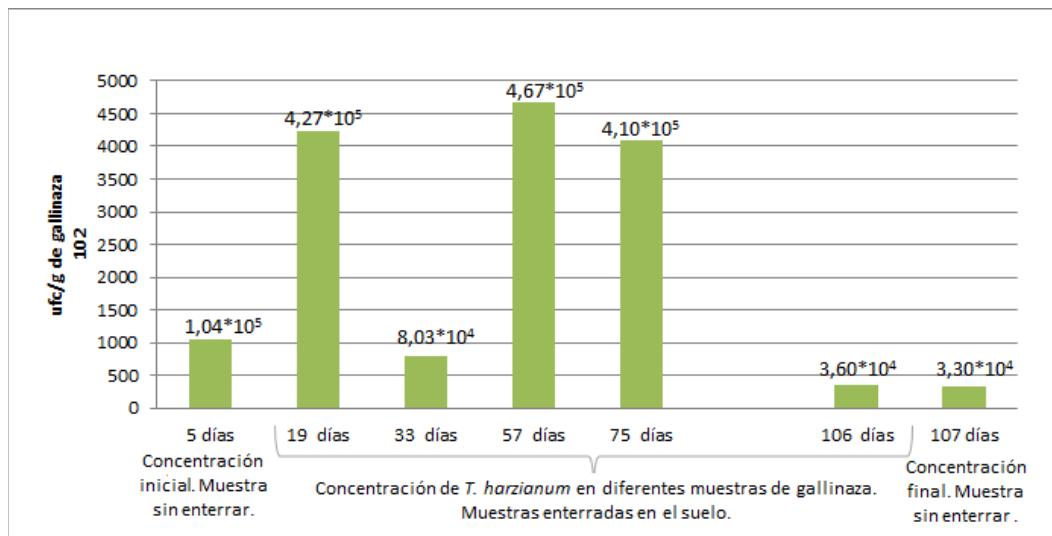


Figura 2. Promedio de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de *T. harzianum* por gramo de gallinaza incubada en bolsas sintéticas porosas, en condiciones de campo, bajo un ciclo de cultivo de papa.

DISCUSIÓN

En general, las variables biométricas de crecimiento vegetativo tuvieron un comportamiento similar por efecto de la aplicación de los tratamientos en estudio. Sin embargo, se destaca, el efecto de la aplicación de gallinaza, en especial la aplicación de gallinaza 20 días antes de la siembra, que mostró tendencia a mejorar los parámetros de crecimiento vegetativo. Este efecto puede estar relacionado con el suministro y disponibilidad de nutriente aportado por la aplicación de la

gallinaza. Al respecto, Luna *et al.* (2016), al aplicar abonos orgánicos encontraron diferencias en altura de plantas de papa de las variedades Libertad y Rosita en la fase de crecimiento. También, Zamora *et al.* (2008) encontraron que al aplicar varios tipos de fertilizantes orgánicos y minerales en el cultivo de papa, la aplicación de estiércol de aves aumentó 15% la altura de las plantas. También, los mismos autores refieren que al usar abonos orgánicos, como el estiércol de chivo, se aumentó el número de tallos por planta. Aunque como lo señala Andrade (2006), el número de tallos principales lo condiciona el

factor variedad y depende del número de yemas que se activen para determinar el número de brotes por tubérculo. Un efecto positivo del uso de gallinaza sobre la materia seca radical ha sido señalado por Romero-Lima *et al.* (2000), quienes encontraron una mayor acumulación de materia seca en raíces de papa por el uso de gallinaza, cuando se comparó con otras fuentes orgánicas. Por tradición en la andes venezolanos, se usa la gallinaza como fuente orgánica en el cultivo de papa. Los datos mostrados indican que la aplicación de gallinaza, 20 días antes de la siembra, mejora la disponibilidad de nutrientes desde las primeras etapas de desarrollo, con lo cual se promueve el crecimiento vegetativo.

Las aplicaciones del hongo *T. harzianum*, no indujeron efectos destacables en el crecimiento de las plantas de papa. Resultado similar es señalado por González *et al.* (1999), quienes no encontraron diferencias significativas en el crecimiento de plantas de papa por el uso de una cepa de *T. harzianum*. A pesar de ello, *T. harzianum* es reportado como un agente promotor del crecimiento en diferentes especies de vegetales (Shanmugaiah *et al.*, 2009; Mazhabi *et al.*, 2010), especialmente en solanáceas como el tomate (Ozbay *et al.*, 2004; Jiménez *et al.*, 2011; Nzanza *et al.* 2011 y Martín-Guirao *et al.* 2016). Contrariamente, Jaimes (2008) señala no haber encontrado efectos positivos al inocular plantas de tomate con *T. harzianum*.

Aun cuando la cepa de *T. harzianum* utilizada procede de la misma zona donde se realizó el trabajo, no promovió el crecimiento de las plantas de papa, al respecto, se considera que existe una alta variabilidad intraespecífica en la capacidad de promoción del crecimiento, por lo que es necesario un proceso de selección de las cepas a utilizarse en campo.

En el caso de las variables de producción, es de igual manera destacable, el efecto de los tratamientos donde se aplicó gallinaza es especial antes de la siembra. La aplicación de gallinaza promovió las mejores respuestas en cuanto a peso fresco de tubérculos comerciales y producción por hectárea. Efectos positivos sobre el uso de abonos orgánicos, en el desarrollo de

tubérculos comerciales, han sido mencionados por Villareal y Veintimilla (2008) quienes encontraron que la aplicación de gallinaza produjo un mayor rendimiento de tubérculos comerciales (calibre mayor a los 50 mm). Igualmente, Paca (2009), al clasificar la papa por categorías, obtuvo diferencias significativas para la categoría media (61-100 g) y gruesa (>100 g).

Los mayores rendimientos, se obtuvieron donde se aplicó gallinaza, 20 días antes de la siembra, así como donde se realizó la aplicación conjunta de gallinaza y *T. harzianum*. La aplicación de gallinaza aumentó el rendimiento en 29,29%, resultado que demuestra la importancia de la gallinaza como fuente de materia orgánica y aporte de nutrientes para mejorar el rendimiento del cultivo de papa. Estos resultados corroboran los reportados por Romero-Lima *et al.* (2000), quienes al evaluar combinaciones de abonos orgánicos y minerales, encontraron que la gallinaza fue el abono que aportó la mayor cantidad de nutrimentos, presentando el mejor rendimiento. Por el contrario, Zambrano (2009), no encontró diferencias al evaluar el efecto bocashi, compost y gallinaza sobre el rendimiento.

Considerando todas las variables de rendimiento, se puede señalar que la aplicación de gallinaza; antes de la siembra, en la siembra o con *T. harzianum* presentó una tendencia a mejorar los rendimientos del cultivo de papa. Esta respuesta estaría relacionada con la cantidad de nutrientes que libera la gallinaza durante su proceso de mineralización, además de los cambios favorables que ejerce sobre las propiedades físicas del suelo (Luna *et al.*, 2016).

La aplicación del *Trichoderma*, no mejoró las variables de producción del cultivo. Sin embargo, se constató que la aplicación del hongo aceleró el proceso de formación de tubérculos los 35 días después de la siembra, se apreció formación de tubérculos en las raíces de plantas tratadas con *Trichoderma*, proceso que no ocurrió en las plantas sin *Trichoderma*, al respecto, Akansha *et al.* (2018) explican que el efecto de *Trichoderma* sobre la morfología y fisiología de la planta acelera el crecimiento

vegetativo y reproductivo. También, se observó una tendencia a una mayor acumulación de biomasa aérea en las plantas donde se aplicó *T. harzianum*. Lo que puede indicar que el hongo hizo que la planta fuese más eficiente en la absorción de nutrientes actuando indirectamente en la nutrición del cultivo, dejando los nutrientes en formas asimilables para las plantas. Sobre la utilización de *Trichoderma* en papa, García *et al.* (2012) evaluando 3 cepas de *T. asperellum*, encontraron que al aplicarlas en la emergencia de las plantas aumentaron el rendimiento en un 400%, en la variedad Andinita. En referencia, al efecto de *Trichoderma* sp. sobre el rendimiento de otras solanáceas, Jaimes (2008), no encontró diferencias significativas al evaluar el efecto de *Trichoderma* spp. en el rendimiento del cultivo de tomate.

En condiciones de campo, no se encontró un efecto negativo en la viabilidad y sobrevivencia del hongo que permaneció mezclado con gallinaza. Al respecto, Osorio-Nila *et al.* (2005) evaluaron el efecto del estiércol de pollo sobre el establecimiento de *Trichoderma* spp., encontraron que a los 30 días no se detectó la presencia de *Trichoderma* donde se empleó la pollinaza; pero, a los 60 días, se produjo un crecimiento notable. Mencionan que la materia orgánica contenida en la pollinaza, no pudo ser utilizada de inmediato por *Trichoderma* spp. y, por tanto, la pollinaza debió sufrir una transformación fisicoquímica por las poblaciones microbiológicas del suelo, antes de ser colonizada por *Trichoderma*.

CONCLUSIONES

Se confirmó el efecto benéfico de la gallinaza como enmienda orgánica para mejorar el desarrollo de las variables biométricas de crecimiento y producción del cultivo de papa, var. Granola. Mientras que la cepa de *T. harzianum*, no promovió efecto marcados en el desarrollo de las plantas.

Bajo condiciones de campo, se puede aplicar el agente biológico *T. harzianum* conjuntamente con la gallinaza sin que hayan efectos perjudiciales sobre el microorganismo.

REFERENCIAS

- Akansha, S., Nandini, S., Kabadwal, B.C., Tewari, A.K., Kumar J. (2018). Review on Plant-*Trichoderma*-Pathogen Interaction. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7(2):2382-2397.
- Andrade, P. (2006). Respuesta de clones selectos de papa nativa (*Solanum tuberosum* L ssp. *tuberosum* Hawkes.) al ser expuestos a una población de *Helminthosporium solani* Durieu & Mont, durante el crecimiento y desarrollo del cultivo. Tesis presentada para optar al grado de Licenciada en Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Arias, K., Arnaude, O. (2010). Efecto de la fertilización química, orgánica y combinada sobre el rendimiento de la papa variedad granola. Agronomía tropical 60(1):75-84.
- Ballén, M. (2010). Evaluación *in vitro* de la compatibilidad entre cinco cepas del biocontrolador *Trichoderma* spp. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Experimental del Táchira. Pp. 75
- Baños, Y., Concepción, A., Lazo, R., González, I., Morejón, L. (2010). Efecto de enmiendas orgánicas y *Trichoderma* spp. en el manejo de *Meloidogyne* spp. Revista Brasileira de Agroecología 5(2): 224-233.
- Borba, N. (2008). La papa un alimento básico. Posibles impactos frente a la introducción de papa transgénica. Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina (RAP-AL), Uruguay. Disponible en: <http://webs.chasque.net/~rapaluy1/transgenicos/Papa/Papa.pdf>.
- Cantarero, R., Martínez, O. (2002). Evaluación de tres tipos de fertilizantes (gallinaza, estiércol vacuno y un fertilizante mineral) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) Variedad NB-6. Trabajo de diploma. Facultad de agronomía, Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. Disponible en: <http://repositorio.una.edu.ni/1853/1/tnf04c229.pdf>
- García, R., Arcia, M., Pérez, M., Riera R. (2012). Efecto de *Trichoderma* sobre el desarrollo de papa y el biocontrol de *Rhizoctonia* bajo tres tiempos de inicio de

- aplicación. *Agronomía Tropical* 62(1-4):77-95.
- González, C., Rodríguez, L., Arjona, C., Puertas, A., Fonseca, M. (1999). Efecto de la aplicación de *Trichoderma harzianum* sobre la composición cuantitativa de bacterias, hongos y actinomicetos de la rizosfera de solanáceas y su influencia en el crecimiento vegetativo. *Revista Protección vegetal* 14:1-2.
- Hetong, Y., Ryder, M., Wenhua, T. (2008). Toxicity of Fungicides and Selective Medium Development for Isolation and Enumeration of *Trichoderma* spp. in Agricultural soils. International Commission on the taxonomy of Fungi (ICTF) and International Union of Microbiological Societies (IUMS, Mycology Division). Disponible en: http://www.isth.info/methods/method.php?method_id=8
- Jaimes, I. (2008). Efecto de la inoculación de *Trichoderma* spp. en el cultivo de tomate, bajo condiciones de ambiente protegido en la Unidad Académica Hacienda La Tuquerena, municipio Junín, Estado Táchira. Trabajo de pasantías profesionales, Universidad Nacional Experimental del Táchira. Pp. 85.
- Jiménez, C., Sanabria de Albarracín, N., Altuna, G., Alcano, M. (2011). Efecto de *Trichoderma harzianum* (Rifai) sobre el crecimiento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*. 28:1-10.
- Luna, R., Espinosa, K., Trávez, R., Ulloa, C., Espinoza, A., Bejarano, A. (2016). Respuesta de variedades de papa (*Solanum tuberosum*, L) a la aplicación de abonos orgánicos y fertilización química. *Ciencia y Tecnología*. 9(1):11-16
- Marín-Guirao, J., Rodríguez-Romera, P., Lupión-Rodríguez, B., Camacho-Ferre F. (2016). Effect of *Trichoderma* on horticultural seedlings growth promotion depending on inoculum and substrate type. *Journal of Applied Microbiology* 121:1095-1102.
- Martínez, B., Infante, D., Reyes, Y. (2013) *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal* 28(1):1-11.
- Manjurul, H., Ilias, G., Molla, A. (2012). Impact of *Trichoderma*-enriched Biofertilizer on the Growth and Yield of Mustard (*Brassica rapa* L.) and Tomato (*Solanum lycopersicon* Mill.). *The Agriculturists* 10(2): 109-119
- Mazhabi, M., Nemati, H., Rouhani, H., Tehranifar, A. (2010). Does *Trichoderma harzianum* really increase growth parameters in plants? *Research Journal of Biological Sciences* 5(11):739-744.
- Muñoz, J.M., Muñoz, J.A. Montes, C. (2015). Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayan, Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 13(1):73-82.
- Nzanza, B., Marais, D., Soundy, P. (2011). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedling growth and development as influenced by *Trichoderma harzianum* and arbuscular mycorrhizal fungi. *African Journal of Microbiology Research* 5(4):425-431.
- Osorio-Nila, M., Vásquez-García, L.; Salgado-Ciclan, M., Gonzáles-Esquivel, C. (2005). Efecto de dos enmiendas orgánicas y *Trichoderma* spp. para controlar *Sclerotinia* spp. en lechuga. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 11(2):203-208.
- Ozbay N., Newman S.E., Brown W.M. (2004). The effect of the *Trichoderma harzianum* strains on the growth of tomato seedlings. *Proc. XXVI IHC, Managing Soil-Borne Pathogens. Pakistan Journal of Biological Sciences* 7(2):253-257.
- Paca, J. (2009). Respuesta del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad chaucha a la aplicación de cuatro tipos de abono en tres dosis. Trabajo de grado, Mención Zonas Andinas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Disponible: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/343/1/13T0636%20.pdf>
- Romero-Lima, M., Trinidad-Santos, A., García, R., Ferrera, R. (2000). Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia* 34 (3):261-269.
- Shanmugaiyah, V., Balasubramanian, N., Gomathinayagam, S., Manoharan, P.T., Rajendran, A. (2009). Effect of single

application of *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* on growth promotion in cotton plants. African Journal of Agricultural Research 4(11):1220-1225.

Ulacio, D., Zavaleta, E., García, R., Delgadillo, F., Pedroza, A., Martínez A. (2003). Materia orgánica y microorganismos antagonistas como estrategias de manejo de *Sclerotium cepivorum* Berk. y su impacto en el progreso de la pudrición blanca del ajo (*Allium sativum* L.). Revista Mexicana de Fitopatología 21(3):346-354.

Villareal, W., Veintimilla, M. (2008). Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en el

rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* Linneo.) variedad chaucha en la zona de Tulcán, provincia del Carchi. Ecuador.

Zambrano, A. (2009). Evaluación de los abonos orgánicos, bocashi, compost y gallinaza sobre la producción de papa *Solanum tuberosum* L. en el municipio Jáuregui, estado Táchira. Trabajo de Maestría, Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

Zamora, F., Tua, D., Torres D. (2008). Evaluación de cinco fuentes orgánicas sobre el desarrollo vegetativo y rendimiento del cultivo de papa. Agronomía Tropical. 58(3):233-243.

AGROPECUARIA

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN LÍQUIDA O GRANULADA DE *TRICHODERMA* SPP. PARA PROMOVER EL CRECIMIENTO DE *ALLIUM CEPA* Y *LACTUCA SATIVA*EVALUATION OF THE LIQUID OR GRANULATED APPLICATION OF *TRICHODERMA* SPP. TO PROMOTE THE GROWTH OF *ALLIUM CEPA* AND *LACTUCA SATIVA*

Autores:

Roche, Laura; Vera, Rosa; Galvis, Johana; Moreno, Bridget

Laboratorio de Investigaciones Genéticas, Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Corresponding Author: bridgetmoreno099@gmail.com

RESUMEN

La etapa de semillero juega un papel importante para la obtención de plántulas de cebolla y lechuga con mayor vigor y resistencia a factores de estrés biótico y abiótico. Entre las bondades más importantes del género *Trichoderma* se encuentran la producción de plantas vigorosas, con mayor peso húmedo y seco y mejor desarrollo del sistema radical. Tomando en cuenta esta premisa, se planteó evaluar el efecto de dos métodos de aplicación de *Trichoderma* spp. como promotor de crecimiento en plántulas de cebolla y lechuga. Se evaluó el efecto *in vitro* para estos dos cultivos de 15 cepas de *Trichoderma* spp. sobre el porcentaje de germinación, crecimiento de cotiledones y radícula a los 7 días después de la germinación. Se seleccionaron las 3 mejores cepas por cultivo para una segunda fase en bandejas de siembra, donde se hicieron aplicaciones granuladas y líquidas de *Trichoderma* y se evaluó la altura de la plántula, longitud de tallo, materia seca aérea y radicular, comparándose con los testigos bajo un diseño bifactorial. No se logró observar un efecto significativo de *Trichoderma* spp. en la activación de la germinación de las semillas de cebolla y lechuga, pero con respecto al testigo (T), LIG048 (*T. longibrachiatum*) incrementó el crecimiento de la radícula de cebolla y LIG047 (*T. viride*) estimuló la parte aérea. Para la lechuga LIG006 (*T. koningii*) promovió el crecimiento de la radícula y LIG045 (*T. longibrachiatum*) el desarrollo de los cotiledones. Con respecto a la evaluación de la producción de plántulas en bandejas de siembra, LIG048, LIG047 Y LIG006 mostraron mayor potencial en la promoción de crecimiento de cebolla y lechuga. La aplicación granulada de cepas de *Trichoderma* mostró mayor efecto que la líquida sobre las variables biométricas. Por tal razón, el método granuloso se recomienda para las aplicaciones de *Trichoderma* spp. en la etapa de semillero.

ABSTRACT

The seedling stage plays an important role in obtaining onion and lettuce seedlings with greater vigor and resistance to biotic and abiotic stress factors. Among the most important benefits of the *Trichoderma* genus the production of vigorous plants is found, with greater humid and dry weight and better development of the root system. Taking into account this premise, the evaluation of the effect of two methods of application of *Trichoderma* spp was proposed as a growth promoter of onion and lettuce seedlings. The *in vitro* effect for those two cultures of 15 strains of *Trichoderma* spp. on the percentage of germination, growth of cotyledons and radicle was tested 7 days after germination. The best 3 strains per culture were selected for a second phase in seed trays where granular and liquid applications of *Trichoderma* were made and seedling height, stem length, aerial and radicular dry matter were evaluated and compared to the controls under a bifactorial design. It was not possible to observe a significant effect of *Trichoderma* spp on the germination activation of the onion and lettuce seeds; however, regarding the control (T), LIG048 (*T. longibrachiatum*), it increased the growth of the onion radicle while LIG047 (*T. viride*) stimulated the aerial part. For the lettuce, LIG006 (*T. koningii*) promoted the growth of the radicle and LIG045 (*T. longibrachiatum*) the development of cotyledons. For the evaluation of the production of seedlings in seed trays, LIG048, LIG047 and LIG006 showed a greater potential in the promotion of onion and lettuce growth. The granulated application of *Trichoderma* strains showed greater effect than the liquid on the biometric variables. For this reason, the granulated method is recommended for the applications of *Trichoderma* spp. in the seedling stage.

Palabras clave: *Trichoderma* spp., promotor, métodos de aplicación, cebolla, lechuga

Key words: *Trichoderma* spp., promoter, application methods, onion, lettuce.

INTRODUCCIÓN

Por tradición los productores utilizan diferentes tipos de siembra para sus cultivos, por ejemplo, la siembra directa, en la cual se deposita la semilla en el sitio definitivo del cultivo y, por otro lado, la de semillero, para semillas que requieren un mayor cuidado. Esto permite aprovechar mejor el espacio y atender de forma rápida y eficaz cualquier ataque de patógenos, además de seleccionar las mejores plántulas para optimizar el rendimiento (Stephen, 2014). Al hacerse énfasis en la producción de semillas sanas, se han desarrollado una serie de estrategias para intentar minimizar los efectos de las plagas y enfermedades; dentro de estas se pueden mencionar el uso de agentes microbiológicos, como es el caso del hongo *Trichoderma* spp. Este microorganismo es usado en la actualidad como un agente de biocontrol para protección contra diversos fitopatógenos (Elshahawy *et al.*, 2017); se asocia fácilmente con las plantas estableciendo simbiosis, activa la producción de sustancias beneficiosas en el sistema radical (Battaglia *et al.*, 2013), es capaz de producir sideróforos (ácido harzianico) responsable de actuar como biocontrolador y regulador del crecimiento (Vinale *et al.*, 2013; Dabiré *et al.*, 2016), lo que se traduce en la estimulación del crecimiento vegetativo, mejoras en los rendimientos y plantas más sanas (Rivas, 2006).

En el Laboratorio de Investigaciones Genéticas de la UNET (LIG) se cuenta con una colección de cepas nativas de *Trichoderma* provenientes de

diferentes partes del estado Táchira y del país que han demostrado su potencial como biocontroladoras, además de inducir la germinación de diferentes semillas y el crecimiento de plántulas en diferentes cultivos haciendo el papel de biofertilizantes. En esta investigación se planteó evaluar 15 cepas nativas de *Trichoderma* spp. como promotoras del crecimiento en plántulas de cebolla (*Allium cepa*) y lechuga (*Lactuca sativa*), comparando dos métodos de aplicación (granulado y líquido); esto debido a que los efectos del hongo, en muchas ocasiones, fallan en condiciones de semillero y campo, posiblemente como consecuencia del uso de métodos o formulaciones inapropiadas para la aplicación que se traducen en la pérdida de la viabilidad de las esporas (Elshahawy *et al.*, 2017); además, es necesario trabajar con aislados propios de las zonas de producción puesto que se respeta la adaptabilidad que ya poseen estos microorganismos. Se evaluó la germinación de las semillas, altura de la planta, longitud de las raíces, materia seca aérea y radical, con el fin de obtener plántulas más vigorosas, con sistemas radicales más desarrollados y que toleren mejor los ataques de patógenos.

MÉTODO

Material biológico. *Trichoderma* spp.

Se evaluaron 15 aislados de *Trichoderma* disponibles en el cepario de hongos del LIG-UNET, aislados de diferentes localidades del estado Táchira (Tabla 1).

Tabla 1: Identificación y procedencia de las cepas de *Trichoderma* spp.

Código	Cepa	Procedencia
LIG006	<i>Trichoderma koningii</i>	Municipio Rafael Urdaneta - Villa Páez
LIG041	<i>Trichoderma harzianum</i>	Municipio Vargas-Patio los Sánchez
LIG042	<i>Trichoderma atroviride</i>	Municipio Jauregui-Los Naranjos
LIG043	<i>Trichoderma asperellum</i>	Municipio Seboruco-Santa Filomena
LIG044	<i>Trichoderma harzianum</i>	Municipio Seboruco-El Ático
LIG045	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Municipio San Cristóbal-Los Castres
LIG046	<i>Trichoderma asperellum</i>	Municipio San Cristóbal-Palo Gordo
LIG047	<i>Trichoderma viride</i>	Municipio García de Hevia-Boca de Grita
LIG048	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Municipio García de Hevia-La Morusca
LIG049	<i>Trichoderma gamsii</i>	Municipio Panamericano - Los Cañitos
LIG050	<i>Trichoderma virens</i>	Municipio Panamericano-La Palmita
LIG051	<i>Trichoderma aureoviride</i>	Municipio Samuel Darío Maldonado-Fundo Don Simón
LIG052	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Municipio Samuel Darío Maldonado-Hernández
LIG053	<i>Trichoderma aureoviride</i>	Municipio Simón Rodríguez-Santa Lucía
LIG054	<i>Trichoderma asperellum</i>	Municipio Simón Rodríguez-Mesa Grande

Efecto de *Trichoderma* spp. en la germinación de semillas de cebolla (*Allium cepa*) y lechuga *Lactuca sativa*)

Se utilizaron semillas de cebolla (Híbrido Granex) y lechuga, las cuales fueron desinfectadas según los protocolos de Parra (2002) y Villavicencio (2011).

Multipliación y preparación del inóculo

Cada una de las cepas de *Trichoderma* fueron reactivadas por triplicado en medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) a 25 ± 2 °C, hasta transcurrir siete días. Después, se agregó a cada placa 50 ml de agua destilada estéril (ADE) y se enjuagó la superficie hasta obtener la suspensión madre a la cual se le midió la concentración de esporas con la cámara de Neubauer y, a partir de esta, se ajustó la suspensión a una concentración de 10^7 esporas ml^{-1} para la inoculación de las semillas.

Inoculación de semillas con *Trichoderma*

Las semillas se inocularon por inmersión durante 1 hora en la suspensión de esporas dispuestas en un Beaker de 50 ml. El agua se eliminó por filtración, luego se pasaron a placas de Petri con papel de filtro estéril para eliminar el exceso de humedad.

Prueba de germinación

Luego de desinfectar e inocular las semillas con la suspensión 10^7 esporas ml^{-1} , se colocaron 50

de cada cultivo en placas de Petri con papel de filtro estéril humedecido; como testigo se usaron 50 semillas sin inocular. Las placas de Petri se mantuvieron en oscuridad y en cámara húmeda hasta que las semillas comenzaron a germinar; posteriormente, fueron llevadas a condiciones de luz en el laboratorio de Fitopatología y se realizó una evaluación cada 24 horas durante 7 días, se hizo el conteo de las semillas germinadas por cada cápsula para cada uno de los tratamientos. Se tomaron al azar 10 plántulas por cada placa/tratamiento a las cuales se midió la longitud de la radícula y tallo. Para esta parte de la investigación se usó un diseño completamente aleatorizado con 15 tratamientos (15 cepas de *Trichoderma*) más el testigo y tres repeticiones por tratamiento y analizados mediante un ANOVA, tras previa comprobación de los supuestos del análisis de varianza. Se realizó la prueba de rangos múltiples (DUNCAN), empleando programa SPSS 10.0 – Windows, versión libre, para determinar las diferencias entre tratamientos.

Efecto de *Trichoderma* spp. sobre las variables biométricas en la producción de plántulas de cebolla y lechuga

Los tratamientos para esta etapa se presentan en la Tabla 2. Se evaluaron 2 métodos de aplicación de *Trichoderma*: líquido (L) y granulado (G) y su efecto sobre las siguientes variables: altura de la planta, longitud radicular, peso seco y fresco.

Tabla 2. Métodos de aplicación de *Trichoderma* spp. y su efecto sobre las variables biométricas en plántulas de cebolla y lechuga.

Cultivo	Forma de aplicación	Cepa de <i>Trichoderma</i>	Código
Cebolla	Granulado	LIG042	GC042
		LIG047	GC047
		LIG048	GC048
		Testigo sin <i>Trichoderma</i>	GCT
	Líquido	LIG042	LC042
		LIG047	LC047
		LIG048	LC048
		Testigo sin <i>Trichoderma</i>	LCT
Lechuga	Granulado	LIG006	GL006
		LIG047	GI047
		LIG049	GL049
		Testigo sin <i>Trichoderma</i>	LGT
	Líquido	LIG006	LL006
		LIG047	LL047
		LIG049	LL049
		Testigo sin <i>Trichoderma</i>	LLT

Preparación del inóculo de *Trichoderma* spp.

Medio líquido: Se preparó una suspensión de esporas (1×10^7 esporas ml^{-1}), aplicando 8 ml/pocillo de la dilución en cada uno de los tratamientos al momento de la siembra y, luego, una aplicación cada 8 días hasta la cosecha (Cordón y Bautista, 2017).

Medio Granulado: Se procedió a humedecer el sustrato con agua destilada estéril a capacidad de campo para luego ser mezclado con el granulado de *Trichoderma* (multiplicado en arroz dorado molido esterilizado) en proporción del 5 % hasta homogeneizar, luego se realizó una segunda aplicación en suspensión, 20 días después de la siembra (Cordón y Bautista, 2017).

Siembra: La siembra de la cebolla y lechuga se realizó en bandejas con sustrato comercial, se sembraron 20 semillas por tratamiento en un diseño completamente al azar, donde cada planta (unidad experimental) constituyó una repetición para cada uno de los tratamientos a evaluar. Para la siembra se dispuso de 4 tratamientos por bandeja para cada uno de los cultivos y para los dos métodos de aplicación, con un total de 16 tratamientos. El testigo fue sustrato sin inocular. Se tuvo en cuenta garantizar el riego para mantener la humedad en las bandejas. Las plántulas fueron cosechadas 40 días después de la siembra (DDS). Para la determinación de las variables biométricas: altura de la planta, longitud de las raíces, materia seca de la hoja y radical se tomaron al azar 10 plántulas por cada uno de los tratamientos de cada cultivo, se

lavarón las raíces evitando romperlas, se colocaron sobre papel Kraft y se procedió a medir con un vernier la altura (cm) y longitud de las raíces (cm), desde la base del tallo hasta la cofia de la plántula. Finalmente, se tomaron los datos sobre materia seca aérea y radical. Para el análisis de los resultados se utilizó el programa InfoStat, versión libre y se aplicó un análisis de varianza con un diseño bifactorial.

RESULTADOS

Efecto de *Trichoderma* spp. en la germinación de semillas de cebolla (*Allium cepa*) y lechuga (*Lactuca sativa*)

Porcentaje de germinación: Los porcentajes de germinación de las semillas de cebolla (C) no presentaron diferencias estadísticas significativas entre las mejores cepas (C042, C047, C048, C049) y con respecto al testigo (TC) ($P > 0,05$), aunque se observaron variaciones desde 5,33 % hasta 78 %, donde el tratamiento C042 (*T. atroviride*) produjo el mayor porcentaje (78 %), seguido de C048 (*T. longibrachiatum*) (73 %) y C049 (*T. gamsii*) (65 %); todos los demás mostraron valores por debajo del testigo (Ver Figura 1a). Para la lechuga (L) ($P < 0,05$) los valores de germinación oscilaron entre 44,67 % y 94 % correspondientes a los tratamientos L045 (*T. longibrachiatum*) y L041 (*T. harzianum*) respectivamente. Se observó cómo el tratamiento L041 (94 %) fue superior en germinación y fue estadísticamente similar a L006 (93,3 %) y al testigo (TL) (91,33 %), los demás estuvieron por debajo del tratamiento testigo (Figura 1b).

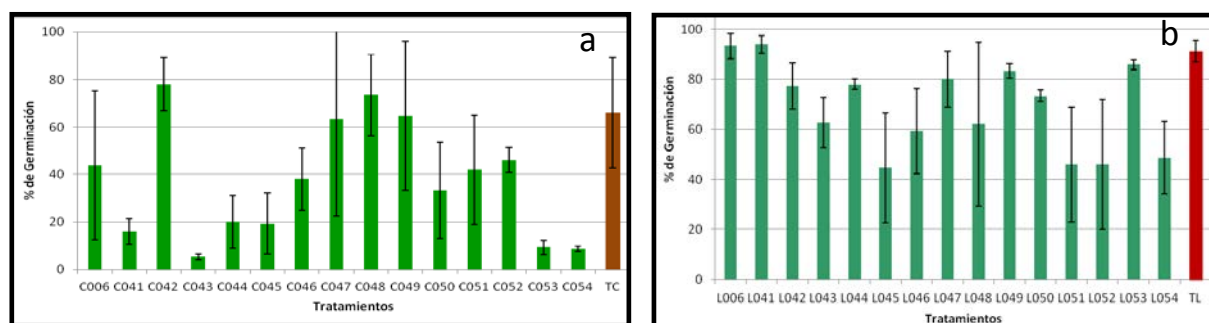


Figura 1. Efecto de *Trichoderma* spp. sobre la germinación de semillas de cebolla (a) y lechuga (b). Las evaluaciones fueron realizadas a los 7 días después de la siembra.

Longitud del cotiledón: Los datos de longitud del cotiledón para las semillas germinadas de cebolla (7 días después de la siembra) ($P < 0,05$) mostraron que C047 (2,97 cm) fue el mejor tratamiento para esta variable, seguido por C049 (2,48 cm), C053 (2,45 cm) y C054 (2,43 cm) con

las mejores respuestas respecto al testigo (1,06 cm) (Figura 2a). En el caso de la lechuga, los valores oscilaron entre 3,11 cm para la L045 y 0,45 cm con L050, en comparación con el tratamiento testigo con 2,29 cm de longitud del cotiledón (Figura 2b).

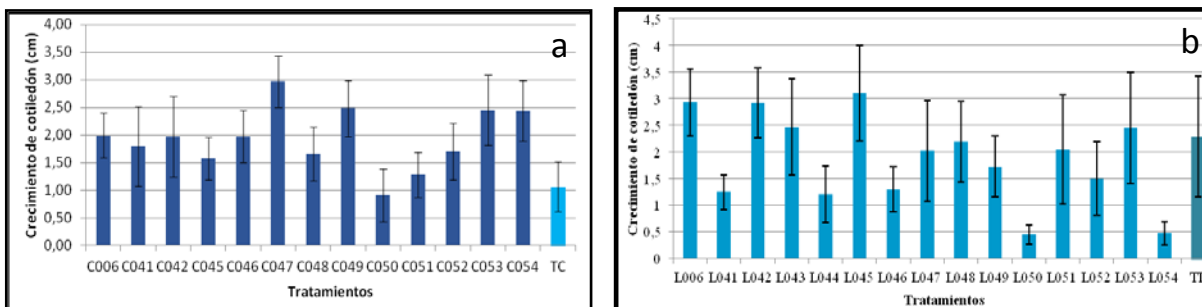


Figura 2. Efecto de *Trichoderma* spp. en el tamaño del cotiledón en cebolla (a) y lechuga (b). Las evaluaciones fueron realizadas a los 7 días después de la siembra.

Crecimiento de la radícula: El crecimiento de la radícula en la cebolla mostró diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos. Los valores variaron de 2,41 cm con el tratamiento C049 hasta 0,54 cm para C051. Seis tratamientos inoculados con *Trichoderma* spp. superaron el valor del testigo y 7 están por debajo de este (Figura 3a). En la lechuga, los resultados fueron significativamente diferentes

entre los tratamientos, con valores que variaron de 5,82 cm para el tratamiento L006 hasta 0,33 cm en L054. L006 (*T. koningii*) superó tanto al testigo como a los demás tratamientos, seguidos por L042, L048, L045, L043, L052, L044, L051, todos estos superiores al tratamiento testigo, el cual, a su vez, presentó mayor longitud radicular que las otras 7 cepas de *Trichoderma* evaluadas (Figura 3b).

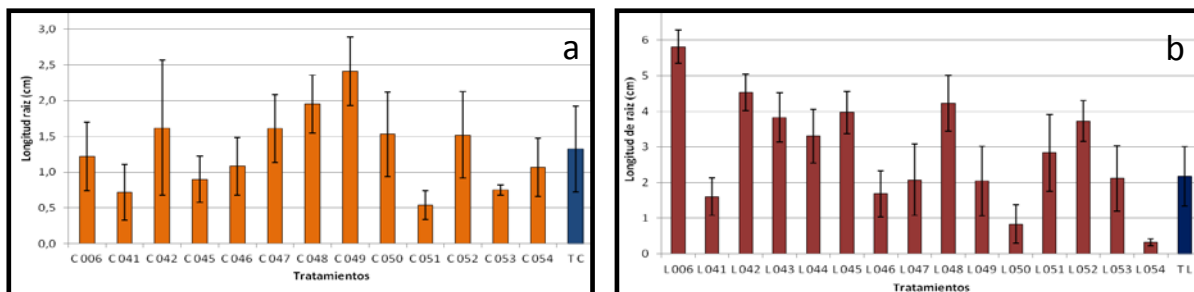


Figura 3. Efecto de *Trichoderma* spp. en el crecimiento de radícula en cebolla (a) y lechuga (b). Las evaluaciones fueron realizadas a los 7 días después de la siembra.

Después de evaluar los resultados de las diferentes variables estudiadas se seleccionaron para cada cultivo las cepas que mejor se comportaron con respecto a la germinación de semillas, crecimiento de radícula y crecimiento de cotiledón, con el fin de ser evaluadas en la

segunda fase. Estas fueron LIG042 (*T. atroviride*), LIG047 (*T. viride*) y LIG048 (*T. longibrachiatum*) para cebolla y LIG006 (*T. koningii*), LIG047 y LIG049 (*T. gamsii*) para lechuga.

Efecto de *Trichoderma* spp. sobre las variables biométricas en la producción de plántulas de cebolla y lechuga

Altura de la planta: Como se puede observar en la Figura 4a, hubo diferencias de altura (cm) entre los tratamientos evaluados para las plantas de cebolla, donde se encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) según la prueba de Kruskal Wallis. Al comparar las dos formas de aplicación de las tres cepas de *Trichoderma* la mayor altura se obtuvo con GC048 aplicado en forma

granulada (14,39 cm de altura), seguido por GC047 (12,53 cm), LC048 (12,25 cm) y GC042 (11,96 cm); estos tratamientos mostraron un incremento significativo respecto al testigo de cada método de aplicación GCT (9,42 cm) y LCT (10,20 cm). En lechuga, los mejores resultados se encontraron con la aplicación en la forma granulada ($P<0,05$), con valores más altos para LG006 (7,5 cm), seguido de LG047 (7,39 cm) y LG049 (6,5 cm). Los menores valores fueron para los testigos de cada tratamiento (Figura 4b).

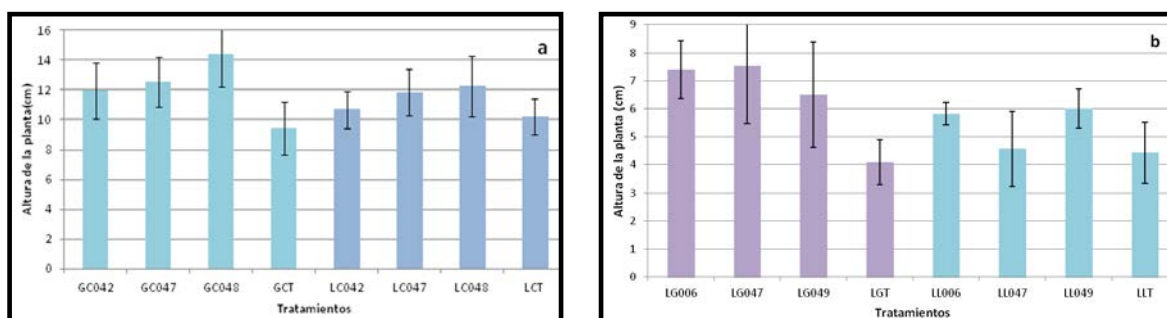


Figura 4. Efecto de dos métodos de aplicación de *Trichoderma* spp. en la altura de plántulas de cebolla (a) y lechuga (b). Las evaluaciones fueron realizadas a los 40 días después de la siembra.

Longitud de raíces: Los resultados para esta variable en el caso de la cebolla mostraron que la cepa LG048 provocó los mejores efectos en las dos formas de aplicación comparado con los respectivos testigos (GCT 4,91 cm y LCT 3,91 cm), siendo este mayor en el tratamiento granulada (GC048 6,95 cm) seguido por el líquido (LC048 6,60 cm). En tercer lugar, se ubicó el tratamiento LC047 y

con los menores valores GC042 (Figura 5a). Con respecto a la lechuga (Figura 5b), se pudo observar que el mejor tratamiento fue LG047 seguido de LG006 y LG049 y que el mejor método de aplicación fue el granulada. Por último, se ubicaron los tratamientos con las aplicaciones líquidas de *Trichoderma* con respecto a los tratamientos testigo.

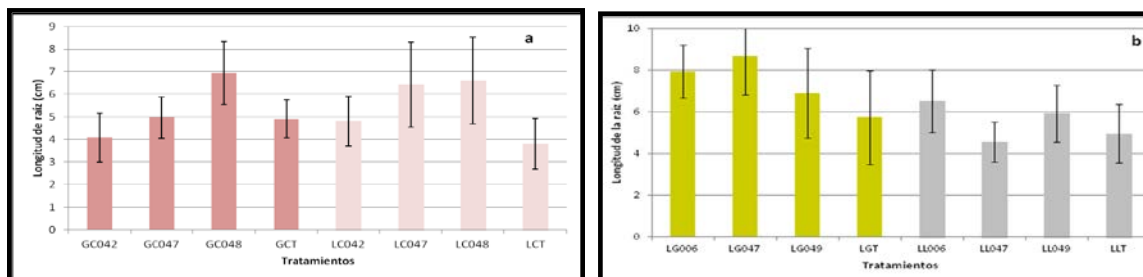


Figura 5. Efecto de 2 métodos de aplicación de *Trichoderma* spp. en la variable longitud de la raíz de plántulas de cebolla (a) y lechuga (b). Las evaluaciones fueron realizadas a los 40 días después de la siembra.

Materia seca de la hoja: No se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los

métodos de aplicación y las cepas evaluadas para la materia seca de la hoja en el caso de la

cebolla (Figura 6a). Por el contrario, sí se observó efecto para esta variable en el cultivo de lechuga ($P < 0,05$) según la prueba de comparación de medias (Tukey), puesto que se encontró que los tratamientos LG006 (13,19 mg) y LG047 (11,89 mg), con la formulación granulada, fueron los mejores comparados con el testigo y con los demás métodos de aplicación (Figura 6b).

Materia seca de la parte radical: Al analizar los resultados de la variable materia

seca de la raíz de plántulas de cebolla (Figura 7a), no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) para los métodos de aplicación (granulado y líquido) con las cepas de *Trichoderma* spp. evaluadas. Para la lechuga, sí se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($< 0,05$). Cabe señalar que el método de aplicación granulada de *Trichoderma* superó a la aplicación líquida así como a los testigos, destacándose los tratamientos LG047 y LG049 (Figura 7b).

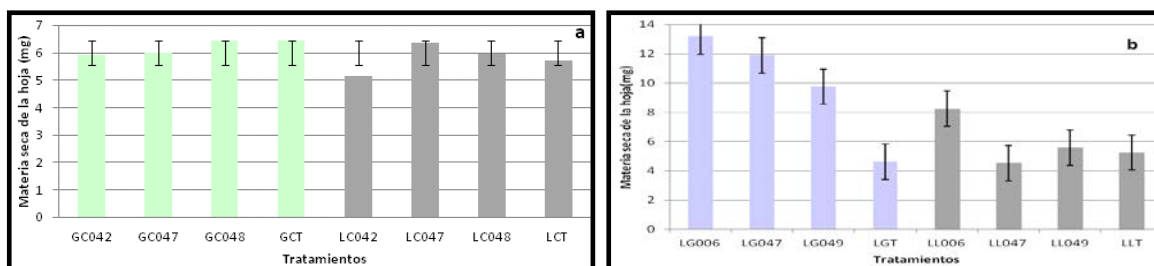


Figura 6. Efecto de 2 métodos de aplicación de *Trichoderma* spp. sobre materia seca de la hoja de plántulas de cebolla (a) y lechuga (b). Las evaluaciones fueron realizadas a los 40 días después de la siembra.

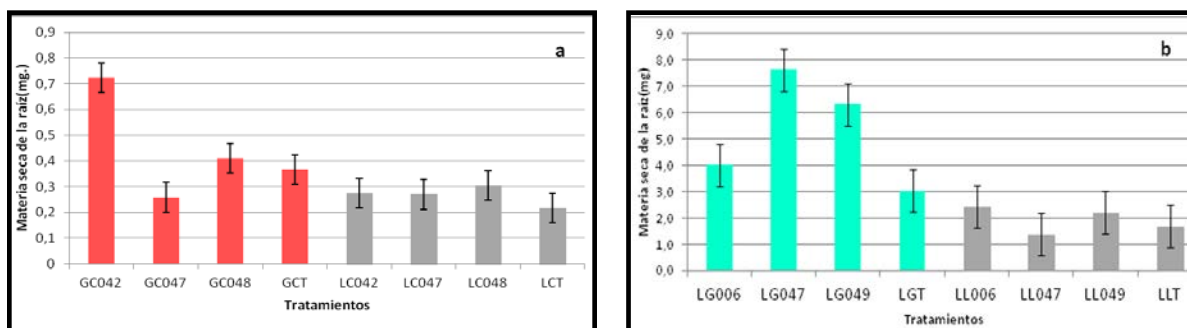


Figura 7. Efecto de 2 métodos de aplicación de *Trichoderma* spp. sobre materia seca radical de plántulas de cebolla (a) y lechuga (b). Las evaluaciones fueron realizadas a los 40 días después de la siembra.

DISCUSIÓN

Efecto de *Trichoderma* spp. en la germinación de semillas de cebolla (*Allium cepa*) y lechuga (*Lactuca sativa*)

Porcentaje de germinación, longitud del cotiledón y crecimiento de la radícula: Los resultados de esta investigación para estos tres parámetros fueron concluyentes, puesto que no se observaron diferencias significativas entre aplicar o no las cepas del

hongo *Trichoderma* spp. para el porcentaje de germinación, pero sí se manifestaron para la longitud del cotiledón y crecimiento de la radícula. Resultados similares fueron encontrados por Cervantes *et al.* (2009), quienes no encontraron diferencias significativas en la germinación entre la aplicación de *Trichoderma* y el testigo en semillas de cebolla *Allium cepa* L; sin embargo, estos resultados no coinciden con los que reportaron Hanci *et al.* (2014) quienes observaron hasta 92 % de semillas

germinadas con una dosis de $2,5 \times 10^6$ esporas ml^{-1} . Ningún efecto fue observado en la germinación de semillas de lechuga al ser inoculadas con *T. harzianum* (Bal y Altintas, 2008). Esta misma tendencia fue obtenida por Camargo y Ávila (2014) en semillas de arveja (*Pisum sativum*) y arroz (Núñez y Pavone, 2014). En cuanto a la longitud del cotiledón y longitud de la radícula el efecto encontrado para las plántulas de cebolla y lechuga inoculas con *Trichoderma* spp. concuerda con Yadagiri *et al* (2017) y Caporale *et al.* (2014) para la cebolla y lechuga respectivamente, ya que pudieron observar el efecto positivo de este microorganismo para estimular el desarrollo de las plántulas en estos dos cultivos. Payghami *et al.* (2001) y Rabeendran *et al.* (2000) encontraron que *T. viride*, *T. harzianum* y *T. longipile* fueron efectivos y produjeron mayor desarrollo y crecimiento vegetativo y radicular de plántulas de cebolla y lechuga.

Vallazo *et al.* (2013) observaron mayor índice de efectividad de la cepa *T. viride* en estimular la longitud del tallo a los 20 días después de aplicar el tratamiento; Núñez y Pavone (2014) encontraron que el tratamiento TV72 (*T. harzianum*) indujo el crecimiento radicular en 15,09 ($\pm 1,52$ cm) superando al tratamiento testigo con (11,10 $\pm 1,52$ cm). Según investigaciones realizadas por Santos, (2013) el mayor efecto en elongación de la radícula en semillas de tomate fue obtenido con las inoculadas con *T. longibrachiatum* y Vazallo *et al.* (2013), indicaron que las semillas de *Capsicum annum* var. *longum* que fueron tratadas con *T. viride* obtuvieron un incremento en la longitud de las raíces tratadas con este hongo.

Efecto de *Trichoderma* spp. sobre las variables biométricas en la producción de plántulas de cebolla y lechuga

Altura de la planta: *T. longibrachiatum* y *T. koningii* aplicados como granulado incorporado al sustrato, fueron las dos especies que indujeron mayor altura en cebolla y lechuga, respectivamente. Estos

resultados son comparables con los obtenidos por Elshahawy *et al.* (2017) puesto que la aplicación de *Trichoderma* spp. formulado en polvo de salvado de trigo influyó en la altura promedio de la planta (control: 43.4 cm, *Trichoderma* sp: desde 50.4 a 63.1 cm), siendo *T. harzianum* la que produjo mejor efecto. Candelero *et al.* (2015) demostraron que *Trichoderma* spp. influyó en el crecimiento de plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. con las cepas nativas Th05-02, Th27-08, Th09-06, Th02-01 y Th07. Del mismo modo, Cruz (2011), en semillas de tomate, demostró que la aplicación de *Trichoderma* y humus de lombriz sin esterilizar + *T. harzianum* fueron las mejores combinaciones para estimular la elongación de la planta.

Longitud de las raíces: Rossi *et al.* (2015) demostraron que *Trichoderma* sp. aumentó el índice mitótico de raíces de cebolla y, por ende, su elongación, evidenciado por la estimulación en la producción del número de células en diferentes estados de la división celular. Otros autores han encontrado resultados positivos con la aplicación de *Trichoderma* a las plántulas de pimentón, tomate y otras hortalizas (Vazallo *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2011). Candelero *et al.* (2015) demostraron que la aplicación de las cepas nativas de *Trichoderma* Th07-04, Th02-01 y Th05-02 lograron aumentar la longitud de las raíces de pimiento (10,69 cm) con relación al testigo (8,25 cm). Ortuño *et al.* (2013) estudiaron el potencial de los metabolitos secundarios producidos por *Trichoderma* sp. para promover el crecimiento radicular de *Lactuca sativa*, encontrando que los tratamientos 3 (BP-T0001-BPT0029), 4 (BPT0006-BPT0028), 7 (BP-T0007-BPT0024), junto con un cultivo individual I (BP-T0028), fueron las mejores cepas promotoras del largo de la raíz. Según los resultados del presente trabajo se observó que el método granulado (G) superó a la aplicación en forma líquida de *Trichoderma* para estimular los parámetros altura de las plántulas y longitud de la raíz. Esto demuestra que dicha aplicación permitió que

el hongo se propagara más fácilmente al ser mezclado de forma directa con el sustrato, colonizándolo antes de que se desarrolle la raíz de las plantas y permaneciendo su efecto en el tiempo.

Materia seca de la hoja y raíz: No se encontraron efectos para estas dos variables en las plántulas de cebolla inoculadas con el hongo *Trichoderma* spp., pero sí se presentaron diferencias significativas al aplicarlo en lechuga, ya que la formulación granulada de *T. viride* estimuló la producción de la materia seca de hojas y raíces en este cultivo. Resultados similares fueron los que Caporale *et al.* (2014) observaron al usar *T. harzianum* y *T. atroviride* en plantaciones de lechuga cultivadas en suelos contaminados con arsénico. Según Payghami *et al.* (2001) *T. viride* y *T. harzianum* incorporados al suelo en formulaciones de salvado de trigo, incrementaron la materia fresca de plantas de cebolla entre 20 y 33 %, respectivamente, en relación con el testigo. Jiménez *et al.* (2011) no encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) al aplicar *T. harzianum* en la producción de materia seca aérea de plántulas de tomate, pero sí en la materia seca radical, haciendo ver la capacidad de esta especie en aumentar la biomasa de esta parte de la planta. Galeano *et al.* (2002) encontraron diferencias significativas para materia seca de hojas en plántulas de tomate y pimiento con la aplicación de *T. harzianum* en los primeros estados de la planta, pero para pepino no se registró diferencias con el testigo.

Aunque el objetivo de la presente investigación no fue determinar el mecanismo que emplean las cepas nativas como se hizo en esta investigación, se reconoce que la promoción de crecimiento estimulada por este género se puede explicar por diferentes vías: la producción de compuestos relacionados con las auxinas (Acido Indol Acético, Indol-3-Acetaldehído, Indol-3-Etanol), conversión de fosfatos insolubles a solubles, síntesis de fitoalexinas, entre otras (Dabiré *et al.*, 2016). Queda para un futuro dilucidar por cuál

mecanismo se desenvuelven las usadas en este trabajo.

CONCLUSIONES

No se logró observar el efecto de la aplicación de *Trichoderma* spp. en la germinación de semillas de cebolla y lechuga respecto al tratamiento testigo.

La evaluación de la germinación *in vitro*, no representa un indicador eficiente para la selección de cepas con potencial como promotor de crecimiento en cultivos.

La cepa LIG049 (*T. longibrachiatum*) incrementó el crecimiento de la radícula de cebolla, mientras que la cepa LIG047 (*T. viride*) estimuló el crecimiento de la parte aérea.

Para la lechuga la cepa LIG006 (*T. koningii*) promovió de forma eficiente el crecimiento de la radícula, mientras que la cepa LIG045 (*T. longibrachiatum*) el desarrollo de los cotiledones.

La aplicación granulada de las cepas de *Trichoderma* mostró mayor efecto que la aplicación líquida sobre las variables biométricas de plántulas de cebolla y lechuga. Las cepas que indujeron en forma significativa el desarrollo de las plántulas de cebolla y lechuga fueron, en la formulación granulada aplicada al sustrato, la LIG048 (*T. longibrachiatum*), LIG006 (*T. koningii*) y LIG047 (*T. viride*).

REFERENCIAS

- Bal, U., Altintas, S. (2008). Effects of *Trichoderma harzianum* on lettuce in protected cultivation. Journal Central European Agriculture. 9(1): 63-70
- Battaglia, D., Bossi, S., Cascone, P., Digilio, M., Prieto, J., Fanti, P., *et al.* (2013). Tomato below ground-above ground interactions: *Trichoderma longibrachiatum* affects the performance of *Macrosiphum euphorbiae* and its

- natural antagonists. *Mol Plant Microbe Interact*, 26:1499-599.
- Camargo, D. y Ávila, E. (2014). Efectos del *Trichoderma* sp. sobre el crecimiento y desarrollo de la arveja (*Pisum sativum* L.). *Revista Ciencia y Agricultura*. 11(1): 91-100.
- Candelero, D., Cristóbal, A., Reyes, R., Tun, S., Gamboa, A. y Ruiz, S. (2015). *Trichoderma* spp. promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagónicas contra *Meloidogyne incognita*. *Revista FYTON* 84. 113-119.
- Caporale, A., Sommella, A., Lorito, M., Lombardi, N., Azam, S., Pigna, M. y Ruocco, M. (2014). *Trichoderma* spp. alleviate phytotoxicity in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) irrigated with arsenic-contaminated water. *Journal of Plant Physiology*. 171: 1378-1384.
- Cervantes, L., Moreno J., Pulido, A., Ceceña, C., González, D., Grimaldo, O., Gutiérrez, A. (2009). Uso de *Trichoderma* sp. para el control de la pudrición radicular en cebolla. X Simposium Internacional y V Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 8pp.
- Cordón, E., Bautista, L. (2017). Efecto de *Trichoderma harzianum*, *Metarhizium anisopliae* y *Bacillus subtilis* en la promoción del crecimiento de plántulas de tomate y pimentón. Trabajo de Pregrado. Universidad Nacional Experimental del Táchira. República Bolivariana de Venezuela.
- Cruz, F. (2011). Humus de Lombriz y *Trichoderma harzianum* como promotores de crecimiento en semillas orgánicas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis de pregrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Dabire, T., Bonzi, S., Somda, I., Legreve, A. (2016). Evaluation of the Potential of *Trichoderma harzianum* as a plant growth promoter and biocontrol agent against *Fusarium* Damping-off in onion in Burkina Faso. *Asian Journal of Plant Pathology*, 10: 49-60.
- Elshahawy, E., Saied, N., Abd-El-Kareem, F., Morsy, A. (2017). Biocontrol of onion white rot by application of *Trichoderma* species formulated on wheat bran powder. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, DOI: 10.1080/03235408.2016.1276423.
- Galeano, M., Méndez, F., Urbaneja, A. (2002). Efecto del *Trichoderma harzianum* Rifai (CEPA T-22) sobre cultivos hortícolas. *Koppert Biological Systems*.
- Hanci, F., Cebeci, E., Polat, Z. (2014). The Effects of *Trichoderma harzianum* on germination of Onion (*Allium cepa* L.) Seeds. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 7 (1): 45-48.
- Jiménez, C., de Albarracín, N., Altuna, G., Alcano, M. (2011). Efecto de *Trichoderma harzianum* (Rifai) sobre el crecimiento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). *Rev. Fac. Agron. (Luz)*, 28, 1-10.
- Núñez, L., Pavone, D. (2014). Tratamiento biológico del cultivo de arroz en condiciones de vivero empleando el hongo *Trichoderma* spp. *Interciencia*. 39(3): 185-190.
- Ortuño, N., Miranda, C., Claros, M. (2013). Selección de cepas de *Trichoderma* spp. generadoras de metabolitos secundarios de interés para su uso como promotor de crecimiento en plantas cultivadas. *J. Selva Andina Biosph.* 1(1):16-24.
- Parra, C. (2002). Evaluación de *Trichoderma* spp. como agente inductor del desarrollo vegetativo y biocontrol de patógenos del suelo en pimentón (*Capsicum annum*). Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Experimental del Táchira. República Bolivariana de Venezuela.
- Payghami, E., Massiha, S., Ahary, B., Valizadeh, M., Motallebi, A. (2001). Enhancement of growth of onion (*Allium cepa* L.) by biological control agent *Trichoderma* spp. *Acta Agronómica Hungarica*. 49(4): 393-395.

- Rabeendran, N., Moot, D., Jones, E., Stewart, A. (2000). Inconsistent growth promotion of cabbage and lettuce from *Trichoderma* isolates. *New Zealand Plant Protection* 53:143-146.
- Rivas, J. (2006). Evaluación de diferentes vehículos para la incorporación de *Trichoderma* spp. en un biofertilizante líquido. Tesis pregrado. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal. República Bolivariana de Venezuela. 59 p.
- Rossi, A., Aguiar, D., Tedesco, B., da Silva, A. Biosci. (2015). Efeito de metabólitos produzidos por *Trichoderma* spp. sobre o índice mitótico em células das pontas de raízes de *Allium cepa*. J., Biosci. J., Uberlandia. 31(3): 934-940.
- Santos, J. (2013). Cepas de *Trichoderma* spp. con capacidad para la disolución de fosfatos inorgánicos. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal. República Bolivariana de Venezuela.
- Stephen, J. (2014). Starting The Garden With Transplants. [en línea]. Horticultural Sciences Department, UF/IFAS Extension. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu>. [consulta: 09 de enero 2018].
- Vazallo, S., Terrones, L., Toro, L., Zárate, B., Soriano, B. (2013). Efecto de la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride* sobre el crecimiento aéreo y radicular de *Capsicum annum* var. *longum*. *Revista científica de estudiantes, Rebiolest*. 1(1): 11-21
- Villavicencio, M. (2011). Evaluación de *Trichoderma* spp. como promotor de crecimiento de *Solanum lycopersicum* y antagonista de *Fusarium* sp. Tesis de pregrado. Universidad Nacional experimental del Táchira. San Cristóbal. República Bolivariana de Venezuela.
- Vinale, F., Nigro, M., Sivasithamparam, K., Flematti, G., Ghisalberti, E., Ruocco, M., et al. (2013). Harzianic acid: a novel siderophore from *Trichoderma harzianum*. *FEMS Microbiol Lett*, 347:123-129.
- Yadagiri, J., Kumar, P., Tiwari, R., and Singh, V. (2017). Improvement of growth and yield of Onion (*Allium cepa* L.) cv. Agrifound Light Red through different application methods of gibberellic acid and *Trichoderma viride*. *Int. J. Pure App. Biosci*. 5(4): 1444-1450.

AGROPECUARIA

EFFECTO DE EXTRACTOS ETANÓLICOS DE *Cymbopogon citratus* Y *Lippia micromera* SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO DE *Alternaria* sp.EFFECT OF ETHANOLIC EXTRACTS OF *Cymbopogon citratus* AND *Lippia micromera* OVER VEGETATIVE AND REPRODUCTIVE GROWTH OF *Alternaria* sp.**Autores:****Escalante, Marlyn; Briceño, Tito; Barbosa, Alexandro**

Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela.

Corresponding Author: mescalan@unet.edu.ve**RESUMEN**

Alternaria sp. es el agente causal del tizón temprano, la cual es una de las enfermedades más frecuentes en los cultivos de hortalizas en el mundo, afectando principalmente la parte aérea de las plantas. A fin de disminuir su efecto perjudicial sobre los cultivos con mínima afectación al ambiente, se evaluó el efecto *in vitro* de extractos etanólicos (EE) de *Lippia micromera* y *Cymbopogon citratus* sobre el patógeno. Se secaron a la sombra hojas sanas de ambas especies, se molieron y se maceraron en etanol al 96% por 48 horas, luego se obtuvo el EE con rotoevaporador. El patógeno fue cultivado en medio Papa-Zanahoria por quince días, se transfirieron discos de 9 mm de diámetro a cápsulas de Petri con 15 ml de medio en concentraciones de 1 y 3 % para cada EE, más un testigo absoluto con cinco repeticiones. Luego, se incubaron en condiciones de 12 horas luz y 12 horas oscuridad a 24 ± 2 °C hasta que el testigo llenó por completo las cápsulas. Se midió crecimiento micelial, producción y germinación de esporas sanas expuestas a la acción de los tratamientos. Todos los tratamientos lograron disminuir el crecimiento micelial, consiguiéndose inhibición total del hongo en el tratamiento de EE de *L. micromera* al 3% durante los 22 días de evaluación, determinándose posteriormente su efecto fungicida sobre el patógeno. Todos los tratamientos afectaron la viabilidad en las esporas sanas expuestas al EE destacándose *L. micromera* al 3% con pérdida total de la viabilidad, siendo similar estadísticamente a *C. citratus* al 3% con 8% de germinación (Testigo 85,23%). El uso de extractos etanólicos de ambas plantas a una concentración adecuada, se presenta potencialmente eficiente para el control del tizón temprano en cultivos de hortalizas.

ABSTRACT

Alternaria sp. is the causal agent of early blight, one of the most frequent diseases in vegetable crops in the world, mainly affecting the aerial part of the plants. In order to decrease its detrimental effect on crops with minimal impact on the environment, the *in vitro* effect of ethanol extracts (EE) of *Lippia micromera* and *Cymbopogon citratus* over the pathogen was evaluated. Healthy leaves of both species were dried in the shade, then grounded and macerated in ethanol at 96% for 48 hours; then, EE was obtained with rotoevaporator. The pathogen was cultivated in potato-carrot medium for fifteen days, discs of 9 mm diameter were transferred to Petri dishes with 15 ml of medium in concentrations of 1 and 3% for each EE plus an absolute control with five repetitions. Then, they were incubated under conditions of 12 light hours and 12 hours dark at 24 ± 2 °C until the control completely filled the capsules. Mycelial growth, production and germination of healthy spores exposed to the action of the treatments were measured. All treatments were able to inhibit mycelial growth, achieving total inhibition of the fungus in the treatment of EE of *L. micromera* at 3% during the 22 days of evaluation, subsequently determining a fungicidal effect over the pathogen. All the treatments affected the viability in healthy spores exposed to EE, *L. micromera* standing out at 3% with total loss of viability, being statistically similar to *C. citratus* at 3% with germination of 8% (Witness 85.23%). The use of ethanolic extracts of both plants at an adequate concentration is potentially efficient for the control of early blight in vegetable crops.

Palabras clave: extractos, etanólicos, *Lippia*, *Cymbopogon*, *Alternaria*.**Key words:** extracts, ethanolic, *Lippia*, *Cymbopogon*, *Alternaria*

INTRODUCCIÓN

El tizón temprano, causado por el hongo *Alternaria* sp, es una enfermedad muy común en muchos tipos de plantas, es principalmente patógeno de las Solanáceas, también se ha registrado sobre especies de *Brassica* y otras especies de hortalizas. Se considera de mayor importancia en países como: Estados Unidos, Australia, Israel, Reino Unido e India, con reducciones de rendimiento que oscilan entre el 35 y 78%. Este patógeno puede afectar tanto a plántulas, como a plantas adultas, flores y frutos (Agrios, 2005).

El control de esta enfermedad representa altos costos en la producción y pérdidas elevadas; por lo que, se hace patente la necesidad de investigar y desarrollar nuevos controles con el fin de disminuir la severidad de la enfermedad. En este caso, el control con extractos etanólicos, contrarrestan los diversos problemas de contaminación que causan los agroquímicos, ya que su uso genera menos contaminación al ambiente y disminuye costos de la producción (Sanabria *et al.*, 2006; Cortés, 2008).

Esta investigación, se llevó a cabo con el fin de evaluar el efecto *in vitro* de extractos etanólicos de orégano (*Lippia micromera* Schauer) y limonaria (*Cymbopogon citratus* Stapf) sobre *Alternaria* sp. evidenciando así la posibilidad implementación de novedosas alternativas como ésta en el manejo integrado de plagas en rubros agrícolas.

MÉTODO

Se utilizó una cepa de *Alternaria* sp, seleccionada del Cepario del Laboratorio de Investigaciones Genéticas UNET, de código: (LIG036) procedente de Barrio el Rio, municipio San Cristóbal, estado Táchira, aislado de hojas de plantas de tomate.

Las colectas de hojas de *C. citratus*, se realizaron en el municipio Libertad, parroquia Manuel Felipe Rúgeles, sector Pata de Gallina y las hojas de orégano (*L. micromera*), se colectaron en el municipio Independencia, sector el Molino del estado Táchira.

Para la preparación de los extractos etanólicos, se tomaron las hojas sanas de ambas especies y se secaron en la sombra, a 25 ± 2 °C. El material vegetal seco, se molió en una licuadora convencional y se depositó en frascos agregando etanol al 96% hasta cubrir todo el contenido. Seguidamente, se dejaron macerar por 48 horas en oscuridad. Finalmente este material, se filtró en cuatro (4) capas de gasa y se colocó en un roto evaporador Brinkmann MR a 70 °C para obtener los extractos etanólicos, los cuales se mantuvieron en frascos de ámbar y en refrigeración hasta su uso (Rodríguez y Sanabria, 2005). En la maceración, se utilizaron aproximadamente 1000 ml de etanol para cada 300 g de hojas molidas y el rendimiento de extracto obtenido, luego de la recuperación del solvente, fue de 20,2% para *C. citratus* y 14,3% para *L. micromera*.

Se cultivó el aislamiento de *Alternaria* sp. en Papa-Zanahoria por quince días. Luego, se transfirieron discos con micelio de 9 mm de diámetro a las cápsulas de Petri que contenían 15 ml del medio, más extractos etanólicos de *L. micromera* en concentraciones de 1 % (T1) y 3 % (T2) y de *C. citratus* en concentraciones de 1 % (T3) y 3 % (T4) (Zapata *et al.*, 2003) más un testigo absoluto (T0). Se realizaron cinco (5) repeticiones por tratamiento y se incubaron en condiciones de 12 horas luz, y 12 horas de oscuridad a 24 ± 2 °C.

Crecimiento micelial y esporulación

La evaluación para determinar si ocurría o no inhibición del crecimiento micelial, se realizó modificando la metodología de Zapata *et al.* (2003), midiendo diariamente el diámetro de la colonia del hongo hasta que el tratamiento testigo llenó por completo las cápsulas de Petri. Este ensayo, se realizó bajo un diseño completamente al azar y los datos fueron analizados mediante análisis de medidas repetidas. Además, se observó la ocurrencia de formación de esporas del patógeno en cada tratamiento.

Viabilidad de esporas

Aislamientos de *Alternaria* sp. de 22 días de edad, producidos en papa-zanahoria, se lavaron con 10 ml agua destilada estéril (ADE). Esta suspensión, se colocó en un tubo de ensayo y se le agregó Tween 80 al 0,1%. Se agitó en un vortex durante un minuto y de esta forma quedó preparada la solución madre (10^0) de la que se tomó 1 ml y se vertió sobre 9 ml de diluciones en ADE de extractos etanólicos de *L. micromera* en concentraciones de 1 % (T1) y 3 % (T2) y de *C. citratus* en concentraciones de 1 % (T3) y 3 % (T4) y se dejó en reposo por 5 min, 12 h y 24 h. Transcurridos estos tiempos, se tomaron 10 μ l y se colocaron en cápsulas de Petri con Agar-agua al 1,5% sin acidificar, a razón de 5 alícuotas por cápsula y se incubaron alrededor de 24-26°C durante 12 horas. Pasado el tiempo de incubación, se aplicó una gota de lactofenol con azul de algodón a cada alícuota con el propósito de detener la germinación y a la vez teñir las esporas del hongo. Luego, se cortó el medio de cultivo conteniendo las esporas del hongo y se colocó sobre una lámina portaobjetos, se cubrieron con un cubreobjetos y se realizó posteriormente la observación con el objetivo de 40X contando esporas (germinadas y no germinadas) en cada alícuota. Con los datos obtenidos, se calculó el porcentaje de germinación con la siguiente fórmula: % de germinación/cápsula = (N° esporas germinadas / N° esporas contadas*100). Este ensayo, se analizó mediante una prueba de contraste múltiple y posteriormente un análisis de varianza, con un nivel de significación del 95%.

Determinación del efecto fungistático o fungicida

En aquellas placas de evaluación de crecimiento vegetativo que no presentaron ningún crecimiento micelial (en las cuales se asume que existe efecto fungistático), se realizó esta prueba, que consistió en transferir los discos con micelio a medios de cultivo de papa-zanahoria sin extracto, éstos se incubaron a 25 °C durante once (11) días y posteriormente se evaluó el desarrollo de las colonias, considerando un efecto fungicida en aquellos que no presentaron crecimiento del hongo (García-Camarillo *et al.*, 2006).

RESULTADOS

Crecimiento micelial y esporulación

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, observándose un comportamiento diferencial de todos los tratamientos respecto al testigo con menor crecimiento micelial por efecto los extractos de *L. micromera* y *C. citratus*. Así mismo, el extracto de *L. micromera*, al 3% (T2), inhibió completamente el crecimiento de la colonia. Con el extracto de *C. citratus*, al 3% (T4), se observó inhibición hasta el día 10 a partir del cual, se presentó crecimiento del micelio, pero a menor tasa que los demás tratamientos. Los extractos de *L. micromera* 1% (T1) y *C. citratus*, al 1% (T3), mostraron un comportamiento similar mostrando una considerable inhibición al compararlos con el tratamiento control. En estos tratamientos se apreciaron cambios en la coloración de las colonias variando desde tonos marrón grisáceo hacia marrón claro- blanco (Figura 1).

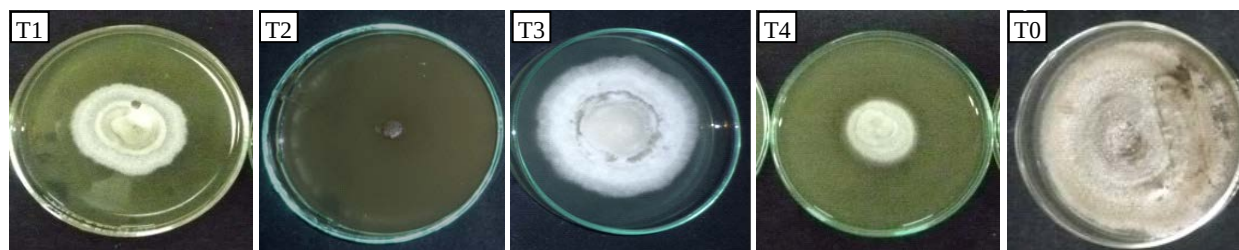


Figura 1. Crecimiento micelial de *Alternaria* sp, sobre medios con diferentes concentraciones de extractos etanólicos de *Lippia micromera* al 1% (T1) y 3% (T2); *Cymbopogon citratus* al 1% (T3) y 3% (T4) y Testigo (T0). 22 días luego de la siembra.

A pesar de que tres de los tratamientos estudiados ocurrió crecimiento micelial, ninguno permitió la formación de esporas.

Al realizar el análisis estadístico, se determinó que existe diferencia significativa entre los tratamientos superando todos al testigo. En la

prueba de contraste múltiple se formaron 4 grupos sobresaliendo el T2 (*L. micromera* 3%) con una respuesta efectiva en la inhibición del patógeno y T0(0%) que representa el crecimiento del patógeno sin restricciones (Figura 2).

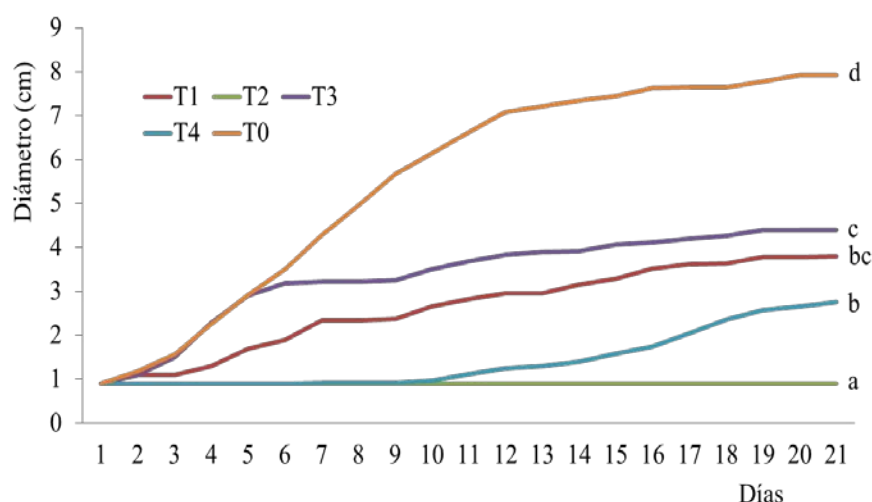


Figura 2. Crecimiento micelial (diámetro) en tiempo (cm/día) de *Alternaria* sp., desarrollándose sobre medios con diferentes concentraciones de extractos etanólicos de *Lippia micromera* al 1% (T1) y 3% (T2); *Cymbopogon citratus* al 1% (T3) y 3% (T4) y Testigo (T0). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

Viabilidad de esporas

Cuando se sumergieron las esporas sanas en las diferentes concentraciones de extractos etanólicos, se visualizó una disminución en la germinación de esporas del patógeno estudiado y diferencias significativas entre los tratamientos respecto al testigo, en los tres tiempos establecidos en la metodología. El extracto de *L. micromera* al 3% (T2) inhibió en su totalidad la germinación de las esporas para los tres tiempos. Para el tratamiento T4 (3% de *C. citratus*), se observó un control efectivo en la germinación de las esporas en el tiempo 3, observándose menor germinación en T3 (1% de *C. citratus*). En los tiempos 2 y 3, para el T1 (*L. micromera* al 1%),

se evidenció mayor germinación a mayor tiempo de exposición. Sin embargo, en el análisis de varianza para el diseño anidado, se determinó que el tiempo fue un factor no relevante ($P\text{-valor} = 0,7496$) por lo que se realizó un análisis de mínima diferencia significativa para las variables: extracto y concentración encontrándose diferencia de todos los tratamientos comparados con T0 (0%) excepto T1 (*L. micromera* 1%), presentándose también una similitud estadística entre T2 (*L. micromera* 3%) y T4 (*C. citratus* 3%), obteniéndose para estos dos tratamientos un mejor efecto comparado con T3 (*C. citratus* 1%) (Figura 3).

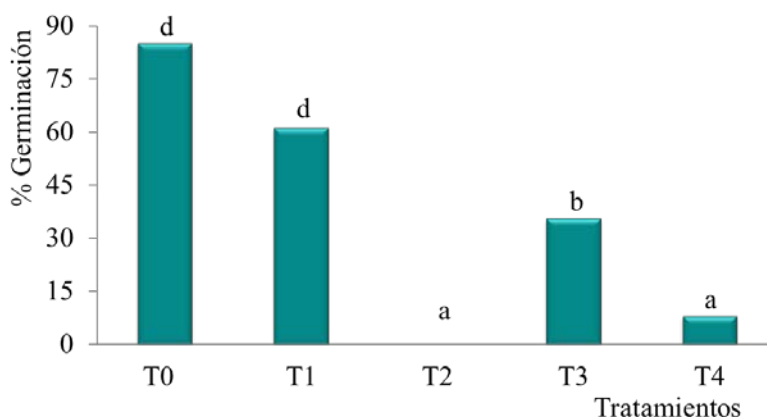


Figura 3. Promedio de los porcentajes de germinación de esporas de *Alternaria* sp. de acuerdo a cada tratamiento de extractos etanólicos de *Lippia micromera* al 1% (T1), 3%(T2) y *Cymbopogon citratus* al 1%(T3), 3%(T4) y 0%(T0). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

Determinación del efecto fungistático o fungicida

Transcurrido los 22 días estipulados para la evaluación en el tratamiento con extracto etanólico de *L. micromera* al 3% (T2), no ocurrió ningún desarrollo del patógeno en medio PDA, debido a lo cual se comprobó que posee efecto fungicida sobre el patógeno.

DISCUSIÓN

Se han conseguido efectos de los extractos etanólicos de plantas relacionadas con las usadas en este trabajo sobre el crecimiento micelial de otros patógenos de plantas, como es el caso del estudio elaborado por Rodríguez y Sanabria (2005), quienes evaluaron el efecto del extracto de tres plantas silvestres sobre *Rhizoctonia solani* y *Bipolaris maydis*, obteniendo como resultado que *Lippia origanoides* fue efectivo contra ambos hongos al 1,5% causando una inhibición total del crecimiento micelial y al 0,5%, la reducción fue del 70 y 84% en *R. solani* y *B. maydis* respectivamente. Okigbo y Ezebo (2017), con el fin de determinar *in vitro* el efecto fungicida de extractos acuosos y etanólicos de las plantas *Cymbopogon citratus*, *Chromolaena odorata* y *Newbouldia laevis* sobre *Botryodiplodia theobromae*, *Aspergillus niger*, *Fusarium solani*, *Penicillium* spp y *Rhizopus stolonifer*, agentes causales de la pudrición del

Ñame de agua (*Dioscorea alata*), sometieron a los patógenos a concentraciones de 10, 20, 30, 40 y 50% de cada extracto. Al medir la inhibición de crecimiento micelial encontraron que el extracto etanólico de *Cymbopogon citratus*, inhibió entre un 11,10 y un 46% mientras que los extractos acuosos fueron menos efectivos con un rango entre 4 y 39% en todos los hongos probados, lo cual coincide con los resultados encontrados en este trabajo, a pesar de que se utilizaron concentraciones menores.

Similares resultados fueron obtenidos por Rehman *et al.* (2016), quienes utilizando la técnica de difusión en agar evaluaron la inhibición de *Elsinoe fawcettii* con extractos etanólicos de *Cymbopogon citratus* y *Parthenium hysterophorus in vitro*. La mayor zona de inhibición (3.2mm) fue registrada con *C. citratus* en concentración de 50µg/ml. Estos autores consideran que los extractos etanólicos de *C. citratus* pueden ser una opción para el manejo de la enfermedad en campo.

Respecto a la producción de esporas, se ha observado que en otros casos si ocurre producción de esporas *in vitro*; pero, ésta está acompañada por efectos detrimentales en la cantidad producida, tal es el caso de *Moniliophthora roreri* que disminuyó el número de esporas producidas gracias a la acción de

extractos etanólicos de *G. sepium*, *R. comunis* y *C. rotundus* al 1%; además en esta investigación se registró un efecto mayor al encontrado en el presente trabajo; ya que, el extracto de *L. origanoides* no permitió el desarrollo vegetativo del hongo a concentraciones iguales y superiores a 1% (Peñaloza, 2014).

Coincidiendo con este trabajo, Montes *et al.* (2000) reportaron que puede ocurrir cambio de coloración en las colonias en la respuesta de los hongos al efecto de los extractos vegetales el cual, según estos autores, se puede manifestar también con cambio de forma y textura de las colonias de los hongos (como se observó con *A. porri* y *A. solani*) hasta la total inhibición del mismo.

Es importante destacar que a pesar de no haberse realizado la determinación y cuantificación de metabolitos secundarios en los diferentes extractos etanólicos de hojas procedentes de las especies consideradas en este trabajo, los resultados indican que en ambas plantas existen compuestos fitoquímicos que afectan el crecimiento del micelio de *Alternaria* sp. Sin embargo, los compuestos presentes en *L. micromera* mostraron mayor poder inhibitorio. Al respecto, Fernández *et al.* (2016) reseñan que encontraron presencia de alcaloides, flavonoides, fenoles, saponinas y aceites esenciales en extractos etanólicos de hojas de *Cymbopogon citratus*; mientras que, Bolívar *et al.* (2009) reportan alcaloides, aceites esenciales, polifenoles, taninos, antraquinonas y flavonoides presentes en extractos etanólicos de *Lippia origanoides*. Todos estos metabolitos secundarios, como indican Sepúlveda-Jiménez *et al.* (2003), son importantes en la defensa de las plantas contra agentes patógenos, ya sea restringiendo eliminando directamente al mismo o bien coadyuvando en el proceso de respuestas de hipersensibilidad.

Al respecto de la viabilidad de las esporas por efecto de los tratamientos con extractos de plantas, Montes *et al.* (2000) mencionan que la interacción de las sustancias y el patógeno generan una gran variedad de respuestas. En algunos extractos pueden ser inhibidores para un

hongo y estimulantes para otro o, en un mismo patógeno, inhibir en una etapa de crecimiento y en la etapa de desarrollo puede ser estimulatorio, como el incremento en el porcentaje de germinación de esporas de *A. solani* en comparación al testigo con extractos acuosos de *Asclepias glausceces* H.B.K., *Citrus limón* L., *Hibiscus rosa-sinensis* L. y *R. comunis* L. También se han encontrado algunas veces respuestas inesperadas, en ocasiones los tratamientos no reducen germinación de esporas en el laboratorio, pero si reducen las lesiones producidas por el patógeno en campo.

Lozada *et al.* (2012), determinaron la actividad de los aceites esenciales *L. origanoides*, *L. citriodora* y *L. alba* sobre aislados de *Moniliophthora roreri*, se obtuvo como resultado que todos los aceites esenciales evaluados mostraron actividad antifúngica e inhibieron totalmente la germinación de las esporas, cuando fueron utilizados en concentraciones altas de 800 - 1000 µg/ml; aunque estos investigadores utilizaron otro método de extracción de los metabolitos secundarios de las plantas, obtuvieron resultados similares a los observados en algunos tratamientos de este trabajo.

A diferencia de lo obtenido en este trabajo, los extractos etanólicos de *Gliricidia sepium* y *Ricinus communis* a concentraciones de 3 y 5% presentaron un inhibición total de los hongos *Athelia rolfsii* y *Sclerotinia sclerotiorum* en ensayos *in vitro*; sin embargo, luego de 15 después de que el tratamiento, testigo llenó por completo la capsula de Petri se observó crecimiento micelial, por lo que se concluyó que estos extractos lograron ejercer un efecto fungistático sobre los patógenos y no fungicida (Chacón, 2010).

Similares resultados fueron encontrados por Duarte *et al.* (2013), evaluando los aceites esenciales de *Ocimum basilicum* L. (Albahaca blanca), *Ocimum basilicum* variedad genovese (Albahaca genovesa), *Piper marginatum* (Anisillo), *Ruta chalepensis* (Ruda), *Pimpinella anisum* (Anís), *Piper auritum* (Caisimón de anís), *Melaleuca quinquenervia* (Melaleuca), *Piper aduncum* subsp. *Ossanum* (Platanillo de

Cuba) y *Citrus sinensis* (naranja dulce), donde determinaron que los aceites de *Pimpinella anisum*, *Piper auritum* y *O. basilicum* mostraron efecto fungicida sobre *A. solani*.

La efectividad de los extractos etanólicos de las plantas usadas en este estudio, también, se ha evidenciado en la postcosecha de frutos, tal es el caso de un experimento realizado por Bolívar *et al.* (2009), donde se determinó el efecto de la aplicación de los extractos etanólicos de hojas de *Azadirachta indica* ('nim'); *Phyllanthus niruri* ('flor escondida'); *Calotropis procera* ('algodón de seda'); *Lippia origanoides* ('orégano silvestre'); *Gliricidia sepium* ('mata ratón') y *Heliotropium indicum* ('rabo de alacrán'), en el control de la antracnosis ocasionada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de mango (*Mangifera indica*), encontrándose que los extractos etanólicos de *L. origanoides* y *G. sepium* fueron los mejores tratamientos de postcosecha, ya que indujeron el 37 y 33 % menos de la enfermedad en los frutos de mango, respectivamente.

El uso de los extractos etanólicos a base plantas son una gran alternativa de control sobre hongos fitopatógenos, ya que estas plantas poseen compuestos que pueden retardar el crecimiento micelial o inhibir en su totalidad el patógeno, lo que resultaría muy útil como práctica dentro de un programa de manejo integrado.

CONCLUSIONES

El extracto etanólico de *Lippia micromera* al 3%, inhibió completamente el crecimiento micelial de *Alternaria* sp., presentando además un efecto fungicida sobre el patógeno.

Los tratamientos de extractos etanólicos de *Cymbopogon citratus* al 1% y 3% y *Lippia micromera* al 1%, inhibieron parcialmente el crecimiento micelial impidiendo, además, la formación de esporas.

Cuando las esporas del patógeno fueron expuestas a la acción del extracto etanólico de *Lippia micromera* al 3%, fue inhibida totalmente la germinación de éstas.

Se evidenció, el efecto detrimental de extractos etanólicos de orégano (*Lippia micromera* Schauer) y limonaria (*Cymbopogon citratus* Stapf) sobre *Alternaria* sp. en condiciones *in vitro*

REFERENCIAS

- Agrios, G. (2005). Plant Pathology. 5th Edition Academic Press, San Diego.
- Bolívar, K., Sanabria, M. E., Rodríguez, D., Camacaro, M., Ulacio, D., Cumana, Y L., Crescente, O. (2009). Potencial efecto fungicida de extractos vegetales en el desarrollo *in vitro* del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. y de la antracnosis en frutos de mango. Revista UDO Agrícola. 9 (1): 175-181.
- García-Camarillo, E., Quesada-Viay, M., Moreno-Lara, J., Sánchez-Hernández, G., Moreno-Martínez, E., Pérez-Reyes, M. (2006). Actividad anti-fúngica de aceites esenciales de Canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) y Orégano (*Origanum vulgare* L.) y su efecto sobre la producción de Aflatoxinas en Nuez Pecanera. Revista Mexicana de Fitopatología. 24 (1): 8 -12.
- Chacón, D. (2010). Efecto de extractos acuosos y etanólicos de *Gliricidia sepium* y *Ricinus communis* sobre el desarrollo vegetativo *in vitro* de *Athelia rolfsii* y *Sclerotinia sclerotiorum*. Trabajo de Grado. Táchira, Venezuela. Universidad Nacional Experimental del Táchira. 69 p.
- Cortés, J. (2008). Evaluación del efecto de extractos etanólicos de própolis sobre el control de *Alternaria solani* en cultivo ecológico de tomate (*Solanum lycopersicum*). Trabajo de Grado. Barcelona, España. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. 113 pp.
- Duarte, Y., Pino, O., Infante, D., Sánchez, Y., Travieso, M., Martínez, B. (2013). Efecto *in vitro* de aceites esenciales sobre *Alternaria solani* Sorauer. Revista de Protección Vegetal. 28 (1): 54-59.
- Fernández, O., Sandoval, M. F., Sanabria, M. E., Vázquez, C. (2016). Efectividad *in vitro* del extracto etanólico de *Cymbopogon citratus* (D.L.) Stapf y hexythiazox sobre *Raoiella*

- indica* Hirst. IDESIA. 34(2): 77-84.
- Lozada, B., Herrera, L., Perea, A., Stashenko, E., Escobar, P. (2012). Efecto *in vitro* de aceites esenciales de tres especies de *Lippia* sobre *Moniliophthora roreri* (Cif. y Par.) Evans *et al.*, agente causante de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao* L.). Acta Agronómica. 61(2): 102-110. Disponible en: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/35491
- Montes, B., Cruz, V., Martínez, M., Sandoval, G., García, R., Zilch, S., Bravo, L., Bermúdez, K., Flores, H., Carvajal, M. (2000). Propiedades antifúngicas de plantas superiores. Análisis retrospectivo de investigaciones. Revista Mexicana de Fitopatología. 18: 125-131.
- Okigbo, R.N., Ezebo, R.O. (2017). Effect of leaf extracts of *Cymbopogon citratus*, *Chromolaena odorata* and *Newbouldia laevis* on the *Dioscorea alata* rot. Integr Food Nutr Metab. 5(1): 1-7.
- Peñaloza, R. (2014). Evaluación de extractos etanólicos y acuosos de plantas para el control de Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) en cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis Magister. Táchira, Venezuela. Universidad Nacional Experimental del Táchira. 135 p.
- Rehman, A., Muqbool, R., Alam, M., Mehboob, S. (2016). Exploration of ethanolic extracts of parthenium and lemon grass for management of citrus scab (*Elsinoe fawcettii*). Pak. J. Phytopathol. 28(01): 101-106.
- Rodríguez D., Sanabria M. (2005). Efecto del extracto de tres plantas silvestres sobre la rizoctoniosis, la mancha sureña del maíz y los patógenos que las causan. Interciencia (INCI). 30 (12): 739-744.
- Sanabria, M., Rodríguez, D., Rodríguez, L. (2006). Inhibición de hongos fitopatógenos con extractos de *Phyllanthus niruri* L. y *Lippia origanoides* (H.B.K.). Actas VII Congreso Sociedad Española de Agricultura Ecológica Zaragoza, España. Disponible en: <https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2006/CD%20Congreso%20Zaragoza/Ponencias/77%20Sanabria%20Com-%20Inhibici%C3%B3n.pdf>
- Sepúlveda-Jiménez, G., Porta-Ducoin, H., Rocha-Sosa, M. (2003). La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las Plantas. Revista Mexicana de Fitopatología. 21(3): 355-363.
- Zapata, R., Sanabria, M., Rodríguez, D. (2003). Reducción del desarrollo de hongos fitopatógenos con extracto de Cardón lefaria (*Cereus deficiens* Otto & Diert). Interciencia (INCI). 28 (5): 302-307.

AGROPECUARIA

PATOGENICIDAD DE CEPAS NATIVAS DE *Metarhizium anisopliae* SOBRE LARVAS DE *Phyllophaga* spp. (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE)PATHOGENICITY OF NATIVE STRAINS OF *Metarhizium anisopliae* ON LARVAE OF *Phyllophaga* spp. (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE)**Autores:****Bautista, Luis; Peña, Yury; Gutiérrez, Yusleindy**

Laboratorio de Control Microbiológico. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela

Corresponding Author: lbautis@gmail.com**RESUMEN**

Las especies del género *Phyllophaga* son reconocidas como plagas rizófagas en cultivos de importancia económica. Entre los métodos de control, se recomienda el uso de hongos entomopatógenos como agentes de control biológico. Se evaluó la actividad patogénica de tres (3) cepas de *Metarhizium anisopliae* (M1, M2 y M3) en la mortalidad de larvas L2 (1,5 - 2,5 cm de longitud) y L3 (3 - 4 cm de longitud) de *Phyllophaga* spp. Se colectaron larvas de *Phyllophaga* en el sector Baritalia, municipio Junín, estado Táchira que fueron llevadas al laboratorio de Control Microbiológico-UNET, donde se realizaron los bioensayos. En arreglos completamente al azar, larvas sanas fueron inoculadas por inmersión (1 min) en suspensiones de 1×10^7 esporas/ml. Se prepararon tres (3) repeticiones por cepa y cada repetición consistió en la inoculación de diez (10) larvas que fueron individualizadas en recipientes plásticos conteniendo papel humedecido y trozos de papa. Se realizaron bioensayos aplicando las cepas al suelo, en suspensión y de forma granular, donde luego fueron introducidas las larvas (L3). La incubación, se realizó a temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ con una humedad relativa de $80 \pm 5\%$. Cada 3 d y por 28 d se revisó la mortalidad de las larvas. La mortalidad acumulada, en larvas L2, varió entre 53,3 y 76,7%, y en larvas L3 entre 43,3 y 66,7% no registrándose diferencias estadísticas entre las cepas. En la aplicación de las cepas al suelo, la mortalidad acumulada, a los 75 d, varió entre 60 y 80% para la forma granular y entre 66,7 y 76,7% para la aplicación en suspensión, no reportándose diferencias estadísticas entre las cepas. Los resultados confirmaron la actividad patogénica de las cepas nativas de *M. anisopliae* y se demostró el potencial del hongo como alternativa en un programa de control biológico del insecto.

ABSTRACT

The species of the genus *Phyllophaga* are recognized as rhizophagous pests in crops of economic importance. Among the methods of control is recommended the use of entomopathogenic fungi as biological control agents. The pathogenic activity of 3 strains of *Metarhizium anisopliae* (M1, M2 and M3) in mortality of larvae L2 (1.5-2.5 cm length) and L3 (3-4 cm length) of *Phyllophaga* spp. was evaluated. The larvae of *Phyllophaga* were collected at the Baritalia sector, Junín Municipality, Táchira State and transported to the Microbiological Control laboratory-UNET, where the bioassays were carried out. In completely randomized arrangements, healthy larvae were inoculated by immersion (1 min) in 1×10^7 spores/ml suspensions. Three replicates per strain were prepared and each repetition consisted of 10 inoculated larvae that were individualized in plastic containers containing moistened paper and pieces of potato. Bioassays were carried out by applying the strains to the soil, in suspension and in granular form, where the larvae (L3) were introduced. Incubation was carried out at a temperature of $25 \pm 2^\circ\text{C}$ with a relative humidity of $80 \pm 5\%$. Every 3 d and by 28 d the mortality of the larvae was reviewed. Accumulated mortality, in L2 larvae, ranged between 53.3 and 76.7%, and in L3 larvae between 43.3 and 66.7%, no statistical differences were recorded between the strains. In the application of the strains to the soil, accumulated mortality, to the 75 d, varied between 60 and 80% for the granular form and between 66.7 and 76.7% for the suspension application, no statistical differences were reported between the strains. The results confirmed the pathogenic activity of the native strains of *M. anisopliae* and demonstrated the potential of the fungus as an alternative in a program of biological control of the insect.

Palabras clave: *Metarhizium*, patogenicidad, biocontrol, *Phyllophaga*.**Key words:** *Metarhizium*, Pathogenicity, biocontrol, *Phyllophaga***Recibido:** 29/03/2018 **Aprobado:** 21/06/2018 **Versión Final:** 27/08/2018

INTRODUCCIÓN

Los escarabajos de la familia Melolonthidae comprenden un amplio grupo de insectos de tamaños y formas variadas, de los cuales una fracción ha sido señalada como plaga subterránea o de follaje de plantas cultivadas (Morón, 1986). Los hábitos alimenticios de las larvas incluyen; raíces, tallos, bulbos o tubérculos de plantas, humus orgánico, así como troncos y tocones de árboles en descomposición. Mientras que los adultos, se alimentan de hojas y flores de aboles frutales y plantas ornamentales.

Dentro de los melolontidos, se destacan diversas especies del género *Phyllophaga*, conocidas como gallina ciega, chisas o mayeros (Ruiz *et al.*, 2012). Esta es una plaga subterránea de tipo rizófaga, de importancia económica; ya que en su estado larval, se alimentan principalmente de raíces provocando clorosis, debilidad, marchitamiento, volcamiento y finalmente causando la muerte de la planta (Hidalgo, 2001; Villegas *et al.*, 2008; Ruiz *et al.*, 2012). Estas acciones ocasionan una disminución en el rendimiento de los cultivos e incrementan los costos de producción. Entre los cultivos más afectados, se encuentran: maíz, papa, trigo, tomate, yuca, frutales, caña de azúcar y pastizales (Ruiz *et al.*, 2012). De las ochocientas cincuenta y cuatro especies ochocientas cincuenta y cuatro (854) especies de *Phyllophaga* descritas hasta 2009, son dieciséis (16) son señaladas en Venezuela (Smith y Evans, 2009).

Los daños ocasionados por esta plaga se han contrarrestado con la aplicación de agroquímicos; pero, su uso frecuente repercute en efectos contaminantes al medio ambiente y contribuyen al desarrollo de resistencia de las plagas, así como a la destrucción de enemigos naturales (Guedez *et al.*, 2008). Ante esta situación surge la necesidad de implementar alternativas que sean respetuosas con el ambiente, entre las que se destaca el control biológico.

Para el manejo de *Phyllophaga*, Najera-Rincón *et al.* (2005) señalan que el control biológico es

una herramienta que tiene como ventaja la conservación de la biodiversidad y el equilibrio ecológico por ser organismos vivos son libres de residuos tóxicos, los cuales no generarán perjuicios al ambiente. Dentro del método biológico, se puede hacer uso de bacterias, hongos entomopatógenos y nematodos, entre otros agentes. Al respecto, Márquez *et al.*, (2017) indican que la aplicación de hongos entomopatógenos para el control de insectos plagas es una alternativa ecológica que contribuye a la protección del medio ambiente y el ecosistema.

Los hongos del género *Metarhizium* Sorokin (Hypocreales: Clavicipitaceae) están entre los microorganismos entomopatógenos más frecuentemente reportados como enemigos naturales de los scarabeidos (Hidalgo, 2001; Hernández-Velázquez *et al.*, 2011). Por otro lado, Faría y Wraight (2007) indican que en *Metarhizium*, se incluyen hongos entomopatógenos bien conocidos que sirven como ingrediente activo en cerca de sesenta (60) productos comerciales de todo el mundo.

Diversas investigaciones reportan la susceptibilidad de diferentes especies de *Phyllophaga* a cepas nativas de *M. anisopliae* (Najera-Rincón *et al.*, 2005; Guzmán-Franco *et al.*, 2012), convirtiéndose por tanto, en la especie más comúnmente estudiada como agente de control biológico en poblaciones de este insecto.

Además de *Metarhizium*, otras especies de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y nematodos entomopatógenos como *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar y *Steinernema carpocapsae* Weiser, han sido reportados como controladores biológicos de larvas de *Phyllophaga* (Ruiz *et al.*, 2012)

Tomando en consideración la importancia de los hongos como potenciales agentes de control biológico de las especies de *Phyllophaga*, se procedió a evaluar la capacidad patogénica de tre (3) cepas nativas de *M. anisopliae* sobre larvas de *Phyllophaga* sp. mediante aplicaciones del hongo en suspensión de esporas y en forma granular.

MÉTODO

Los bioensayos, se realizaron en el laboratorio de Control Microbiológico-UNET, ubicado en el sector Paramillo, avenida Universidad,

municipio San Cristóbal Estado Táchira. Se utilizaron tres (3) cepas de *M. anisopliae* cuyo origen y procedencia son presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Código asignado, origen y procedencia de las cepas de *M. anisopliae* utilizadas en los bioensayos

Código	Hospedante	Lugar
M1	Aislada de suelo por trampeo con <i>Galleria mellonella</i> L. (Lepidoptera.: Pyralidae)	Seboruco, municipio Seboruco, estado Táchira
M2	Aislada de <i>Alphitobius diaperinus</i> (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)	La Fría, municipio García de Hevia, estado Táchira
M3	Aislada de <i>Gryllotalpa</i> sp. (Orthoptera: Gryllotalpidae)	Baritalia, municipio Junín, estado Táchira

Las cepas fueron reactivadas y cultivadas en papa dextrosa agar (39 g/L). El cultivo, se realizó a temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 15 d. Posteriormente, el hongo fue masificado en arroz blanco humedecido y esterilizado. Para ello, se colocaron 50 g de arroz y 40 ml de agua estéril en bolsas plásticas (2 kg de capacidad) autoclavables. Estos preparados, se esterilizaron a 121°C por 25 min. Una vez enfriados, se inocularon con discos (1 cm) de las colonias del hongo. Las bolsas, se agitaron y se incubaron bajo condiciones de laboratorio ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$) durante 15 d. A partir de estos cultivos, se prepararon las suspensiones de esporas que fueron usadas en los ensayos.

Las larvas utilizadas en los bioensayos, se colectaron de suelo (0 - 25 cm) con cobertura de *Brachiaria* sp. y malezas, en el sector Baritalia, municipio Junín, estado Táchira. La remoción de la cobertura vegetal y volteo del suelo se realizó

manualmente. Las larvas expuestas (Figura 1A) fueron colectadas y mantenidas en recipiente plásticos, con suelo, hasta su traslado al laboratorio. Se seleccionaron individuos sanos y vigorosos, descartándose las larvas con heridas y poco móviles. Para la alimentación, se les colocaron trozos de papa. En laboratorio, las larvas fueron mantenidas en observación por 6 días, realizándose un nuevo descarte, seleccionándose individuos aptos y con tamaños entre 1,5 a 2,5 cm (L2) y de 3 a 4 cm (L3) (Figura 1B) (Morón, 1986).

La taxonomía de los especímenes fue corroborada en el Laboratorio de Entomología-UNET por el Técnico Superior Joffre Blanco, quien confirmó su ubicación en el género *Phyllophaga* spp. (Comunicación personal Joffre Blanco), con base en la revisión de literatura (Pardo y Morón, 2006; Vallejo y Wolff, 2013).



Figura 1. Larvas de *Phyllophaga* sp. **A.** Larvas expuestas luego de la remoción del suelo. **B.** Aspecto de las larvas sanas (Larvas L3) seleccionadas para los bioensayos.

Bioensayo de patogenicidad en larvas L2 y L3

Se prepararon suspensiones de cada cepa agregando 10 g del hongo crecido en arroz, en 100 ml de agua destilada estéril con Tween 80 al 0.1%. Las suspensiones fueron agitadas vigorosamente, filtradas y se procedió a realizar el ajuste de la concentración a 1×10^7 conidios/ml, en cámara de Neubauer (Goettel y Inglis, 1997). Las larvas, previamente seleccionadas, fueron sumergidas, por 2 veces, durante 1 min en las suspensiones, posteriormente se extrajeron y dejaron secar sobre tamiz. Las larvas inoculadas se depositaron en recipientes de vidrio (25 ml), taponados con papel toallin humedecido e introducidos dentro de bolsas plásticas transparentes. Se suministraron trozos de papa como alimento. Como control, se utilizaron larvas sumergidas en agua destilada estéril con Tween 80 al 0.1%. Los montajes, se encubaron a temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $80 \pm 5\%$. Cada 3 días, se aplicó 1 ml de agua al toallin absorbente y se renovó el alimento. El experimento, se condujo bajo un diseño completamente al azar y cada unidad experimental estuvo constituida por diez (10) larvas, con 3 repeticiones.

Se realizaron cuatro (4) evaluaciones (7, 15, 21 y 28 días después de la inoculación), verificando en cada conteo el número individuos muertos. La mortalidad de las larvas, por efecto del hongo, fue confirmada colocando los especímenes muertos en cámara húmeda y verificando el desarrollo del micelio y los conidios del hongo sobre la cutícula de los insectos afectados (Márquez *et al.*, 2017). Posteriormente, se determinó el porcentaje de mortalidad confirmada y la mortalidad acumulada en las diferentes evaluaciones.

Bioensayo de patogenicidad con dos métodos de aplicación

Un primer método de inoculación consistió en aplicación por suspensión (esporas disueltas en agua) y el segundo consistió en aplicar el hongo en un preparado granular (cultivo del hongo en arroz finamente molido y seco). Para el primero, se prepararon suspensiones de las cepas,

ajustando las concentraciones en cámara Neubauer, a 1×10^7 esporas/ml, usando Tween 80 al 0,1 %. Para el segundo, se preparó un granulado fino a partir del crecimiento de las cepas en arroz molido con una concentración de 1×10^{10} esporas/g. En ambos métodos, la inoculación se realizó de manera indirecta; ya que las cepas (M2 y M3), se aplicaron al suelo y posteriormente se colocaron las larvas del insecto.

En el ensayo, se aplicó un diseño completamente al azar con cuatro (4) tratamientos más testigo. Se realizaron tres (3) repeticiones por tratamiento, cada repetición constó de diez (10) larvas, cada larva fue individualizada en un recipiente plástico (vaso de 300 ml) conteniendo 200 g de suelo húmedo, proveniente del mismo sitio donde se colectaron las larvas. Para la inoculación, se aplicaron 10 ml de suspensión o 2 g de granulado por vaso y se mezclaron con los 200 g de suelo, posteriormente, se colocaron las larvas (L3), previamente seleccionadas.

Luego de la inoculación, se colocó una semilla de maíz pregerminada, por vaso, a fin de que las raíces sirvieran de alimento a las larvas. Este proceso fue repetido dos (2) veces durante el ensayo. El experimento, se incubó a condiciones de laboratorio ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) por un período de 75 días. Cada vaso fue parcialmente cubierto con una bolsa plástica para minimizar la pérdida de humedad. Se realizaron evaluaciones cada 15 días, por 75 días. En cada evaluación, se volteaba el vaso y se extraía el suelo para revisar el estado de las larvas. Las larvas muertas fueron colocadas en cámara húmeda para confirmar la afectación por el hongo *Metarhizium*. Con los datos de mortalidad se procedió a calcular el porcentaje de mortalidad acumulada durante el período de evaluación.

Para el análisis estadístico, los datos del porcentaje de mortalidad fueron transformados por la raíz cuadrada del arcoseno. Luego, fueron sometidos al análisis de la varianza y prueba de medias de Tukey ($P > 0,05$) con el paquete estadístico InfoStat/versión libre (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Mortalidad de larvas L2 y L3

En la tabla 2, se presentan los resultados de la mortalidad para las larvas L2. En los diferentes tiempos de evaluación, no se presentaron diferencias significativas en el promedio de

mortalidad entre las cepas. A pesar de no haber diferencias estadísticas en la mortalidad, la cepa M2 mostró una tendencia a causar mayores niveles de mortalidad. A los 28 días, la cepa M2 alcanzó el mayor promedio de mortalidad acumulada con 76,7% seguido de M3 y M1 con un porcentaje de 70 y 53,37%, respectivamente.

Tabla 2. Mortalidad promedio de larvas L2 de *Phyllophaga* sp. por 3 cepas de *M. anisopliae* a los 7, 15, 21 y 28 días después de la inoculación.

Cepa	7 d (±DE)	15 d (±DE)	21 d (±DE)	28 d (±DE)
M1	36,7 (±15,3) ^a	36,7 (±15,3) ^a	40 (±17,3) ^b	53,3 (±20,8) ^a
M2	53,3 (±15,3) ^a	70 (±17,3) ^a	76,7(±15,3) ^a	76,7 (±15,3) ^a
M3	33,3 (±15,3) ^a	36,7 (±15,3) ^a	56,7 (±5,8) ^{ab}	70 (±10,0) ^a

Medias seguidas de las mismas letras no son significativamente diferentes. Prueba de Tukey.
D.E.: Desviación estándar

Los resultados de patogenicidad para larvas L3 son presentados en la tabla 3. No se presentaron diferencias estadísticamente significativas en el promedio de mortalidad por las tres (3) cepas evaluadas, en los diferentes tiempos de

evaluación. A los 28 días, la mortalidad promedio acumulada fue similar para las cepas M2 y M3 con 66,7%; mientras que, la cepa M1 causó un 43,3% de mortalidad.

Tabla 3. Mortalidad promedio de larvas L3 de *Phyllophaga* sp. por 3 cepas de *M. anisopliae* a los 7, 15, 21 y 28 días después de la inoculación.

Cepa	7 d (±DE)	15 d (±DE)	21 d (±DE)	28 d (±DE)
M1	33,3 (±15,3) ^a	33,3 (±15,3) ^a	43,3 (±15,3) ^a	43,3 (±15,3) ^a
M2	43,3 (±15,3) ^a	46,7 (±15,3) ^a	56,7(±15,3) ^a	66,7 (±11,6) ^a
M3	46,7 (±5,8) ^a	50,0 (±10,0) ^a	53,3 (±11,6) ^a	66,7 (±11,6) ^a

Medias seguidas de las mismas letras no son significativamente diferentes. Prueba de Tukey.
D.E.: Desviación estándar

DISCUSIÓN

Las tres (3) cepas de *M. anisopliae* resultaron patógenas a las larvas L2 y L3 de *Phyllophaga* sp. A partir de la primera evaluación (día 7), se verificó el efecto de mortalidad; tanto de las larvas L2 como L3, asociado con las diferentes cepas del hongo. Dicha mortalidad fue confirmada por la presencia de las estructuras

reproductivas del hongo (conidios unicelulares y cilíndricos con células conidiógenas en densos himenios, lisas, de cilíndricas a clavadas) y el característico color verde oliva sobre la cutícula de los insectos afectados (Figura 2). Hidalgo (2001) señala que *Metarhizium* produce, inicialmente, micelio blanco o amarillo y luego columnas de conidios verdes olivas sobre los insectos muertos.

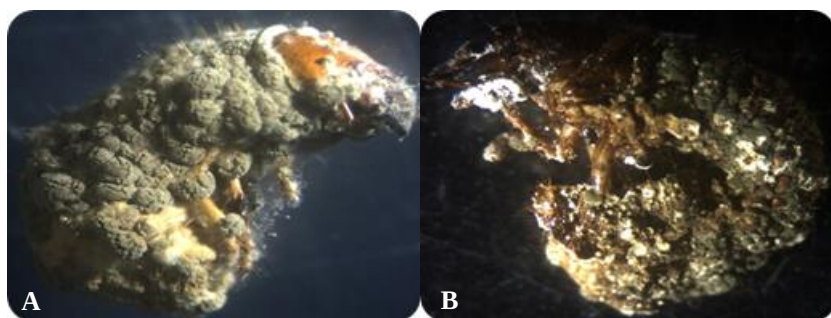


Figura 2. Larvas de *Phyllophaga* sp. afectadas por el hongo *M. anisopliae*. **A.** Larvas L2. **B.** Larvas L3. Destáquese el característico color verde oliva producido por la formación de conidios sobre la superficie cuticular de los insectos afectados.

Ambos instares larvales (L2 y L3) fueron susceptibles al hongo entomopatógeno, no presentándose efectos destacables en el promedio de mortalidad entre los dos (2) instares. Los niveles de mortalidad acumulada, a los 28 d, estuvieron entre 53,3 y 76,7% para larvas L2 y entre 43,3 y 66,7% para larvas L3; los cuales, se consideran de medios a altos y aceptables para este tipo de insectos. La literatura señala resultados contradictorios sobre el potencial de las cepas de *Metarhizium* como entomopatógeno de larvas de *Phyllophaga*.

Los niveles de mortalidad hallados en esta investigación concuerdan con los resultados encontrados en otros trabajos, para diferentes especies dentro del género *Phyllophaga*. Por ejemplo, Londoño (1993) evaluó treinta y seis (36) aislamientos de *M. anisopliae* sobre *P. obsoleta* encontrando promedios de mortalidad de 50% en larvas de 3er instar. También, Nájera-Rincón *et al.* (2005), en condiciones de laboratorio, encontraron que dos (2) cepas de *M. anisopliae* evaluadas en larvas de 3er instar de *P. crinita* superaron el 50% de mortalidad a los 30 días después de iniciado el bioensayo.

Contrariamente a los resultados aquí encontrados, otros trabajos reportan bajos niveles de mortalidad por cepas de *M. anisopliae*. Por ejemplo Guzmán-Franco *et al.* (2012) encontraron niveles de infección de 20%, después de 36 d de inmersión de larvas de 3er instar de *P. polyphylla*, en suspensiones de 1×10^8 conidios/ml de una cepa de *M. anisopliae*. También, Lopes *et al.* (2013) encontraron mortalidad inferiores a 5,6% de larvas y adultos

de *P. capillata* por cepas nativas de *Metarhizium*.

El efecto patogénico del hongo *M. anisopliae* en larvas de insectos con hábitats, características y comportamientos similares a *Phyllophaga* han sido reportados por otros autores. Por ejemplo, Lucero *et al.* (2004) reportan mortalidades de 100% de larvas de *A. scarabaeiodes* (Coleoptera: Scarabaeidae) por cepas de *M. anisopliae*, a los 18 días después de la inmersión de las larvas, en suspensiones de 1×10^{10} conidios/ml. También, Valencia *et al.* (2011) reportaron un 83% de mortalidad de larvas de *Strategus aloeus*, en condiciones de laboratorio.

En larvas de otros coleópteros, se han reportado efectos similares por cepas de *M. anisopliae*. Así tenemos que, Tolosa *et al.* (2004) indican una mortalidad mayor a 80% en larvas de *Astaena* spp., en condiciones de laboratorio. Mientras que, Rodríguez *et al.* (2004) señalan mortalidad de 96% de larvas de *Hylamorphia elegans* Burn por *M. anisopliae* a los 28 días después de la inoculación.

Aunque en esta investigación, no se utilizaron cepas del hongo *B. bassiana*, algunos autores coinciden en señalar que las cepas de *M. anisopliae* son más virulentas que las de *B. bassiana*. Al respecto, Solis *et al.*, (2016) reportan que aislados de *M. anisopliae* fueron más patogénicos que los aislados de *B. bassiana*. Mencionan un promedio de mortalidad de 86,06% por la cepa de mayor agresividad de *M. anisopliae*.

Además de la especie *M. anisopliae*, otras especies como *M. roberstii* han sido colectadas, afectando de manera natural, especies de *Phyllophaga* como *P. capillata* (Blanchard) (Lopes *et al.*, 2013).

Mortalidad de larvas L3 con diferentes métodos de aplicación

Con los dos (2) métodos de aplicación (suspensión y granulado, aplicados al suelo), se presentó mortalidad de larvas L3 por las dos (2) cepas de *Metarhizium*. En la aplicación por suspensión, no se presentaron diferencias

significativas ($P < 0,05$) entre las cepas, en las cinco (5) evaluaciones (Tabla 4). La mortalidad acumulada, a los 75 días, promedió un 66,7% para la cepa M3 y 76,7% para M2. Mientras que en la aplicación granulada, se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$), en el promedio de mortalidad, en las evaluaciones realizadas a los 45, 60 y 75 días, siendo la cepa M2 la que causó los mayores niveles de mortalidad. El promedio de mortalidad acumulada, a los 75 días, fue de 80% para la cepa M2 y de 60% para M3.

Tabla 4. Porcentaje promedio de mortalidad, quincenal, de larvas L3 de *Phyllophaga* spp. por 2 cepas de *M. anisopliae* aplicadas en suspensión.

Cepa	15 d ($\pm$ DE)	30 d ($\pm$ DE)	45 d ($\pm$ DE)	60 d ($\pm$ DE)	75 d ($\pm$ DE)
M2	20,0 ($\pm$ 10,0) ^a	30,0 ($\pm$ 10,0) ^a	30,0($\pm$ 10,0) ^a	36,7 ($\pm$ 15,3) ^a	76,7 ($\pm$ 5,8) ^a
M3	10,0 ($\pm$ 10,0) ^a	26,7 ($\pm$ 15,3) ^a	36,7 ($\pm$ 11,6) ^{ab}	43,3 ($\pm$ 15,3) ^a	66,7 ($\pm$ 11,6) ^a

Promedios seguidos con letras comunes no son significativamente diferentes. Prueba de Tukey.
D.E.. Desviación estándar

Tabla 5. Porcentaje promedio de mortalidad, quincenal, de larvas L3 de *Phyllophaga* spp. por 2 cepas de *M. anisopliae* aplicadas en forma granulada.

Cepa	15 d ($\pm$ DE)	30 d ($\pm$ DE)	45 d ($\pm$ DE)	60 d ($\pm$ DE)	75 d ($\pm$ DE)
M2	10,0 ($\pm$ 0,0) ^a	13,3 ($\pm$ 5,8) ^a	30,0($\pm$ 0,0) ^a	50,0 ($\pm$ 0,0) ^a	80,0 ($\pm$ 0,0) ^a
M3	10,0 ($\pm$ 10,0) ^a	16,7 ($\pm$ 5,8) ^a	16,7 ($\pm$ 5,8) ^b	33,3 ($\pm$ 15,3) ^b	60,0 ($\pm$ 10,0) ^b

Promedios seguidos con letras comunes no son significativamente diferentes. Prueba de Tukey.
D.E.. Desviación estándar

Los resultados demostraron que aplicando el hongo al suelo, bien sea en una suspensión de conidios o directamente en gránulos de arroz, se causó mortalidad de las larvas de *Phyllophaga* sp. Esta respuesta nos indica que con la colocación de los propágulos infectivos del entomopatógeno en el suelo, los mismos pueden entrar en contacto con la cutícula y demás partes de las larvas, iniciándose el proceso de infección que conduce a la mortalidad de los individuos. Varios trabajos refieren la importancia de aplicar el hongo por medio de suspensiones de esporas para afectar larvas rizófagas de coleópteros. Así tenemos que, Najera-Rincón *et al.* (2005), trabajando con arena de río,

colocaron las larvas y posteriormente inocularon una suspensión de 1×10^8 conidios/g de una cepa de *M. anisopliae*, reportando más de 50% de mortalidad de larvas de 3er instar de *P. crinita* a los 30 d de aplicado el hongo. También, Lucero *et al.* (2004) reportan mortalidad de 76%, de larvas de *A. scarabaeiodes*, por una cepa de *M. anisopliae* a los 28 días de aplicar una suspensión (1×10^{10} conidios/ml) de esporas al suelo.

Sobre el uso de formulaciones granulares para aplicar el hongo *Metarhizium*, Ruiz *et al.* (2012) encontraron que la aplicación de *M. anisopliae* a 1×10^5 esp./cm² de suelo requirió de 20 d para

lograr un 62,5% de control. En este caso, el hongo entomopatógeno, se aplicó masificado en arroz, haciendo una cavidad a un costado de la planta y luego tapándolo con suelo. Igualmente, en el insecto plaga *Ancognatha scarabaeoides*, de hábitos rizófagos similares a *Phyllophaga*, Marino *et al.* (2004) encontraron que un formulado granular de *M. anisopliae* alcanzó niveles de mortalidad promisorios y estables llegando hasta un 43%. También, Behle *et al.* (2015) trabajando en el control de gusanos blancos (*Popillia japonica* Newman), en césped, utilizaron gránulos de *Metarhizium brunneum*, obteniendo que los tratamientos con el hongo fueron efectivos y comparables con el tratamiento químico. Las larvas fueron susceptibles, encontrando mortalidades hasta de un 69,3%.

Los resultados nos conducen a señalar que independiente del método de aplicación, ambas cepas resultaron patogénicas a larvas de *Phyllophaga*; y por tanto, el uso de estos agentes biológicos se constituye en una alternativa promisorio dentro de las estrategias biológicas para el control de larvas de la plaga en condiciones de campo.

CONCLUSIONES

1. Las tres (3) cepas nativas del hongo *Metarhizium anisopliae* resultaron patogénicas a larvas L2 y L3 de *Phyllophaga* sp. con aceptables niveles de mortalidad confirmada.

2. Los métodos de aplicación, por suspensión y granulada, resultaron eficientes para colocar el hongo al suelo y permitir el contacto entre los propágulos infectivos y la cutícula de los insectos, iniciándose el proceso de infección en larvas de *Phyllophaga* sp.

REFERENCIAS

Behle, R.W., Richmond, D. Jackson, M., Dunlap, C. (2015). Evaluation of *Metarhizium brunneum* F52 (Hypocreales: Clavicipitaceae) for control of japanese beetle larvae in turfgrass. J. Econ. Entomol. 108(4): 1587–1595.

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Faria, M., Wraight, S.P. (2007). Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. Biological Control 43:237–256.

Guédez, C., Castillo, C., Cañizales, L., Olivar, R. (2008). Control biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. Rev. Academia 7(13):50-74.

Goettel, M.S., Inglis, G.D. (1997). Fungi: hyphomycetes. Pp. 213-249. In: Lacey, L. (ed.), Manual of techniques in insects pathology. Biological techniques series, Academic Press. 409 p.

Guzmán-Franco, A., Hernández-López, J., Enriquez-Vara, J., Alatorre-Rosas, R., Tamayo-Mejia, F., Ortega-Arenas, L. (2012). Susceptibility of *Phyllophaga polyphylla* and *Anomala cincta* larvae to *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates, and the interaction with soil properties. Biological Control 57:553-563.

Hernández-Velázquez, M., Espíndola, Z., Villalobos, F., García, L., Peña, G. (2011). Aislamiento de hongos entomopatógenos en suelo y sobre gallinas ciegas (Coleoptera: Melolonthidae) en agroecosistemas de maíz. Acta Zool. Mex. 27(3): 591-599.

Hidalgo, E. (2001). Uso de microorganismos para el control de *Phyllophaga* spp. Hoja técnica N° 37. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica). 60: i-iv.

Londoño, M. (1993). Posibilidades para el control biológico de la chiza (Col: Scarabaeidae) para el departamento de Antioquia. Sociedad Colombiana de Entomología. Miscelánea (28):85-98.

Lopes, R.B., Sousa, D.A., Oliveira C.M., Faria, M. (2013). Genetic diversity and pathogenicity of *Metarhizium* spp. associated with the white grub *Phyllophaga capillata* (Blanchard) (Coleoptera: Melolonthidae) in a soybean field. Neotrop. Entomol. 42:436-438.

- Lucero, A., Peña, L., Bacca, T. (2004). Evaluación de la actividad biocontroladora de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre larvas de *Ancognatha scarabaeoides* (Coleoptera: Scarabaeidae). Rev. CORPOICA 5(1): 43-48.
- Marino, P., Villamizar, L., Espinel, C., Cotes, A.M. (2004). Caracterización de prototipos de bioplaguicidas granulados a base de *Metarhizium anisopliae* para el control de *Ancognatha scarabaeoides* (Coleoptera: Melolonthidae). Rev. Colomb. Entomol. 30(1):43-49.
- Márquez, M.A., Gato, Y., Lequerque A. (2017). El género *Metahrizium* Sorokin y su aplicación en el control de insectos plagas. Rev. Cubana Cienc. Biol. 5(2):1-13.
- Morón, M.A. (1986). El género *Phyllophaga* en México. Morfología, distribución y sistemática supraespecífica (Insecta: Coleoptera). México D.F., Instituto de Ecología. 341 p. (Publ. N° 20)
- Najera-Rincón, M., García, M., Crocker, R, Hernández-Velázquez, V., Rodríguez L. (2005). Virulencia de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, nativos del occidente de México, contra larvas de tercer Estadio de *Phyllophaga crinita* (Coleoptera: Melolonthidae) bajo condiciones de laboratorio. Fitosanidad 9 (1): 33-36.
- Pardo, L.C., Morón, M.A. (2006). Redescrición de inmaduros y distribución de la Chisa *Phyllophaga menetriesi* (Blanchard) en los Andes colombianos. (Coleoptera: Melolonthidae). Acta Agron. (Colombia) 55(4):13-20.
- Rodríguez, M., France, A., Gerding, M. (2004). Evaluación de dos cepas del hongo *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* (Metsh.) para el control de larvas de gusano blanco *Hylamorphia elegans* Burm. (Coleoptera: Scarabaeidae). Agricultura Técnica 64 (1): 17-24. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-2807200400 0100002>.
- Ruiz, J., Aquino, T., Silva, M., Girón, S. (2012). Control integrado de la gallina ciega *Phyllophaga vetula* Horn (Coleoptera: Melolonthidae) con agentes entomopatógenos en Oaxaca, México. Rev. Científica UDO Agrícola 12 (3): 609-616.
- Smith, A.B.T., Evans, A.V. (2009). A supplement to the checklist of the NewWorld chafers (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae) with notes on their tribal classification. Zootaxa 1032: 29-60.
- Solis, O., Castillo, A., Peña, G., Alvear A., Serrano, M., Suarez R., Hernández, V. (2016). Pathogenicity, virulence and interaction of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* against *Phyllophaga vetula* (Coleoptera: Melolonthidae). J. Pure Appl. Microbiol. 10(4):2607-2612.
- Tolosa, W., Henao, H., Salazar, C., Peña, L. (2004). Evaluación de cepas de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el control de chisas *Astaena* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae) en Nariño. Rev. de Ciencias Agrícolas 21 (1 y 2):1-10.
- Valencia, C., Pérez, S., Aldana, R., Mesa, E., Gomes, H. (2011). Patogenicidad de hongos entomopatogenos del género *Metarhizium* sobre larvas de *Strategus aloeus* L. (Coleoptera: Scarabaeidae), en condiciones de laboratorio. Revista Palmas. 23(4): 30-40. Disponible en: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10780/0>
- Vallejo, L.F., Wolff, M. (2013). The genus *Phyllophaga* Harris (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae) in the Colombian Andean Mountains. Zootaxa 3722 (2):101-142.
- Villegas, N., Gaigl, A., Vallejo, L. (2008). El complejo chisa (Coleoptera: Melolonthidae) asociado a cebolla y pasto en Risaralda, Colombia. Rev. Colomb. Entomol. 34(1):82-89.

AGROPECUARIA

CITOGENÉTICA CONVENCIONAL Y MOLECULAR APLICADAS A PROPUESTAS DE FITOMEJORAMIENTO EN *Aloe vera* (L.) Burm.f.CONVENTIONAL AND MOLECULAR CITOGENETICS APPLIED TO PROPOSALS FOR PLANT BREEDING IN *Aloe vera* (L.) Burm. f.

Autores:

Sánchez García, Ysbelia^{1,2}; Raymúndez, María_B.³; Imery, José⁴

¹Laboratorio de Investigaciones Genéticas. Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), Venezuela.

²Laboratorio de Botánica Sistemática. Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), Venezuela.

³Laboratorio de Biosistemática y Citogenética Vegetal. Universidad Central de Venezuela (UCV), Venezuela.

⁴Laboratorio de Genética Vegetal. Universidad de Oriente (UDO), Cumaná, Venezuela.

Corresponding Author: ysanchezg@unet.gov.ve

RESUMEN

Algunas especies del género *Aloe* (*A. vera*, *A. ferox*, *A. arborescens*, entre otras) son de gran importancia económica a nivel mundial por su alto contenido de antraquinonas y pre-antraquinonas con propiedades medicinales y de amplio uso farmacológico. En algunas zonas áridas de Venezuela, se realiza el cultivo de *Aloe* con problemas de producción en campo debido a la susceptibilidad ante patógenos bajo ciertas condiciones climáticas. Frente a estas limitaciones se llevan a cabo programas de fitomejoramiento nacionales que han llevado al desarrollo de algunos híbridos promisorios. Sin embargo, debido a los problemas de autoincompatibilidad mantenida en *Aloe vera* es fundamental realizar análisis biosistemáticos previos a los cruzamientos interespecíficos. En este estudio, se realizó la caracterización de los cariotipos en veintidós (22) especies de *Aloe* (seleccionadas por sus características agronómicas y/o su potencial) y (2) dos representantes de géneros cercanamente relacionados (*Gasteria* sp y *Kniphofia* sp), mediante tinción convencional y bandeo cromosómico C, AgNOR, CMA y DAPI, con la finalidad de aportar datos útiles a los programas de mejoramiento genético. Las especies estudiadas de *Aloe* y *Gasteria* sp presentaron un n=14 estable (ocho cromosomas grandes subtelocéntricos y seis pequeños submetacéntricos). Las entidades evaluadas exhiben heterocromatina constitutiva en varias combinaciones: CMA+/DAPI-, CMA0/DAPI+, CMA-/DAPI+, CMA0/DAPI-, CMA+/DAPI0 y CMA+/DAPI+. Se registró escasa heterocigosis estructural en el patrón de bandeo heterocromático entre cromosomas homólogos, consistentes entre los tipos de bandeo aplicados: C, AgNORs, CMA y DAPI. Los estudios permitieron la realización de análisis fenéticos y filogenéticos, cuyos árboles consenso mostraron topologías consistentes con publicaciones sistemáticas recientes a partir de datos moleculares. Asimismo, estos resultados facilitaron la propuesta de cruces entre donadores presentes en Venezuela con cualidades agronómicas y genéticamente distantes a *A. vera*, especie del género de mayor interés en la producción a nivel industrial.

ABSTRACT

Some species of the genus *Aloe* (*A. vera*, *A. ferox*, *A. arborescens* among others) are of great economic importance worldwide due to their high content of anthraquinones and pre-anthraquinones with medical properties and wide pharmacological uses. In some arid areas of Venezuela *Aloe* cultivation is carried out, with production problems in the field due to the susceptibility to pathogens under certain climatic condition. Therefore, local breeding programs have been developed that have resulted in some promising hybrids. Nevertheless, due to the limitations derived from the maintained self-incompatibility in *Aloe vera*, it is fundamental to perform biosystematic analyses prior to the interspecific crossing. In this study, twenty two *Aloe* species (selected in relation to their agronomic characteristics and/or potential) and two other representatives of closely related genera (*Gasteria* sp and *Kniphofia* sp) were characterized by their karyotypes using conventional staining and C, AgNOR, CMA and DAPI chromosome banding, with the purpose to contribute generating cytogenetic data to increase information for genetic improvement and breeding programs. Studied species of *Aloe* and *Gasteria* sp presented a stable n = 14 karyotype (eight large subtelocentric chromosomes and six small submetacentric chromosomes). Evaluated entities exhibit constitutive heterochromatin in various combinations: CMA+/DAPI-, CMA0/DAPI+, CMA-/DAPI+, CMA0/DAPI-, CMA+/DAPI0 and CMA+/DAPI+. Scarce structural heterozygosis is recorded in the heterochromatic banding pattern between homologous chromosomes, which remains consistent among the applied banding types: C, AgNORs, CMA and DAPI. These studies allowed the realization of phenetic and phylogenetic analyses whose consensus trees show consistent topologies with recent systematic publications from molecular data. Similarly, these results facilitated the proposal of crosses between donors present in Venezuela with agronomic qualities and genetically distant to *A. vera*, species of the genera with the greatest interest in massive industrial production.

Palabras clave: fitomejoramiento, *Aloe*, bandeo cromosómico, cariomorfometría.

Key words: plant breeding, *Aloe*, chromosomal banding, karyomorphometry.

Recibido: 13/04/2018 Aprobado: 10/07/2018 Versión Final: 27/08/2018

INTRODUCCIÓN

El género *Aloe* L., circunscrito en la familia Asphodelaceae Juss., con quinientas cincuenta y ocho (558) especies aceptadas (ThePlantList, 2013) es reconocido por sus propiedades medicinales, cosmetológicas, ornamentales y mágico-religiosas (Holland, 1978). La especie de interés principal es *A. vera* originaria de la península de Arabia y cultivada en regiones cálidas de todo el mundo (Grace *et al.*, 2015). Otras especies como *A. ferox* y *A. arborescens* también son comercializadas por sus propiedades curativas, gracias a las altas concentraciones de antraquinonas y pre-antraquinonas (Reynolds, 2004).

El género *Aloe* ha sido estudiado ampliamente con citogenética clásica desde inicios del siglo XX (Taylor, 1925) con reportes de siete (7) pares de cromosomas y la presencia de constricciones secundarias en algunos de los cromosomas grandes. Los trabajos de mayor relevancia realizados en el grupo durante el siglo pasado son los publicados por Brandham (1977), en los cuales señala al grupo como uno de los más estables en cuanto a morfología cromosómica y número básico ($X=7$). Este autor reporta a la mayoría de las especies de *Aloe* como diploides ($2n=14$), con algunas tetraploides y una hexaploide (*A. ciliaris*); todas, con un cariotipo bimodal conformado por un cromosoma submetacéntrico grande (L_1), tres (3) grandes acrocéntricos (L_2 , L_3 , y L_4) y tres (3) pequeños submetacéntricos S_1 , S_2 y S_3 .

El género *Aloe* exhibe autoincompatibilidad en algunas especies y en su mayoría son referidas como protándricas (Smith y Newton, 2001). Estos fenómenos de autoincompatibilidad y protandria, también han sido reportados en *A. vera* (Imery y Cequea, 2008). La autoincompatibilidad es sugerida por la poca variabilidad genética entre las poblaciones que formaron parte del estudio. Asimismo, estos autores describen la formación de híbridos entre *A. vera* y *A. maculata* (= *A. saponaria*). En *Gasteria*, género también perteneciente a la familia Asphodelaceae, cercano a *Aloe*, se han

obtenido híbridos con frutos de mayor tamaño y mayor cantidad de semillas al realizar cruzamientos interespecíficos que los obtenidos de especies autocompatibles.

La posibilidad de realizar cruces entre *A. vera* con otras especies de *Aloe* puede aportar cualidades agronómicas interesantes para la mejora genética de esta especie, tales como: resistencia a patógenos, precocidad de crecimiento, adaptabilidad a nuevas áreas de cultivo, incremento en la producción de polisacáridos, entre otros (Imery-Buiza, 2012).

Reportes previos, como cruces interespecíficos y la posibilidad de autoincompatibilidad por factores de similitud genética, promueven la realización de análisis sistemáticos en *Aloe* que puedan aportar referentes para cruces entre especies con cualidades agronómicas en la producción de *A. vera*. En este sentido, se pueden emplear diversas fuentes de información, como la molecular, citogenética y morfológica que permitan la realización de estudios biosistemáticos para la elaboración de árboles fenéticos y filogenéticos que propongan distancias genéticas entre las especies (Sánchez, 2010). Los estudios citogenéticos convencionales y moleculares, no sólo son importantes como aportes básicos a la ciencia o en la elucidación de eventos de hibridación en plantas, también han sido empleados en análisis biosistemáticos (Guerra, 2000); por tanto, el estudio de los caracteres citogenéticos, como número cromosómico, tamaño de los cromosomas, figuras meióticas, posición del centrómero y diferentes tipos de bandeo, pueden ser significativos a la hora de establecer comparaciones entre diferentes entidades. Así, el propósito de esta investigación fue estudiar mediante citogenética convencional y bandeo cromosómico (C, AgNOR, CMA y DAPI) a veintidós (22) especies de *Aloe* (seleccionadas por rasgos agronómicos) y dos (2) especies de los géneros hermanos *Gasteria* y *Kniphofia*, con la finalidad de realizar propuestas de distancia genética entre las especies seleccionadas, y aportar datos a los programas de mejoramiento genético en *A. vera*.

MÉTODO

Material vegetal

Se emplearon veintidós (22) especies del género *Aloe*, una de *Gasteria* sp y una de *Kniphofia* sp, provenientes del banco de germoplasma de especies suculentas, del Departamento de Biología de la UDO y otras germinadas en el Laboratorio de Citogenética y Biosistemática Vegetal, IBE – UCV (tabla 1).

Preparación de láminas: se colectaron ápices radicales que fueron pretratados con colchicina (0,05%) por 2,5 h o paradiclorobenceno (pDB) saturado por 3 h y se fijaron en Carnoy II 4 °C por 48 h. Las preparaciones cromosómicas, se realizaron según metodología de Schwarzacher *et al.*, (1980). Las láminas fueron tratadas con CO₂ en estado sólido (hielo seco) por 2 min hasta congelar la lámina y separar el cubreobjetos. Los cromosomas fueron observados en un microscopio óptico Leica DMLB, utilizando epifluorescencia, obteniéndose fotomicrografías mediante una cámara digital Leica DC 250 provista del analizador de imágenes Leica IM 1000 y en un microscopio Nikon OPTIPHOT-2 con epifluorescencia, en el cual las fotomicrografías fueron tomadas con una cámara digital Kodak EasyShare DX4530 zoom. Las imágenes fueron procesadas con los programas Adobe Photoshop 7,0 y CorelDRAW 12.

En el análisis morfométrico, se tomaron las longitudes absolutas y relativas de los brazos cromosómicos del complemento haploide, índice centromérico e índice radial (Levan *et al.*, 1964). Se emplearon los índices de asimetría (A₁, A₂, CV y CL) propuestos por Stebbins, (1971) y Romero-Zarco, (1986). Las mediciones se realizaron con el programa MicroMeasure 3,3. El porcentaje de heterocromatina se determinó por la relación de los valores absolutos de las bandas heterocromáticas y la longitud total del complemento (LTC). A partir de las medidas se construyeron los respectivos idiogramas en el programa CorelDRAW 12. Los estadísticos descriptivos (promedios $\pm$ desviación estándar) se determinaron con Microsoft Office Excel 2007; mientras que, el resto de las pruebas paramétricas

y no paramétricas, se realizaron con el paquete de SPSS 12,0 para Windows.

Bandeo cromosómico: en fluorescencia se siguió el protocolo de Schwarzacher *et al.* (1980), en AgNORs el de Sánchez *et al.* (2007), y en bandeo C el de Schwarzacher *et al.* (1980) y Moscone *et al.* (1993), con las modificaciones acordes al material vegetal empleado (Sánchez, 2010).

Análisis de agrupamiento: en los análisis, se consideraron datos citogenéticos estables como número cromosómico, tipos de cromosomas, medidas cariomorfométricas y datos obtenidos a partir del bandeo cromosómico de fluorescencia. Caracteres variables como NORs activos, número de cromocentros NORs, bandas CMA, DAPI no constantes y heteromorfías no estables, en los individuos estudiados, estuvieron exentos en los análisis. En total, se emplearon veinticuatro (24) especies u OTUs (unidades taxonómicas, en el caso de los análisis fenéticos). Durante los análisis, se decidieron cambios en cuanto a las OTUs incluidas en los estudios con la finalidad de evaluar la robustez y resolución de los dendrogramas. Así por ejemplo, en algunos análisis no se incluye a *Kniphofia* sp, considerada más lejana genéticamente; y así, sucesivamente, se fueron extrayendo o intercambiando entidades, tales como *Gasteria* sp, el híbrido natural *Aloe spinosissima* y los poliploides *A. ciliaris* y *A. jacksonii*. De una cantidad inicial de ciento veinticuatro (124) caracteres citogenéticos, se utilizaron cincuenta y cinco (55) seleccionados al inicio del análisis. Los cincuenta y cinco (55) atributos incluyen: diecisiete (17) cuantitativos (trece -13- continuos y cuatro -4- discretos) y treinta y ocho (38) cualitativos (cuatro -4- multiestado y treinta y cuatro -34- doble estado). Algunos caracteres cualitativos fueron transformados a doble estado (presencia/ausencia) con la finalidad de facilitar o aplicar otros tratamientos estadísticos. Durante el análisis, se consideró no agregar valor taxonómico adicional a un carácter al ser transformado a doble estado.

Tabla 1: Especies empleadas en el estudio: veintidós especies de *Aloe*, y dos externas.

Nom	Especie	Tipo de interés	CC
arb	<i>A. arborescens</i> Miller	Ubicación taxonómica y hábito, posible progenitor de <i>A. spinosissima</i> (Smith y Newton, 2001); posible resistencia a ciertos patógenos (Imery-Buiza, 2012)	VV*
imm	<i>A. affinis</i> A. Berger	Porte de la planta (Smith y Newton, 2001)	MG3548
ari	<i>A. aristata</i> Haworth	Porte y clasificación taxonómica	MG3506 S.S.S.A
cil	<i>A. ciliaris</i> Haworth	Nivel de ploidía	MG*
cla	<i>A. clavifloran</i> Burchell	Porte de la planta	MG
dich	<i>A. dichotoma</i> Masson	Crecimiento relativamente rápido, porte, clasificación taxonómica y resistencia a ciertos patógenos (Smith y Newton, 2001); Imery-Buiza, 2012)	MG3608
exc	<i>A. excelsa</i> A Berger	Porte, biomasa foliar y resistencia a ciertos patógenos (Imery-Buiza, 2012)	MG3807.7
fer	<i>A. ferox</i> Miller	Ubicación taxonómica, porte y metabolitos secundarios (Smith y Newton, 2001). Biomasa foliar, resistencia a ciertos patógenos (Imery-Buiza, 2012)	MG3532.5
gra	<i>A. grandidentata</i> Salm-Dyck	Especie robusta de crecimiento rápido y fácil adaptación (Smith y Newton, 2001)	MG3535
haw	<i>A. haworthioides</i> Baker	Porte y clasificación taxonómica	MG3535.5
hum	<i>A. humilis</i> (L.) Miller	Planta ornamental. Posible progenitor de <i>A. spinosissima</i> (Sánchez, 2003)	MG3540
jak	<i>A. jacksonii</i> Reynolds	Nivel de ploidía, valor ornamental, resistencia a la sequía y cambios ambientales en general (Smith y Newton, 2001)	MG* VV*
juc	<i>A. jucunda</i> Reynolds	Porte, valor ornamental y clasificación taxonómica	VV*
lit	<i>A. littoralis</i> Baker	Porte suculento, alto rendimiento foliar, escasa formación de hijuelos basales y fácil adaptación (Imery-Buiza, 2012)	MG3565
lut	<i>A. lutescens</i> Groenewald	Hábito y porte, escasa formación de hijuelos basales (Smith y Newton, 2001)	MG3572
pet	<i>A. petricola</i> Pole Evans	Hábito de la planta (Smith y Newton, 2001), biomasa foliar y resistencia a ciertos patógenos (Imery-Buiza, 2012)	MG3597.3
spi	<i>A. spinosissima</i> Berger	Híbrido natural entre <i>A. arborescens</i> y <i>A. humilis</i> (Sánchez, 2003)	LJN*
ten	<i>A. tenuior</i> Haworth	Clasificación taxonómica y ubicación ancestral en <i>Aloe</i> (BrandhamyDoherty, 1998)	MG3656 S.S.S.A
var	<i>A. variegata</i> L.	Ubicación taxonómica, valor ornamental y hábito ((Smith y Newton, 2001)	MG3681
ver	<i>A. vera</i> (L.) Burm. f.	Especie extensamente cultivada, resistente a tierras pobres y a la sequía, porte, suculencia y metabolitos secundarios (Dahlgren, 1985)	VV*
zeb	<i>A. zebrina</i> Baker	Porte de la planta, resistencia a ciertos patógenos (Imery-Buiza, 2012)	MG3695
sap	<i>A. maculata</i> Allioni	Clasificación taxonómica y hábito, resistencia a ciertos patógenos, compatibilidad (Smith y Newton, 2001; Imery-Buiza, 2012)	VV*
ver	<i>Gasteria</i> sp	Género con caracteres citogenéticos derivados con respecto a <i>Aloe</i> (BrandhamyDoherty, 1998)	VV*
Kni	<i>Kniphofia</i> sp	Género con caracteres citogenéticos ancestrales con respecto a <i>Aloe</i> (Smith y Newton, 2001)	M*

Las especies están organizadas de forma descendente de acuerdo a la clasificación de Jacobsen (1954). Nom. = nomenclatura empleada para identificar las especies. CC = código de colección de los sitios de procedencia del material: LJN = Le Jardin Nature, Francia. MG = Mesa Garden, USA. M = Mérida, Venezuela. S.S.S.A. = Silverhill Seeds, Sudáfrica. VV = viveros de Venezuela. *Material obtenido a partir de plantas. El resto se obtuvo de semillas.

Transformación de caracteres morfométricos: en los análisis filogenéticos, se emplearon sólo caracteres discretos, al igual que en algunos cálculos fenéticos; por tanto, los caracteres morfométricos se transformaron a discretos por el método de Thiele.

Análisis fenéticos: se realizaron con el programa NTSYS Version 2,11a desarrollado por Rohlf (1998).

Análisis de parecido taxonómico: se realizó a través de la aplicación de coeficientes de

asociación: **a)** análisis de similitud por *Simple Matching coefficient* (SM) y de Jaccard (J); **b)** análisis de distancia, como distancias euclidianas, de Manhattan y taxonómicas.

Análisis de conglomerados: en el análisis de agrupamiento, se empleó el método de ligamiento promedio no ponderado (UPGMA) con matrices provenientes de los coeficientes de similitud (SM y J) y de distancias taxonómicas, Manhattan y euclidianas. En aquellos análisis en los cuales se formaron más de dos dendrogramas, se localizó el árbol consenso por el método de consenso estricto (Rohlf, 1998). Asimismo, se realizaron cálculos cofenéticos (UPGMA y NJ).

Análisis filogenéticos: los taxa en estudio, al igual que los caracteres seleccionados, cumplieron con los cinco (5) requerimientos mínimos establecidos para la aplicación de análisis cladísticos en la evaluación de hipótesis de homología. Partiendo de la supuesta monofilia, señalada en el grupo bajo estudio (Smith y Newton, 2001; Chase *et al.*, 2000; Adams *et al.*, 2000), se aplicaron análisis filogenéticos a través del algoritmo de parsimonia empleado los programas PHYLLIP 3.68 (Felsenstein, 2008) y PAUP* versión 4.b10. En PHYLLIP. Se empleó el programa PARS (parsimonia con caracteres discretos) que sigue algoritmo de Wagner (Felsenstein, 2008). En PAUP, se empleó el principio de parsimonia de Wagner y la parsimonia de Fitch (Fitch, 1971). En la búsqueda del árbol más parsimonioso, o con un número menor de pasos, se empleó el método de búsqueda heurística, se aplicó un *Bootstraps* de mil (1000) y dos mil (2000) pseudo-réplicas (Felsenstein, 2008). Finalmente, cuando el resultado produjo más de un árbol, se seleccionó un árbol por el método consenso estricto y por la regla de la mayoría (*majority rule consense*). El tiempo de cómputo empleado fue desde 0,7s a 17h, dependiendo de las estrategias de cálculo indicadas. Los resultados filogenéticos con el método de parsimonia, se

sustentaron con el índice de consistencia (IC), el índice de retención (IR) y la longitud de las ramas (número de pasos). Los árboles resultantes de los análisis filogenéticos, se observaron y editaron con el programa TreeView (win16) versión 1,40.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en cuanto a la fórmula cariotípica, pares de cromosomas con NORs, longitud total del complemento, índices de asimetría, cantidad de heterocromatina y máximo número de bandas por complemento e ilustraciones referentes a los núcleos interfásicos y metafases somáticas con los diferentes tipos de bandeo, corresponden a datos publicados previamente (Sánchez *et al.*, 2007; Sánchez, 2010; Sánchez y Raymúndez, 2017; Sánchez *et al.*, 2018) (tabla 2).

En resumen, las especies evaluadas tienen AgNORs localizados sobre la región subtelomérica del brazo largo de uno o dos pares de cromosomas grandes, a excepción de *Aloe dichotoma* y *A. maculata*, especies en las cuales, además de revelarse NORs en uno de los pares grandes (L_4), también se ubican éstos en la región subtelomérica del brazo corto de uno de los pares cromosómicos pequeños. El número de AgNORs activos es de cuatro (4) en la mayoría de las especies; pero, puede variar desde uno (1) (todas, excepto *A. petricola*) a ocho (8) (sólo en *A. excelsa*), siendo *A. petricola* la única especie que exhibe un número constante de tres (3) zonas de organización nucleolar activas (Sánchez *et al.*, 2018). Las especies del género *Aloe* y el grupo externo *Gasteria* sp presentan un número cromosómico haploide $n=X=7$, excepto *A. jacksonii*, tetraploide con $n=2X=14$ y *A. ciliaris*, hexaploide con $n=3X=21$. La fórmula cariotípica haploide de cuatro (4) cromosomas grandes (L_1-L_4) y tres (3) cromosomas pequeños (S_1-S_3); también, es general entre las especies mencionadas previamente.

Tabla 3: Caracteres cariotípicos de las veintidós especies de *Aloe* y de *Gasteria* sp y *Kniphofia* sp.

Especie	Fórmula cariotípica (n)	Pares con NORs (st)	LTCH (µm) X (ds)	Cantidad de Heterocromatina			NORs CH	Bandas CD
				CMA+ (%)	DAPI+ (%)	*TOTAL (%)		
<i>A. haworthioides</i> [^]	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₂ , L ₄	71,81 (1,11)	1,62	0	1,62	2	4
<i>A. jacksonii</i> [^]	1L (sm) + 7L (st) + 6S (sm)	L ₄ , S ₂	182,84 (5,41)	1,15	6,46	7,64	4	36
<i>A. jucunda</i> [^]	4 L (st) + 1 S (m) + 2 S (sm)	L ₂ , L ₄	55,47 (2,34)	1,89	3,06	4,96	2	10
<i>A. aristata</i>	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₁ , L ₄	82,47 (5,81)	2,00	0	2,00	2	4
<i>A. humilis</i>	2 L (st) + 2 L (t) + 3 S (sm)	L ₃ , L ₄	66,18 (2,90)	1,69	0	1,69	2	4
<i>A. variegata</i>	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₃	75,49 (3,15)	0,66	0	0,66	1	2
<i>Aloe maculata</i>	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₄ , S ₁	101,09 (5,36)	1,26	0	1,26	2	3
<i>A. affinis</i> [^]	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₂ , L ₄	72,50 (2,98)	1,68	0	1,68	2	4
<i>A. zebrina</i> [^]	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₂ , L ₄	74,44 (5,62)	1,53	3,28	4,81	2	10
<i>A. grandidentata</i> [^]	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₃ , L ₄	84,80 (3,08)	1,38	0	1,38	2	4
<i>A. claviflora</i> [^]	1 L (sm) + 3 L (st) + 1 S (m) + 2 S (sm)	L ₃ , L ₄	52,10 (1,22)	1,65	7,96	9,61	2	18
<i>A. littoralis</i>	4 L (st) + 1 S (m) + 2 S (sm)	L ₂ , L ₄	71,161 (4,94)	1,58	3,34	4,83	2	10
<i>A. vera</i>	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₁ , L ₄ , S ₂	61,56 (6,30)	3,38	6,87	10,25	3	18
<i>A. lutescens</i> [^]	1 L (sm) + 3 L (st) + 3 S (sm)	L ₂ , L ₄	67,40 (3,32)	1,44	0	1,44	2	4
<i>A. ciliaris</i>	1 L (sm) + 11 L (st) + 1 S (m) + 9 S (sm)	L ₂ , L ₃ , S ₁	232,67 (28,13)	2,83	0	2,83	9	18
<i>A. tenuior</i>	1 L (sm) + 3 L (st) + 1 S (m) + 2 S (sm)	L ₂ , L ₃ , S ₁	66,66 (5,35)	2,90	2,02	4,92	3	10
<i>A. arborescens</i>	4 L (st) + 1 S (m) + 2 S (sm)	L ₂ , L ₄	93,70 (4,39)	1,92	0	1,92	2	4
<i>A. spinosissima</i> [^]	3 L (st) + 1 L (t) + 3 S (sm)	L ₂ , L ₃ , L ₄	72,60 (4,76)	1,41	0	1,41	2	4
<i>A. excelsa</i> [^]	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₃ , L ₄	65,45 (3,41)	1,65	0	1,65	2	4
<i>A. petricola</i> [^]	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₂ , L ₄	69,16 (5,41)	1,11	0	1,11	2	3
<i>A. ferox</i>	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₃ , L ₄	71,53 (5,52)	1,36	0	1,36	2	4
<i>A. dichotoma</i> [^]	1 L (sm) + 3 L (st) + 3 S (sm)	L ₁ , L ₄ , S ₂	62,25 (2,63)	1,86	0	1,86	2	4
<i>Gasteria</i> sp	4 L (st) + 3 S (sm)	L ₄ , S ₁	71,61 (2,95)	0,96	0	0,96	2	3
<i>Kniphofia</i> sp	6 L (sm)	L ₁ , L ₄	81,39 (9,39)	1,42	0	1,42	2	4

Abreviaturas: n = número haploide, L = cromosoma largo, S = cromosoma corto, sm = submetacéntrico, st = subtelocéntrico, NOR = región organizadora del nucleolo, CH = complemento haploide, CD = complemento diploide, LTCH = longitud total del complemento haploide, ds = desviación estándar, ^ = no se encontraron análisis cariomorfológicos previos. *Cantidad de heterocromatina expresada como porcentaje de LTCH.

Kniphofia sp, muestra un cariotipohaploide formado por seis cromosomas (n=6), grandes y submetacéntricos (tabla 2).

Los patrones de bandeo de fluorescencia obtenidos por combinación triple (CMA/DA/DAPI) y doble (CMA/DAPI) son generalmente patrones reversos de DA/DAPI o DAPI/AMD, excepto en las especies *A. jacksonii*, *A. jucunda*, *A. zebrina*, *A. claviflora*, *A. littoralis*, *A. vera*, *A. ciliaris* y *A. tenuior*,

donde la tinción CMA/DAPI no produce bandas reversas en todos los cromosomas que las presentan. Las especies estudiadas exhiben heterocromatina constitutiva en todas las combinaciones posibles (Sánchez, 2010).

En su mayoría, las bandas C se corresponden con las bandas reveladas con fluorocromos y con las zonas NORs observadas mediante la tinción con nitrato de plata. Adicionalmente, algunas especies como *A. jucunda*, *A. zebrina*, *A.*

claviflora y *A. littoralis* muestran bandas C centroméricas en varios pares cromosómicos (Sánchez, 2010).

Análisis fenéticos en *Aloe* y grupos relacionados

Se muestran los árboles obtenidos por UPGMA y provenientes de coeficientes de distancias taxonómicas. Se presentan dos (2), (Figs. 1 y 2), de los mejores onces (11) árboles seleccionados de más de doscientos (200) gráficos obtenidos a partir de los diferentes análisis de asociación (distancias de Manhattan, euclidianas, taxonómicas, *Simple Matching* y de Jaccard) y de conglomerados realizados (NJ y UPGMA). Los resultados de los análisis de conglomerados fueron consistentes entre sí en cuanto a la ubicación de los taxa.

El fenograma UPGMA (Fig. 1) obtenido de las distancias taxonómicas entre 21 taxa de *Aloe* sin considerar *A. spinosissima*, se construyó a partir de una matriz de veintitrés (23) caracteres mixtos, obtenida de la combinación de datos cualitativos y cuantitativos (Sánchez, 2010). Al nivel de mayor diferencia, se presentan tres grupos grandes: el grupo 1 con quince (15) especies, el grupo 2 con cuatro (4) especies (*A. tenuior*, *A. vera*, *A. littoralis* y *A. claviflora*) y el grupo 3 formado por las especies poliploides *A. ciliaris* y *A. jacksonii*. El primer grupo, se divide en dos subgrupos: uno constituido por *A. haworthioides*, *A. ferox*, *A. saponaria* (= *A. maculata*), *A. petricola*, *A. excelsa*, *A. arborescens*, *A. immaculata*, *A. aristata*, *A. grandidentata*, *A. variegata*, *A. dichotoma* y *A. lutescens* y el otro por *A. zebrina* y *A. jucunda* y una OTU aislada (*A. humilis*). El primer subgrupo, se subdivide a su vez en dos conjuntos uno formado por *A. haworthioides*, *A. ferox*, *A. saponaria*, *A. petricola*, *A. excelsa*, *A. arborescens*; y otro con *A. immaculata*, *A. aristata*, *A. grandidentata* y la OTU *A. variegata*. El primero forma dos subconjuntos: uno formado por *A. haworthioides* y *A. ferox*; y otro por *A. saponaria* (= *A. maculata*), *A. petricola* y *A. excelsa* con una distancia de 0,52 y la OTU aislada *A. arborescens* a una distancia

de 0,62 aproximadamente. Dentro del segundo conjunto del subgrupo *A. immaculata* y *A. aristata* se presentan como las especies con menor distancia entre sí a 0,27 y difieren de *A. grandidentata* a 0,52. Los grupos 1 y 2 difieren a una distancia de 1,35 y estos a su vez, se separan del tercer grupo (*A. ciliaris* y *A. jacksonii*) a la distancia mayor de 2,25. En el grupo dos *A. claviflora* y *A. littoralis* son las especies con menor distancia fenética entre sí (0,66) seguidas por la OTU *A. vera* a 0,88 y la OTU *A. tenuior* a 1,18. En el grupo tres (3), se resuelven las especies poliploides *A. ciliaris* y *A. jacksonii* con los valores más altos de LTCH, heterocromatina total, NORs totales y zonas ricas en G-C en mayor proporción. En los grupos uno y dos se agrupan especies con LTCH, IC (índice centromérico), A_2 (índice de Romero-zarco) y $C_V C_L$ (índice de Pazco) cercanos entre sí. Se observa relación entre la ubicación de *A. saponaria* y *A. petricola* como menos distantes entre sí y su inclusión dentro del grupo cinco (5) de la clasificación de Smith y Newton (2001), siendo la primera que agrupa *A. saponaria* y *A. petricola* como especies hermanas.

Por otro lado, *A. excelsa*, *A. petricola* y *A. ferox*, siempre, se han clasificado dentro de la sección 6 *Pachydendron* (Reynolds, 2004) y en el fenograma, se observan a una distancia de 0,66; considerablemente cercanas. La especie *A. haworthioides* pertenece a la sección 1 *Aloinella*, cercana a la sección *Pachydendron* desde el punto de vista citogenético.

Las especies *A. immaculata* y *A. grandidentata* ubicadas en el mismo subgrupo pertenecen a la misma sección, sub-sección y serie (Sect. *Eualoe*, Subsect. *Humilis* y serie 10). *A. variegata*, pese a que pertenece a la Sect. *Eualoe* y Subsect. *Humilis*, presenta diferencias de peso; como menor cantidad de bandas CMA+, menor cantidad de heterocromatina total y menor cantidad de NORs, que la sacan del subgrupo, dejándola como una OTU aislada.

El fenograma UPGMA de la Fig. 2, obtuvo de un análisis posterior, donde se incluyeron caracteres nuevos a los datos mixtos tales como: NORs

totales, hábito, posición de las anteras y forma de la hoja en sección transversal. Los tres (3) últimos se tomaron de la publicación de Smith y Newton, (2001). Se observó una topología similar a los árboles anteriores, con el cambio en

la ubicación de *Gasteria* sp, la cual mostró un aumento en la distancia fenética a 1,35, quedando como una OTU aislada muy cercana a las poliploides y a *Kniphofia* sp.

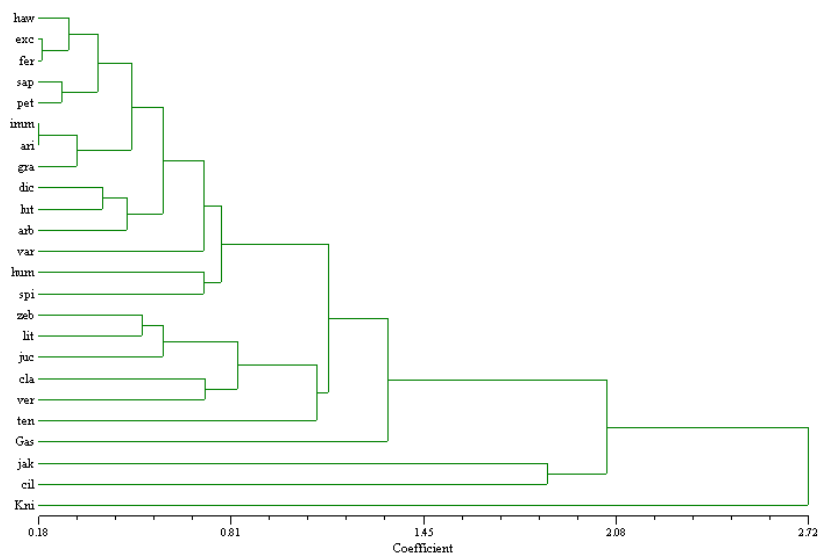


Fig. 1. Fenograma de distancias taxonómicas de las relaciones entre 21 taxa (sólo *Aloe* sin el híbrido *A. spinosissima*) resultantes del agrupamiento UPGMA a partir de datos mixtos. Análisis cofenético 0,92.

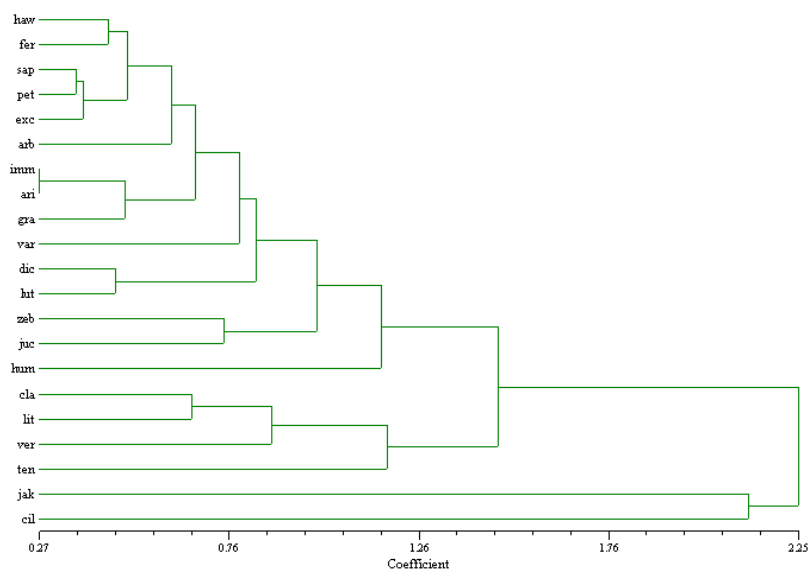


Fig. 2. Fenograma de distancias taxonómicas de las relaciones entre 24 taxa resultantes del agrupamiento UPGMA, a partir de datos mixtos y con la incorporación de nuevos caracteres discretos (Nº de NORs, hábito, posición de las anteras y forma de la hoja en sección transversal). Análisis cofenético 0,95.

Propuestas filogenéticas en el género *Aloe*

El tratamiento de los datos, como estado, codificación y otros, se presentaron en un trabajo previo (Sánchez, 2010). *A. spinosissima* no se consideró en los cálculos debido a que es un híbrido natural entre *A. arborescens* y *A. humilis* (Sánchez, 2003), hipótesis sustentada con evidencias citogenéticas, tales como la presencia de heteromorfías entre cromosomas homeólogos, valores intermedios de asimetría y presencia de cromosomas similares a los parentales propuestos (Sánchez y Raymúndez, 2017). De los caracteres empleados, veinte (20) fueron filogenéticamente informativos. Estos grupos se evaluaron con cien (100), mil (1000) y dos mil (2000) pseudo-réplicas o bootstraps con la finalidad de re-muestrear la formación de las ramas en los árboles a 50% ó 60%, presentadas sobre dichas ramas (Fig. 3).

Por otro lado, con la finalidad de evaluar el comportamiento de las especies en los cladogramas y la robustez de la topografía de los

árboles, se varió el número de especies consideradas en los análisis. Los cambios, se hicieron eliminando a los poliploides e intercambiando o excluyendo los grupos externos *Kniphofia* sp y *Gasteria* sp.

Los dendrogramas obtenidos tanto del programa PHYLIP 3,68 (Felsenstein, 2008) como de PAUP* versión 4.b10, presentan topologías similares con el mismo número de pasos. Los árboles obtenidos de uno u otro programa, al igual que con mínimas variaciones en las bases de datos, son congruentes en los grupos formados y muestran varios clados consistentes (Fig. 3).

La mayoría de los árboles mostraron ramas resueltas; sin embargo, los árboles consenso estricto elaborados a partir de bases sin algunos de los grupos externos presentaron amplias politomías. Al incluir los grupos hermanos *Kniphofia* sp y *Gasteria* sp, la topología del árbol consenso estricto mejoró, resolviendo varios grupos dicotómicamente (Fig. 3).

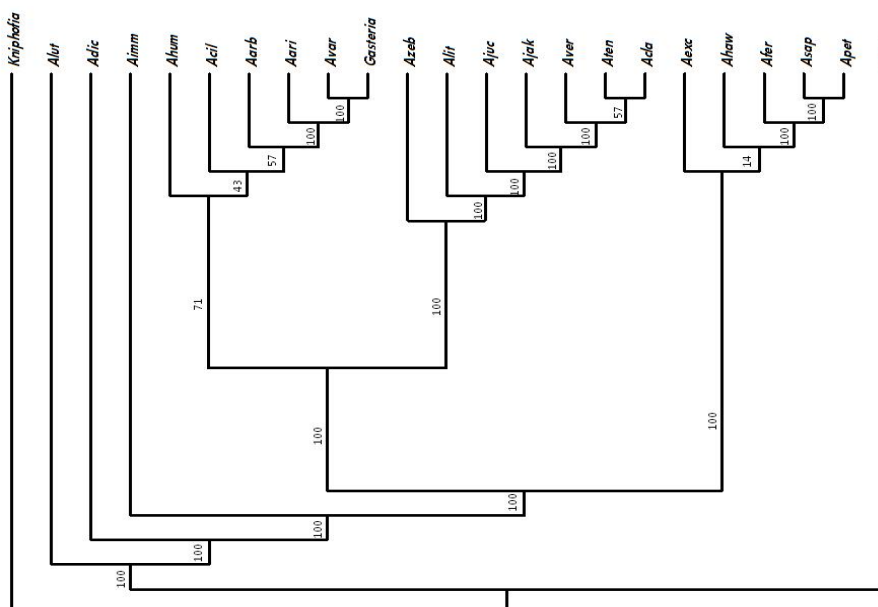


Fig. 3. Árbol consenso majrle de los doscientos (200) árboles más parsimoniosos. El árbol presenta ciento dieciséis (116) pasos. Los valores de mil (1000) Bootstraps mayores al 60%, se encuentran sobre las ramas. Cladograma realizado con veintitrés (23) especies (sin el híbrido *Aloe spinosissima*) y veintidós (22) caracteres (sin los valores absolutos de heterocromatina). IC=0,6697, IH=0,3303, excluyendo los caracteres no informativos; IR=0,6170. Análisis realizado con PHYLIP y PAUP.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en los cladogramas demuestran congruencias con propuestas actuales en el grupo en estudio (Treutlein *et al.*, 2003). En la Fig.3, se observa que *Gasteria* sp se resuelve dentro del *ingroup* junto con *A. aristata*, considerada recientemente para ser incluida en *Haworthia*, clado *Haworthia* II, subgénero *Hexangulares*; ya que, *A. aristata* presenta porte y metabolitos secundarios (antraquinonas y preantraquinonas) similares a *Haworthia* (Treutlein *et al.*, 2003). Adicionalmente, el presente estudio demuestra que *A. aristata* y *Gasteria* sp exhiben los cariotipos más asimétricos y con valores de LTCH relativamente altos (82,47 y 71,61µm en *A. aristata* y *Gasteria* sp, respectivamente), caracteres que las sugieren como especies derivadas entre las incluidas en el estudio, partiendo de la hipótesis que las especies derivadas en la familia Aloaceae (incluida actualmente en Asphodelaceae), presentan cantidades mayores de ADN (Brandham y Doherty, 1998; Zonneveld, 2002) y la especies más actuales tienden a presentar los cariotipos más asimétricos.

Por otro lado, aunque en el grupo *A. aristata* y *Gasteria* sp se introduce en varias oportunidades la especie *A. variegata*; el clado *A. aristata* y *Gasterias* sp constante en los árboles más parsimoniosos observados y coincide con la ubicación cercana entre las especies de *Gasteria* y los individuos de *A. aristata* estudiados por Treutlein *et al.*, (2003). Asimismo, la inclusión *A. variegata* como cercana a *Gasteria* sp puede constituir un signo filiar entre las especies, pues ambas exhiben porte y composición química similares; además de las semejanzas moleculares publicadas por Treutlein *et al.* (2003), quienes sugieren que la especie *A. variegata* debe ser ubicada en la Sect. *Serrulatae* SalmDyck del género *Gasteria*. La especie *A. variegata*, también presenta una LTCH relativamente alta (75,49µm) con respecto a las especies estudiadas e igualmente exhibe uno de los AI de Paszko más altos (18,552).

Los resultados obtenidos de diferentes bases de datos y tras la aplicación de distintos tipos de análisis generaron la formación agrupaciones similares y en muchos casos consistentes, como es el caso de las agrupaciones pequeñas, p.ej. *A. vera* - *A. claviflora*; dando señales del buen aporte que pueden realizar los datos citogenéticos por si solos.

Es importante señalar que, aunque pocos, son bien claros los signos de relaciones evolutivas demostrados por los caracteres citogenéticos; por tanto, la información cariomorfométrica puede ser una importante fuente de información sistemática en *Aloe*, confirmando una variación mínima, pero contundente y discontinua entre las especies del género y agregando un factor adicional al señalado por Brandham (2004), así como de los resultados obtenidos por Adams *et al.* (2000) con base en ADNr con FISH en *Aloe*.

Por otro lado, los aportes del presente estudio resultan útiles, también en la selección de especies aptas para un programa de mejoramiento genético en *A. vera* y otras especies de interés económico. Tal es el caso de *A. claviflora*, fuente promisoría de nuevas antraquinonas (Viljoen *et al.*, 1998), con reproducción sexual y asexual, la cual se resuelve como especie hermana de *A. vera* (Fig. 3). Asimismo, *A. saponaria* (= *A. maculata*) es una especie con la capacidad de formar híbridos artificiales con *A. vera* (Imery-Buiza *et al.*, 2008) y es menos afectada por patógenos como *Erwinia chrysanthemi*, características explotadas actualmente con la finalidad de incrementar la variabilidad genética para así potenciar su aprovechamiento en etapas iniciales de programas de selección clonal (Imery-Buiza, 2012). Asimismo, *A. saponaria* se resuelve como hermana de *A. petricola*, potencialmente tolerante a *E. chrysanthemi*, por lo que podría ser un genotipo promisorio ante futuros estudios de fitomejoramiento.

De acuerdo con las figuras 1 y 2, se formó un grupo grande (*A. haworthioides*, *A. ferox*, *A. saponaria*, *A. petricola*, *A. excelsa*, *A. arborescens*, *A. immaculata*, *A. aristata*, *A.*

grandidentata, *A. variegata*, *A. dichotoma* y *A. lutescens* y otro por *A. zebrina* y *A. jucunda*), alejado de *A. vera* y con *A. saponaria*. Este grupo es consistente, aun introduciendo el híbrido *A. spinosissima* y los externos *Gasteria* y *Kniphofia*; así que, se pueden proponer cruzamientos entre *A. vera* con estas especies, las cuales pueden ofrecer cualidades agronómicas como porte y resistencia a ciertos patógenos, crecimiento rápido, resistencia a la sequía y a cambios ambientales, presencia de metabolitos secundarios útiles, inhibición o escasa formación de hijuelos basales para facilitar labores agronómicas, entre otros (Smith y Newton, 2001).

Asimismo, con los análisis filogenéticos se observa que se mantiene el grupo conformado por *A. saponaria*, *A. excelsa*, *A. ferox* y *A. petricola*. Estas especies pueden aportar cualidades como resistencia al acame y a ciertos patógenos, porte grande y succulento, y adicionalmente *A. ferox* presenta los metabolitos de interés (Smith y Newton, 2001).

CONCLUSIONES

Los análisis sistemáticos aplicados, constituyen una fuente de información en las próximas propuestas de clasificación a realizarse en el género *Aloe*, formando grupos que refuerzan las hipótesis realizadas a partir de estudios morfológicos, químicos y moleculares.

Se propone un nuevo nivel de variación (cariomorfológico), aunque muy sutil, considerable como para permitir la delimitación de las especies y organización de grupos sistemáticamente relacionados. Los dendrogramas obtenidos, facilitaron la propuesta de cruces entre donadores presentes en Venezuela con cualidades agronómicas y fitoquímicas promisorias y genéticamente distantes a *A. vera*.

REFERENCIAS

- Adams, S., Leitch, L., Bennett, M., Chase, M., Leitch, A. (2000). Ribosomal DNA evolution and phylogeny in *Aloe* (Asphodelaceae). *American Journal of Botany* 87:1578-1583.
- Brandham, P. (2004). The chromosome of *Aloe* - variation on a theme. In: Reynolds, T. (ed.) *Aloes: the genus Aloe. Medicinal and aromatics plants-industrial profiles*. CRC Press, U.S.A. 355-360.
- Brandham, P., Doherty, M. (1998). Genome size variation in the Aloaceae, an angiosperm family displaying karyotypic orthoselection. *Ann. Bot.* 82 (Sup A):67-73.
- Brandham, P., Johnson, M. (1977). Population Cytology of Structural and Numerical Chromosome Variants in the *Aloineae* (Liliaceae). *Pl. Syst. Evol.* 128:105-122.
- Chase, M., Bruijn, A., Cox, A., Reeves, G., Rudall, P., Johnson, M., Eguarte, E. (2000). Phylogenetics of Asphodelaceae (Asparagales): An Analysis of plastid *rbcL* and *trnL-F* DNA Sequences. *Ann. Bot.* 86:935-951.
- Felsenstein, J. (2008). Comparative methods with sampling error and within species variation: contrasts revisited and revised. *Amer. Nat.* 171:713-725.
- Fitch, W. (1971). Toward defining the course of evolution: Minimal change for a specific treetopology. *Syst. Zool.* 20:406-416.
- Grace, O., Buerki, S., Symonds, M., Forest, F., Van-Wyk, A., Smith, G., Klopper, R., Bjora, C., Neale, S., Demissew, S., Simmonds, M., Ronsted, N. (2015). Evolutionary history and leaf succulence as explanations for medicinal use in aloes and the global popularity of *Aloe vera*. *B.M.C. Evol. Biol.* 15:1-12.
- Guerra, M. 2000. Patterns of heterochromatin distribution in plant chromosomes. *Genet. Mol. Biol.* 23:1029-1041.
- Holland, P. G. (1978). An evolutionary biogeography of the genus *Aloe*. *J. Biogeogr.* (5):213-226.
- Imery, J., Raymúndez, M., Menéndez, A. (2008). Karyotypic variability in experimental diploid and triploid hybrids of *Aloe vera* x *A. saponaria*. *Cytologia.* 73:305-311.
- Imery-Buiza, J. (2012). *Aloe vera*. In: Singh, R. (ed.) *Genetic resources, chromosome*

- engineering, and crop improvement. Medicinal plant. CRC Press, U.S.A. 847-884.
- Imery, J., Cequea, H. (2008). Autoincompatibilidad y protandria en poblaciones naturalizadas de *Aloe vera* de la península de Araya, Venezuela. *Polibotanica*. 26:113-125.
- Levan, A., Fredga, K., Sandberg, A. (1964). Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas*. 52:201-220.
- Moscone, E., Lambrou, M., Hunziker, A., Ehrendorfer, F. (1993). Giemsa C-banded karyotypes in *Capsicum* (Solanaceae). *Pl. Syst. Evol.* 186:213-229.
- Reynolds, T. (2004). *Aloe* chemistry. In: Reynolds, T. (ed.) *Aloes: the genus Aloe*. Medicinal and aromatics plants-industrial profiles. CRC Press, U.S.A. 39-74.
- Romero-Zarco, C. (1986). A new method for estimating karyotype asymmetry. *Taxon*. 35:526- 230
- Sánchez, Y., Imery, J., Raymúndez, M. (2007). Estandarización del protocolo AgNORs en *Aloe petricola* Pole Evans (Aloaceae). *Rev.Fac.Agron.LUZ*. 24 (Supl. 1):1-6.
- Sánchez, Y. (2010). Contribución al conocimiento citotaxonómico en el género *Aloe* L. (Aloaceae) basado en patrones de bandeo cromosómico C, AgNOR, DAPI y CMA. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 500 pp.
- Sánchez, M. 2003. Los Aloes. Disponible en: <http://D:\LOS ALOES.htm>
- Sánchez, Y., Raymúndez, M.B. (2017). Análisis del cariotipo del híbrido natural *Aloe x spinosissima* Jahand. y de sus parentales *Aloe arborescens* Mill. y *Aloe humilis* (L.) Mill., mediante bandeo cromosómico C, CMA y DAPI. *Rodriguésia* 68:1263-1272.
- Sánchez-G., Y., Raymúndez, M.B., Imery, I., Acosta, M.C., Moscone, E. (2018). Characterization of eight species of *Aloe* (Asphodelaceae) from the nucleolar organizing region. *Rodriguésia* 69:363-372.
- Schwarzacher, T., Ambros. P., Schweizer, D. (1980). Application of Giemsa banding to orchid karyotype analysis. *Pl. Syst. Evol.* 134:293-297.
- Stebbins, G. (1971). Chromosomal evolution in higher plant. E. Arnold Pub., UK. 216 pp.
- Smith, G., Newton, L. (2001). Aloaceae. In: Eggle, U. (ed.) *Illustrated handbook of succulent plants: Monocotyledons*. Springer, Berlin. I-XXXII illustrations [102-186]. 57p.
- Taylor, W. (1925). Chromosome constrictions as distinguishing characteristics in plants. *Amer. J. Bot.* 12:238-244.
- The Plant List. (2013). The plant list. Version 1.1. Disponible: <http://www.theplantlist.org>.
- Treutlein, J., Smith, G., Van Wyk, B., Wink, M. (2003). Phylogenetic relationships in Asphodelaceae (Subfamily Aloioideae) inferred from chloroplast DNA sequences (*rbcL*, *matK*) and from genomic fingerprinting (ISSR). *Taxon*. 52:193-207.
- Viljoen, A., Van Wyk, B., Van Heerden, F. (1998). The distribution and chemotaxonomic significance of flavonoids in the genus *Aloe*. *Pl. Syst. Evol.* 211:31-42.
- Zonneveld, B.J.M. (2002). Genome size analysis of selected species of *Aloe* (Aloaceae) reveals the most primitive species and results in some new combinations. *Bradleya*. 20:5-12.

AGROPECUARIA

ESTANDARIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE PROTOCOLO PARA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN MATERIAS PRIMAS AGROALIMENTARIAS

STANDARDIZATION AND VALIDATION OF THE PROTOCOL FOR DETERMINATION OF TOTAL PHOSPHORUS IN AGRO-FOOD RAW MATERIAL

Autores:

Rodríguez, Ulfe¹; Mora, Robert²; Herrera, Ana²; Valduz, Zuleima²¹Sementales Probados C.A. – SEMPRO, Venezuela²Universidad Nacional Experimental del Táchira – UNET, Venezuela

Corresponding Author: ivalduz@unet.edu.ve

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estandarizar y validar el protocolo utilizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) para determinar fósforo (P) total en materias primas vegetales mediante espectrofotometría UV-visible. Los parámetros de la validación fueron: linealidad, sensibilidad, precisión, exactitud y sesgo. Los resultados fueron: linealidad, *P*-valor de 0,0635 ($\alpha = 0,05$) en el *test* de Bartlett, coeficiente de correlación lineal (*r*) 0,9994 y coeficiente de determinación (*r*²) 0,9988; sensibilidad = $0,8413 \pm 0,0051 \text{ ppm}^{-1}$; exactitud, de 100,43 % y 0,43 % para la recuperación (R) y el error relativo (Er), respectivamente; el valor del coeficiente de variación (CV) fue 1,91 % para la precisión en condiciones de repetibilidad y del 1,45 % para la precisión intermedia y sesgo de 0,001 % P en términos absolutos. La homocedasticidad, el “*r*” entre 0,98-1 y el *r*² > 0,995 demuestran la linealidad en el rango de trabajo; la calibración presentó buena sensibilidad; hay precisión y exactitud en las mediciones debido a que tanto la repetibilidad como la precisión intermedia mostraron valores de CV menores al 2 %; los parámetros de precisión están dentro de los rangos de aceptación: 98-102 % para R y ± 2 % para Er; asimismo, se verificó la ausencia de un sesgo significativo. Los valores de validación estadística obtenidos en el estudio mostraron que el protocolo de determinación utilizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de la UNET cumple con la calidad requerida; por tanto, permite que la evaluación e interpretación de resultados de los análisis puedan realizarse de forma correcta, segura y confiable.

ABSTRACT

The main objective of this work was to validate and standardize the protocol used at the UNET Animal Nutrition Laboratory to determine the total phosphorus (P) in vegetable raw material using UV-visible spectrophotometry. The validation parameters were: linearity, sensitivity, precision, accuracy and bias. The results obtained were: linearity, *P*-value of 0,0635 ($\alpha = 0,05$) in the Bartlett test, linear correlation coefficient *r* = 0,9994 and coefficient of determination (*r*²) = 0,9988; sensitivity = $0,8413 \pm 0,0051 \text{ ppm}^{-1}$; accuracy, of 100,43% and 0,43% for the recovery (R) and relative error (Er), respectively; the coefficient of variation value (CV) was of 1.91% for the precision under conditions of repeatability, and 1,45% for intermediate precision; bias of 0,001% P in absolute terms. The homoscedasticity, the “*r*” between 0,98-1 and the *r*² > 0,995, demonstrates the linearity in the working range; the calibration presented good sensitivity; there is precision and accuracy in the measurements due to that both repeatability and intermediate precision showed CV values of less than 2%; the accuracy parameters are within the acceptance ranges: 98-102% for R and ± 2 % for rE. Likewise, the absence of a significant bias was verified. The statistical validation values obtained in the study showed that the determination protocol used at the UNET Animal Nutrition Laboratory complies with the required quality; therefore, it allows the evaluation and interpretation of results of the analyzes to be carried out correctly, safely and reliably.

Palabras clave: Validación, protocolo, espectrofotometría, fósforo total

Key words: Validation, protocol, spectrophotometry, total phosphorus

INTRODUCCIÓN

Para garantizar la calidad de los resultados, los laboratorios deben validar todos los métodos que utilicen, tanto los desarrollados por estos mismos como aquellos procedentes de fuentes bibliográficas o desarrollados por otros laboratorios (COVENIN 2534: 1999). De esto depende que la evaluación e interpretación de resultados de un análisis de laboratorio pueda realizarse de forma correcta, segura y confiable (Núñez *et al.*, 2007).

En el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) se realiza -como parte del proceso de docencia directa y de investigación- análisis físico-químico a materias primas, alimentos concentrados y suplementos utilizados para alimentación animal; entre los análisis se encuentra la determinación de fósforo (P), dada su importancia a nivel celular, fisiológico y, por ende, nutricional. El protocolo usado en el laboratorio para la determinación de P abarca dos etapas: la digestión nítrico-perclórica de las muestras y la cuantificación mediante el procedimiento fotocolorimétrico del ácido ascórbico y el molibdato de amonio, propuesto por Chen *et al.* (1956), el cual se fundamenta en la reacción en medio ácido entre el ión fosfato y el molibdato de amonio para formar fosfomolibdato, que es reducido por el ácido ascórbico a azul de molibdeno, coloración azul susceptible de ser cuantificada por equipos espectrofotométricos a longitud de onda específica; la intensidad del color es proporcional a la concentración de P presente en la dilución.

El objetivo del presente estudio fue el de estandarizar y validar el protocolo usado en el Laboratorio de Nutrición Animal UNET para la determinación de P en materias primas de origen vegetal mediante los parámetros de linealidad, sensibilidad, precisión, exactitud y sesgo.

Linealidad: Es la capacidad de un método analítico, dentro de un determinado intervalo, de ofrecer resultados de laboratorio que sean directamente proporcionales con la cantidad del

analito presente en la muestra (Instituto de Salud Pública, 2010; UNODC, 2010). Para determinar la linealidad se depende del gráfico de concentración vs respuesta, normalmente llamado *recta de calibrado* (Instituto de Salud Pública, 2010). Existe en la literatura diversas formas y combinaciones para expresar y evaluar la linealidad: inspección visual del gráfico, verificación del paso del intercepto por cero, distribución aleatoria de los residuos, varianza constante para todas las concentraciones (homocedasticidad), coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) y el coeficiente de determinación (r^2) (Ministerio de Salud de Costa Rica, 2005; UNODC, 2010; Cádiz y García, 2015; Eurolab, 2016).

Sensibilidad: La sensibilidad analítica es la variación de la respuesta del instrumento que corresponde a una variación de la magnitud medida (Eurolab, 2016); esta mide la capacidad del equipo para discriminar entre pequeñas diferencias en la concentración del analito (Crubelatti y Di Risio, 2009; Rodríguez *et al.*, 2012). Para expresar la sensibilidad de un método analítico se pueden utilizar los valores de la pendiente de la recta de calibrado (m) o de la precisión (Sabido *et al.*, 2010). La pendiente (m) de la curva de calibración es el cociente entre la señal medida y la concentración de analito (IUPAC, 2014); cuanto mayor es la pendiente, mayor es la sensibilidad del método (Rodríguez *et al.*, 2012).

Precisión: La precisión es una medida que determina cuán cerca están los resultados entre sí (Eurolab, 2016). Definida por la FAO (2006) como la concordancia más estrecha entre los resultados independientes de una prueba obtenidos bajo condiciones prescritas; refleja los errores aleatorios que se producen cuando se utiliza un método (UNODC, 2010). Por lo general, se expresa mediante la desviación estándar o la desviación estándar relativa, comúnmente conocida como coeficiente de variación (Eurolab, 2016).

La precisión puede considerarse a tres niveles: repetibilidad, precisión intermedia y reproducibilidad. La **repetibilidad** es la precisión

bajo las mismas condiciones de operación en un intervalo de tiempo corto, por un mismo analista, en la misma muestra homogénea y en el mismo equipo; la **reproducibilidad** expresa la precisión entre laboratorios como resultado de estudios interlaboratorios diseñados para estandarizar la metodología y la **precisión intermedia** es la precisión obtenida con la misma muestra homogénea dentro del mismo laboratorio, en un intervalo de tiempo corto, por diferentes analistas o equipos (Ministerio de Salud de Costa Rica, 2005).

Exactitud: Es definida como una cualidad que refleja el grado de concordancia entre el resultado de un ensayo y el valor de referencia o verdadero de la magnitud a medir (Codex Alimentarius, 2008; COVENIN 255:1999). Indica qué tan alejado se está del valor verdadero tomando en cuenta los errores que existen en el proceso de medición (FAO, 2006; UNODC, 2010); tales errores suponen una combinación de componentes aleatorios y sistemáticos (Instituto de Salud Pública, 2010; Eurolab, 2016). La exactitud como tal, generalmente, se cuantifica mediante porcentaje de recuperación (R) y/o porcentaje de error relativo (Er).

Sesgo: Es la desviación consistente de los resultados analíticos del valor de referencia aceptado causado por errores sistemáticos en el procedimiento. Puede expresarse en términos absolutos (Zagal y Sadzawka, 2007; Instituto de Salud Pública, 2010) o en términos relativos en porcentaje (Eurolab, 2016).

MÉTODO

A partir de fosfato monosódico monohidrato ($\text{PO}_4\text{H}_2\text{NaH}_2\text{O}$) y agua desionizada se preparó una solución madre de 400 ppm de P. Para

obtener una solución estándar de 4 ppm de P, se vertió en un balón de digestión micro Kjeldahl de 100 mL: 1 mL de solución de 400 ppm de P, 2 mL de HNO_3 al 65 % y 1 mL de HClO_4 al 70 %; se llevó a digestión, durante 7 minutos aproximadamente, en un digestor de seis puestos (Labconco, modelo 60300-00); se dejó enfriar a temperatura ambiente y se aforó con agua desionizada. Para preparar el blanco se utilizó 1 mL de agua desionizada; se llevó a digestión con similar procedimiento que el utilizado para obtener la solución estándar de 4 ppm de P.

Para el proceso de digestión nítrico perclórica se utilizaron 200 mg de la muestra de pasto seco, homogéneo y finamente molido; se llevaron a balones de digestión y se agregaron 2 mL de HNO_3 (65 %) y 1 mL de HClO_4 (70 %). En el equipo digestor ya encendido, en la posición número 5 del *switch* de control de temperatura, se ubicaron los balones durante 7 a 8 minutos o hasta que las soluciones con las muestras viren de color marrón a amarillo traslúcido y los humos rojos comenzaron a tornarse blancos; se enfriaron a temperatura ambiente. Se realizó un lavado a los tubos con agua desionizada con objeto de arrastrar los residuos que hayan quedado en sus paredes; se regresaron al digestor durante 2 minutos; una vez enfriados se trasvasó cada sobrenadante a balones de 100 mL, lavando bien los balones de digestión con agua desionizada, procurando arrastrar toda la muestra a los balones de 100 mL, hasta aforar.

La preparación de soluciones patrón, blanco y muestras se realizó agregando a tubos de ensayo el reactivo de color molibdato de amonio – ácido ascórbico (Chen *et al.*, 1956), agua desionizada y la alícuota de la solución digerida, de acuerdo a las cantidades que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Preparación colorimétrica de blancos, soluciones patrón y muestras del pasto evaluado.

Fuente (mL)	Blanco (mL)	Concentración de P (ppm) en soluciones patrón				Muestra (mL)
		2	4	6	8	
Solución digerida	1,0	0,5	1,0	1,5	2,0	1,0
Agua desionizada	3,0	3,5	3,0	2,5	2,0	3,0
Reactivo de color	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Los tubos de ensayo ya preparados (blancos, soluciones patrón y/o muestras) se colocaron en baño de María, a 37 °C por 90 minutos, período durante el cual fueron agitados varias veces con el fin de favorecer la reacción que permite el desarrollo del color azul característico de este método colorimétrico.

Para las lecturas ópticas se empleó un espectrofotómetro Genesys, serie 10, marca Thermo Electron Corporation, a longitud de onda (λ) de 820 nm. La curva de calibración se construyó con las lecturas de absorbancia (*Abs*) vs concentración de las soluciones patrón a partir de la cual se obtuvo la ecuación de regresión correspondiente. Para determinar el % P (p/p) en la muestra de pasto se hizo la corrección de la dilución mediante la Ecuación 1; X_A representó la concentración obtenida de la ecuación de regresión y 4 fue el factor de dilución, calculado como el cociente entre el producto de los volúmenes de dilución de la solución digerida (100 y 8 mL) y el peso de la muestra (200 mg).

$$\%P (X_B) = \frac{X_A}{10} * 4 \quad (1)$$

El valor de referencia o valor aceptado (0,28 % P) para la muestra única de pasto utilizada en los ensayos para evaluar precisión, exactitud y sesgo provino del laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) ubicado en la localidad de Bramón, estado Táchira, ente que cumple con los requisitos de control en los sistemas de calidad y gestión de laboratorios analíticos establecidos para su funcionamiento. La calibración de la curva se realizó siguiendo las pautas generales de la norma COVENIN 3583:2000. A partir de la solución estándar de 4 ppm P, se prepararon por sextuplicado, cinco concentraciones entre 0 – 8 ppm P (Tabla 1). Con las 30 lecturas se graficó la curva (*Abs* vs concentración) y se obtuvo el modelo de regresión lineal (Ecuación 2); donde: $Y = Abs$; m = pendiente; X_A = concentración; b = intercepto con el eje de las Y.

$$Y = mX_A + b \quad (2)$$

Linealidad y sensibilidad

La linealidad de la curva de calibración en el intervalo de trabajo considerado se analizó por medio de la inspección visual del gráfico *Abs* vs X_A , la condición de homocedasticidad, el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) y el coeficiente de determinación (r^2). Para verificar la condición de homocedasticidad con el programa Statgraphics, se aplicó a los datos el Test de Bartlett a nivel de significancia del 95 %. Mientras que para evaluar la linealidad se tomaron como referencia los criterios del Ministerio de Salud de Costa Rica (2005): confirmación de homocedasticidad, r entre 0,98 - 1 y $r^2 > 0,995$.

Para estimar la sensibilidad del método se utilizó el valor promedio de las pendientes de la recta de calibrado. Los promedios de las *Abs* obtenidas para cada concentración, fueron utilizadas con el fin de calcular la sensibilidad en cada punto de la curva; obtenidas al sustituirse en la ecuación del modelo de regresión lineal de la curva de calibración.

Precisión, exactitud y sesgo

El estudio de precisión, exactitud y sesgo se realizó con una muestra compuesta y única de pastos, cuyo valor de referencia en cuanto a contenido de P (0,28 %) fue suministrado por el laboratorio del INIA-Táchira.

Se diseñaron dos pruebas: la primera para evaluar la precisión en condiciones de repetibilidad, la exactitud y el sesgo, en la que tres sub-muestras, de la muestra única de pasto, se trabajaron con ocho repeticiones en tres días diferentes; la segunda prueba tuvo como finalidad evaluar la precisión intermedia y se contó con dos equipos de fotolorimetría (Spectronic 20D y Genesys 10). Asimismo, dos sub-muestras de pasto se analizaron durante dos sesiones de trabajo, en el mismo laboratorio, con el mismo método y con el mismo analista. Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas, se procesaron con el programa Statistix 8, a un nivel de significancia del 5 %; se realizaron los test de Shapiro-Wilk y el Test de Bartlett para

verificar el comportamiento normal de los datos y la homocedasticidad, así como el análisis de varianza. Los análisis de la varianza deben arrojar ausencia de diferencias estadísticas entre los grupos de datos evaluados; para esto, los P-valor generados de las ANOVAs deberán ser mayores a los P-críticos, cuyos valores están en función del nivel de significancia con el que se evalúan los datos; ejemplo: para un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0,05$; intervalo de confiabilidad de 95 %), P crítico = 0,05.

La precisión (en condiciones de repetibilidad y la intermedia) se determinó mediante el coeficiente de variación (CV). El criterio de aceptación utilizado fue $CV \leq 2$ %, valor indicado, de forma específica para repetibilidad y precisión intermedia, por el Ministerio de Salud de Costa Rica (2005).

La exactitud se determinó mediante dos indicadores porcentuales: recuperación (R) y error relativo (Er), calculados de acuerdo a las Ecuaciones 3 y 4, respectivamente; donde: X_B = contenido de P obtenido para la muestra y μ = la concentración teórica, verdadera o de referencia, expresadas ambas como % P (p/p).

$$\%R = (X_B/\mu) * 100 \quad (3)$$

$$\%Er = [(X_B/\mu) * 100] - 100 \quad (4)$$

La IUPAC (2014) indica que, en validación de métodos, la R aceptable debe estar entre 85 y 115 %; sin embargo, se fijaron como criterios de aceptación los indicados de forma específica para comparación de los resultados experimentales con un estándar o material de referencia certificado, por el Ministerio de Salud de Costa Rica (2005): R con rango entre 98 y 102 % y/o el equivalente a ± 2 % de Er.

El sesgo se expresa mediante la Ecuación 5, donde: $\bar{X}_B$ = promedio de los resultados obtenidos para la muestra y μ = es la concentración teórica, verdadera o de referencia, expresadas ambas como % P (p/p). Cualquier diferencia entre el promedio experimental y el

valor asumido como verdadero (μ) debe determinarse si es producto de errores aleatorios en la aplicación del método o producto de error sistémico o sesgo (Zagal y Sadzawka, 2007; Cárñez y García, 2015).

$$Sesgo = \bar{X}_B - \mu \quad (5)$$

La evaluación de sesgo en condiciones como en las que se desarrolló la prueba (valores experimentales vs un valor de referencia) se sustenta en la prueba *t-Student*; se estableció como criterio de aceptación que el t calculado, obtenido de la experiencia analítica, sea menor al t crítico o t de tabla; el t crítico se obtiene de la tabla *t-Student*, a dos colas, con los grados de libertad y $\alpha = 0,05$ (Instituto de Salud Pública, 2010). En la Ecuación 6 se indica cómo obtener el $t_{calculado}$; donde, δ = desviación estándar de los resultados obtenidos para la muestra y n = número de lecturas.

$$t_{calculado} = |\bar{X}_B - \mu| / \delta * \sqrt{n} \quad (6)$$

RESULTADOS

Linealidad

La Figura 1 corresponde a la curva de calibración construida con los valores experimentales promedio de absorbancias (Abs) y concentraciones de P de las soluciones patrón incluido el blanco, con la cual y, conjuntamente, a la ecuación ajustada del modelo de regresión lineal y los valores de r y r^2 , se realiza la evaluación de linealidad.

Sensibilidad

En la Tabla 2 se muestra, para cada concentración de P (X_A), los valores promedio de las lecturas de Abs., los valores de la pendiente " m " para cada punto de la curva, obtenidos por sustitución en el modelo de regresión lineal; finalmente, la sensibilidad general " m " para la curva de calibración, obtenido del promedio de las pendientes.

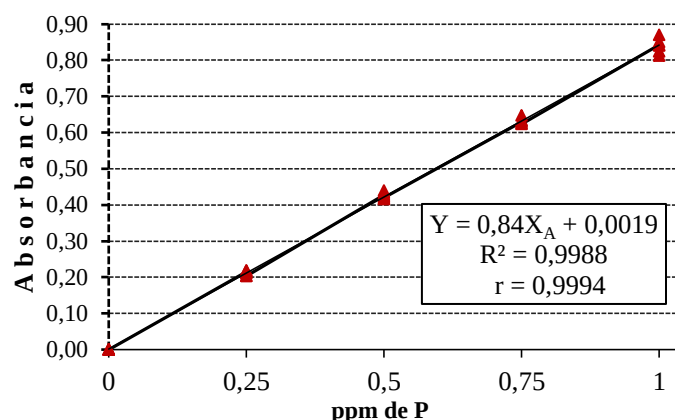


Figura 1. Curva de calibración para cuantificación de P por el método espectrofotométrico evaluado.

Tabla 2. Valores obtenidos para la sensibilidad en la calibración (n=6).

ppm P (X_A)	Absorbancia ($\lambda = 820 \text{ nm}$)	Sensibilidad (m) ($\text{ppm}^{-1} \text{ P}$)
0	0,0000	—
2	0,2115	0,8384
4	0,4263	0,8489
6	0,6318	0,8399
8	0,8398	0,8379
Promedio $\pm$ δ :		0,8413 $\pm$ 0,0051

Precisión, Exactitud y Sesgo

Los resultados del análisis estadístico de los datos de los dos ensayos para evaluar precisión, exactitud y sesgo se resumen en la Tabla 3. Los

P-valor, generados a nivel de significancia de 0,05, permiten evaluar los datos en cuanto a normalidad, homocedasticidad y al análisis de varianza.

Tabla 3. *p*-valor obtenidos del análisis estadístico de los datos para precisión, exactitud y sesgo ($\alpha = 0,05$).

Ensayo para	Test		
	Shapiro-Wilk	Bartlett	ANOVA
Precisión en condiciones de repetibilidad, exactitud y sesgo	0,0661 ^{c.n}	0,1968 ^{n.s}	0,5457 ^{n.s}
Precisión intermedia	0,0552 ^{c.n}	0,1754 ^{n.s}	0,1968 ^{n.s}

(^{c.n}) Distribución normal ($P < 0,05$) en los grupos de datos; (^{n.s}) Diferencias no significativas ($P < 0,05$) entre los grupos de datos.

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la evaluación del método en cuanto a la precisión en condiciones de repetibilidad y a exactitud en la que la muestra única de pasto con valor de referencia de 0,28 % en contenido de P se analizó por octuplicado durante tres días consecutivos. En la Tabla 5 se presentan los

resultados de la evaluación de la precisión intermedia del método, en la que la muestra única de pasto fue analizada por sextuplicado, durante dos sesiones de trabajo, con equipos fotocolorimétricos diferentes: Spectronic 20 y Genesys 10, manteniendo el resto de condiciones experimentales sin variación.

Tabla 4. Evaluación del método respecto a la precisión (repetibilidad) y la exactitud (n=8).

Día	$\bar{X}_{\%P_T} \pm \delta$	Precisión % CV	Exactitud % R	% Er	Criterios de Aceptación
1	$0,2809 \pm 0,003$	0,93	100,34	0,34	CV: $\leq 2\%$
2	$0,2798 \pm 0,007$	2,42	99,92	-0,08	R: 98-102 %
3	$0,2829 \pm 0,006$	2,06	101,03	1,03	Er: $\pm 2\%$
$\bar{X}$	$0,2812 \pm 0,005$	1,91	100,43	0,43	

Tabla 5. Evaluación del método respecto a precisión intermedia (n=6).

Repetición / Equipo	1	2	3	4	5	6	$\bar{X}_{\%P_T} \pm \delta$	CV (%)	Criterio de Aceptación
Genesys 10	0,287	0,287	0,289	0,288	0,289	0,282	$0,287 \pm 0,003$	0,829	CV: $\leq 2\%$
Spectronic 20D	0,285	0,288	0,289	0,299	0,286	0,291	$0,290 \pm 0,005$	1,590	
CV Global: 1,451 %									

Sesgo

Los resultados obtenidos para el sesgo se muestran en la Tabla 6. Dicho parámetro de la validación permite determinar si las diferencias

entre las medias experimentales diarias (n=8), o la media global (n=24) y el valor de referencia aceptado como verdadero (μ), son ocasionadas por errores aleatorios o sistemáticos ocurridos durante el desarrollo de las pruebas.

Tabla 6. Sesgo como parámetro de validación del método de determinación de contenido de P en ensayo con sub-muestras de pasto analizadas en tres días diferentes (n = 8).

Día	Sesgo	<i>t-student</i>		Criterio
		$t_{\text{calculado}}$	$t_{\text{crítico}}$	$t_{\text{calculado}} < t_{\text{crítico}}$
1	0,0009	0,128		Sí
2	-0,0002	0,012	2,365	Sí
3	0,0029	0,175		Sí
$\bar{X}$ (n = 24)	0,0012	0,045	2,069	Sí

DISCUSIÓN

Linealidad

El examen visual de la Figura 1 permite apreciar el paso del intercepto con tendencia a cero en el eje de las “Y”, escasa dispersión de los valores en cada punto de la curva (homocedasticidad) y linealidad en el intervalo de trabajo considerado para su construcción. El cumplimiento de la condición de homocedasticidad (homogeneidad de las varianzas), verificada estadísticamente con el test de Bartlett (Tabla 3), el cual arrojó a α de 0,05 un *P-valor* = 0,0635, significa que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre

las varianzas de cada grupo de repeticiones de las soluciones patrón; en otras palabras, los valores de P para cada punto de la curva, no reflejan ningún tipo de tendencia debido a que tienen varianzas constantes.

Los valores obtenidos para *r* y *r*² (0,9994 y 0,9988 respectivamente) cumplen con los criterios de aceptación establecidos para este estudio: *r* entre 0,98-1 y *r*² > 0,995. Para el rango de trabajo utilizado [0 – 8 ppm P], dichos índices revelan respectivamente el grado de asociación entre la Abs. y la concentración de P y qué tan estricto es el modelo de regresión (Suárez *et al.*, 2009).

Idéntico valor de r ($=0,9994$) fue obtenido por Gomara *et al.* (2004) en el estudio de la linealidad de un método espectrofotométrico para cuantificación de ácido kójico. Los valores de r y R^2 obtenidos se ajustan a criterios de aceptación más estrictos, como los utilizados por Cádiz y García (2015): r y $r^2 > 0,995$; UNODC (2010): $r > 0,99$ e Instituto de Salud Pública (2010): $r > 0,999$.

En el presente estudio se confirman las condiciones de linealidad en la curva de calibración para determinación de P al cumplirse todos los criterios preestablecidos para su aceptación: varianza constante para todas las concentraciones (homocedasticidad), “ r ” entre $0,98-1$ y $r^2 > 0,995$; por consiguiente, los valores obtenidos experimentalmente (X_C) se consideran confiables, ya que el modelo ajustado, en el intervalo de $[0 - 8 \text{ ppm P}]$ es capaz de explicar la respuesta (Abs) en función de la concentración (X_A).

Sensibilidad

Un método es sensible cuando una pequeña variación de concentración determina una gran variación de respuesta; mientras más próxima al eje de las “Y” esté la recta, significa que a ligeros cambios en las concentraciones esperadas habrá grandes variaciones en los resultados de las lecturas observadas (Cádiz y García, 2015). El valor de sensibilidad obtenido (m) debe permitir adecuada distinción de los valores de concentración en función de las lecturas de Abs . y, a su vez, debe permitir “observar la capacidad de respuesta instrumental frente a una determinada cantidad de analito” (Instituto de Salud Pública, 2010).

Autores como Cádiz y García (2015) y Sabido *et al.* (2010) no estiman la sensibilidad en cada punto de la curva para, finalmente, obtener una pendiente o sensibilidad promedio, sino que utilizan el promedio de las pendientes obtenidas en las rectas de los ensayos de estandarización, indicando su δ ; otros como Rodríguez *et al.* (2012) utilizan el valor de la pendiente (m) reflejada en el correspondiente modelo de regresión lineal de la curva de calibrado.

Un valor como el obtenido en la presente validación de “ m ” = $0,8413 \pm 0,0051 \text{ ppm}^{-1}$ P (Tabla 2) indica buena sensibilidad del método para distinguir dos concentraciones con valores próximos.

Precisión, Exactitud y Sesgo

Evaluación estadística preliminar

Como se observa en la Tabla 3, en los dos ensayos, los P -valor obtenidos con el Test de Shapiro-Wilk y el Test de Bartlett, fueron mayores a 0,05, lo que respectivamente se traduce en la existencia de distribución normal de los datos y de homogeneidad en sus varianzas. El resultado de los análisis de varianza (ANOVAS) no revelaron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) en el contenido promedio de P de la muestra única de pasto, tampoco en los diferentes días (ensayo de repetibilidad) ni en los diferentes equipos (ensayo para precisión intermedia); es decir, no hubo efecto en los ensayos respectivos originado por el día de medición o por el equipo de medición utilizado (Genesys 10 o Spectronic 20D).

Por tanto, se cumplió con la condición que debería darse en cualquier análisis de varianza para evaluar la precisión o exactitud del método: ausencia de diferencias estadísticas entre los grupos de datos evaluados.

Precisión

El resultado de la evaluación definitiva del método respecto a la precisión en condiciones de repetibilidad (Tabla 4) arrojó un CV global menor al 2 % permitido según el criterio de aceptación. Analizando los CV intradiarios se observa que, en comparación con el obtenido durante el primer día, los del segundo y tercer día fueron no solo superiores en magnitud sino superiores al 2 % tolerado para su aceptación. Vale destacar que durante el desarrollo del método en esos dos días se presentaron interrupciones en el servicio de energía eléctrica que obligaron a paralizar algunas etapas del

método analítico; esa sería probablemente la razón del por qué, en comparación con el CV del primer día, para el segundo y tercer día se obtuvieron mayores desviaciones estándar que influyeron negativamente en sus CV.

Como se puede observar en la tabla 5, en la evaluación de la precisión intermedia la mayor imprecisión se obtuvo con el Spectronic 20; sin embargo, los CV obtenidos son inferiores al 2 % máximo permitido.

Se concluye, de acuerdo con los resultados, que el método candidato a validación es preciso en condiciones de repetibilidad y en condiciones intermedias de repetibilidad y reproducibilidad.

Exactitud

Los valores de exactitud intradía y el global, durante los tres días del ensayo, estimados como R y Er, estuvieron siempre dentro de los rangos de aceptación: 98-102 % para R y ± 2 % para Er (Tabla 4).

El resultado global de R obtenido (100,43 %), está dentro del rango de aceptación de 98-102 % y es similar a los obtenidos por otros autores en validación de diferentes métodos analíticos.

Cáñez y García (2015) al validar un método para determinación de P en muestras de cola por espectrofotometría ultravioleta, reportan un promedio global de R del 99,12 %; el haber utilizado un rango de aceptación menos estricto (85-115 %) les permitió aceptar aquellos valores diarios de R superiores a 2 % e inferiores a 15 %. García *et al.* (2009) en la validación de un método ultravioleta para determinación de P en suero reportaron porcentajes de R entre 98-102 %. Carrillo *et al.*, (2012) obtuvieron una R de 101,23 % al evaluar un método fotocolorimétrico para determinar P disponible en fertilizantes químicos. Igualmente, R entre 98 y 102 % concuerda con el resultado obtenido por Suárez *et al.* (2009) quienes alcanzaron R promedio de 100,78 % al validar un método analítico para la determinación de magnesio eritrocitario.

En el presente estudio, el haber obtenido valores globales de R y Er, de 100,43 % y 1,47 %, significa que el método posee la exactitud necesaria para considerarlo adecuado en las determinaciones de P realizadas en el laboratorio a materias primas de origen vegetal.

Sesgo

Los resultados obtenidos y mostrados en la Tabla 6 permiten asegurar que las diferencias obtenidas en los promedios intradiarios de contenido de P en las 3 submuestras de pasto analizadas y el valor aceptado como verdadero para dicha muestra (0,28 % P), son producto de un error aleatorio en el análisis del material y no de un error sistemático en el método usado. En otras palabras, al encontrarse en cada medición diaria y la medición general que los $t_{\text{calculado}} < t_{\text{crítico}}$ se confirma la ausencia de sesgo en los resultados de la muestra analizada respecto a su valor de referencia. Importante resaltar que en la validación de Cáñez y García (2015) en la que también evaluaron el sesgo mediante la prueba *t Student*, obtuvieron solo un valor de sesgo no significativo en cinco muestras diferentes analizadas.

En definitiva, el sesgo general en la aplicación del método, expresado en términos absolutos (0,0012 % P) o en términos relativos en porcentaje (0,43 %) se considera aceptable.

CONCLUSIONES

El estudio demostró que el protocolo usado en el Laboratorio de Nutrición Animal de la UNET para la determinación de fósforo (P) en materias primas agroalimentarias cumple con las condiciones de linealidad, sensibilidad, precisión, exactitud y sesgo, razón por la cual se considera realizada su validación.

REFERENCIAS

Cáñez, M., García, A. (2015). Validación de método analítico para la determinación de fósforo por espectrofotometría ultravioleta-visible. *Rev. Ciencias Biológicas y de la Salud (Biotecnia)*. 17(1):32-39.

- Carrillo, C., Ruíz, M., Aular, L., Mora, R., Castillo, L., Noguera, R., Tovar, M., Díaz, T., Arrieché, I., Fernández, S., Silva, C., Gamboa, O. (2012). Método directo para determinar fósforo disponible en fertilizantes. *Venesuelos*, 20:5-11.
- Chen, P., Toribara, T., Warner, H. (1956). Microdetermination of phosphorus. *Analyt. Chemistry*, 28(11):1756-1758.
- Codex Alimentarius. (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Organización Mundial de la Salud. Alinorm 08/31/23: Informe de la 29ª reunión del Comité del Codex sobre métodos de análisis y toma de muestras. Budapest, Hungría. 75p.
- COVENIN 2552:1999 (OIML V 2:1993). Vocabulario internacional de términos básicos y generales en metrología. 1º revisión. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Fondonorma. Venezuela. 47p.
- COVENIN 2534:1999 (ISO/IEC 17025:2005). Requisitos generales para las competencias de los laboratorios de ensayos y calibración. Tercera revisión. Fondonorma. Venezuela.
- COVENIN 3583:2000 (ISO 11095:1996). Calibración lineal usando materiales de referencia. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Fondonorma. Venezuela. 38p.
- Crubellati, R., Di Risio, C. (2009). Aspectos prácticos de la validación e incertidumbre en medidas químicas. 1º ed. Buenos Aires. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo-CYTED. 150 p.
- EUROLAB. (2016). Guía Eurachem: La adecuación al uso de los métodos analíticos – Una guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados. 1º edición. España. 60 p.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2006). Taller subregional sobre metodología de muestreo analítico, principios de metrología científica y cálculos de incertidumbre. Proyecto TCP/RLA/ 3014 (A). República Dominicana, junio. 96
- García, B., Pérez, P., Valdés, D. (2009). Validación del método ultravioleta para determinar fósforo en suero. *Revista Cubana de Farmacia*. 43(4):45-52.
- Gomara, F., Correr, C.J., Sato, M., Pontarolo, R. (2004). Desarrollo y validación de un método espectrofotométrico para cuantificación de ácido fólico. *Ars Pharm.* 45(2):145-153.
- Instituto de Salud Pública. (2010). Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición: Aspectos generales sobre la validación de métodos. Guía Técnica N° 1. Santiago de Chile. 67p.
- IUPAC. (2014). Harmonized guidelines for the use of recovery information in analytical measurement, *Pure and Appl. Chem.* 71:337-348.
- Ministerio de Salud de Costa Rica. (2005). Guía de Validación para Métodos Analíticos. 17p. [Monografía en línea]. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/tramites/registro-de-productos-de-interes-sanitario/medicamentos-1/documentos-de-interes-3/guias-de-registro-medicamentos/2472-guia-de-validacion-de-metodos-analiticos/file>
- Núñez, M., Palma, C., Araneda, M., Cabezas, I., Pérez, R. (2007). Validación de un método analítico y determinación de residuos de ivermectina en tejido ovino. *Revista Científica FCV-LUZ*. 17(6):557:565.
- Rodríguez, S., Pellerano, R., Romero, C., Acevedo, H., Vázquez, F. (2012). Validación de un método analítico para la determinación de boro en muestras foliares de *Citrus reticulata*. *Revista Tumbaga* (7):55-71.
- Sabido, C., Rosado, J., Rubio, A., Castellanos, A., Betancur, D., Chel, L., Acereto, P. (2010). Adaptación de un micrométodo espectrofotométrico para determinación de fósforo en hueso. *Revista Latinoamericana de Química*, 38(2):113-122.
- Suarez, R., Arévalo, E., Linares, L., Ustáriz, F., Hernández, G. (2009). Validación de un método analítico para la determinación de magnesio eritrocitario. *Avances en Química*. 4(2):53-62.
- UNODC. (2010). Directrices para la validación de métodos analíticos y la calibración del equipo utilizado para el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados y especímenes biológicos. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. Nueva York. 67 p.

Zagal, E., Sadzawka, A. (2007). Implementación del sistema para la validación de los métodos de análisis y mediciones de laboratorio en

suelos y lodos. Gobierno de Chile, Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero. 22p.

AGROPECUARIA

DIFERENTES MÉTODOS DE CURADO EN PIERNAS DE OVINO MAYOR Y CORDERO

DIFFERENT METHODS OF CURING IN OLDER OVINE AND LAMB LEGS

Autores:

Lendewig, Helmut¹; Casique, Maida²¹Departamento de Ingeniería en Producción Animal, Universidad Nacional Experimental del Táchira, República Bolivariana de Venezuela

Corresponding Author: mcasique@unet.edu.ve

RESUMEN

Se prepararon cuatro piernas de ovino mayor y cordero aplicando dos métodos de curado con el propósito de evaluar su efecto sobre el pH, humedad (%) y rendimiento (%) durante los días 0, 7, 22, 42 y 63. Para la evaluación sensorial, realizada una vez finalizado el proceso de curado-maduración, participaron 23 consumidores no entrenados. Los tratamientos fueron: ovino mayor curado con salmuera por inyección (OMCI), cordero curado con salmuera por inyección (CCI), ovino mayor curado por salazón (OMCS) y cordero curado por salazón (CCS). A los datos de pH, humedad y rendimiento se les aplicó análisis descriptivo de las medias y de los mínimos y máximos utilizando el programa Excel. La variable a considerar para el análisis estadístico fue la evaluación sensorial, se le realizó un análisis descriptivo y de varianza (ANOVA) de un factor y diferencias mínimas significativas (DMS). El parámetro pH presentó un comportamiento similar en todos los tratamientos iniciando con un descenso del pH, posiblemente, por efecto de las bacterias ácido lácticas y el metabolismo de fermentación de los carbohidratos, terminando con un ligero aumento en el mismo. El contenido de humedad de las piernas curadas-maduradas disminuyó a través del tiempo y este comportamiento fue similar en todos los tratamientos. Se obtuvo un rendimiento de 69,74 % para OMCI y el menor rendimiento obtenido fue 52,59 % para CCS. En relación con la evaluación sensorial se obtuvieron diferencias entre los tratamientos ($P < 0,05$) para los atributos superficie, olor animal, olor carne cruda, olor putrefacción, sabor salado, pastosidad y dureza. Finalmente, se evaluó la aceptación global de los productos: el tratamiento OMCS obtuvo (100 %) de aceptación seguido del tratamiento CCS (91,3 %) y CCI (86,96 %), mientras que la menor aceptación fue para OMCI con 73,91 %.

ABSTRACT

Four legs of older ovine and lamb were prepared applying two methods of curing with the purpose of evaluating their effect on pH, humidity (%), performance (%) during days 0, 7, 22, 42 and 63. For the sensorial evaluation, performed once the curing-maturing process was completed, 23 untrained consumers participated. The treatments were: older ovine cured with brine by injection (OMCI), lamb cured with brine by injection (CCI), older ovine cured by salting (OMCS) and lamb cured by salting (CCS). By using the Excel program, a descriptive analysis of the means, minimums and maximums was applied to the pH, humidity and performance data. The variable to be considered for the statistical analysis was the sensorial evaluation, a descriptive and variance analysis (ANOVA) of one factor and a minimum significant difference (MSD) was performed. The pH parameter presented a similar behavior in all treatments, starting with a decrease in pH, possibly due to the effect of lactic acid bacteria and the metabolism of carbohydrate fermentation, ending with a slight increase in it. The moisture content of the cured-matured legs decreased over time; this behavior was similar in all treatments. A performance of 69.74% was obtained for OMCI and the lowest performance obtained was 52.59% for CCS. Regarding the sensorial evaluation, a difference was obtained between treatments ($P < 0.05$) for the surface attributes, animal odor, raw meat odor, putrefaction odor, salty taste, pastiness and hardness. Finally, the global acceptance of the products was evaluated: the OMCS treatment had great acceptance (100%) followed by the CCS treatment (91.3%), CCI (86.96%) while the lowest acceptance was for the OMCI with 73.91%.

Palabras clave: piernas, ovino, cordero, curado, madurado.

Key words: legs, ovine, lamb, cured, matured.

INTRODUCCIÓN

La conservación de la carne ha sido realizada desde tiempos inmemoriales mediante la utilización de diferentes técnicas, una de ellas es el crudo-curado. Actualmente se busca obtener un producto de alto valor añadido, que sea apreciado por sus características sensoriales típicas y por poseer un tiempo prolongado de conservación (Arnau, 1998; Mora, 2010).

Gran parte de las características intrínsecas de estos productos son definidas por las carnes que se utilizan como materia prima. La carne de cerdo, vacuno y cordero son diferentes, lo que se acusa en la calidad organoléptica de las carnes curadas a partir de ellas (Lawrie, 1998). Por otra parte, las características sensoriales de los productos crudo-curados son influenciadas por los aditivos utilizados como la sal curante (influye en el sabor y el color rojo del curado), los microorganismos propios de la carne (adquiridos luego del sacrificio o adicionados como cultivos iniciadores) y los factores ambientales. Todos los anteriores elementos junto con complejos mecanismos de acción enzimática son los responsables de las propiedades sensoriales únicas de este tipo de productos (Schiffner *et al.*, 1996).

En efecto, la presente investigación plantea desarrollar un producto crudo-curado utilizando como materia prima piernas de cordero y ovino mayor empleando dos técnicas de curado: curado con salmuera por inyección y curado por salazón; esto con el fin de evaluar el comportamiento de las materias primas con respecto al pH, humedad, rendimiento del producto final y su aceptación por medio de las pruebas de evaluación sensorial.

MÉTODO

Obtención de la materia prima

Se utilizaron dos piernas de cordero (2.293 kg) y dos de ovino mayor (2.878 kg), sanas, uniformes y frescas, con 48 horas post-sacrificio y se almacenaron a una temperatura de 8 °C. Las piernas fueron obtenidas en el Guayabo-Estado

Zulia y transportadas a la planta de procesamiento de productos cárnicos HAMBURGO C.A. ubicada en la ciudad de Táriba, municipio Cárdenas, estado Táchira.

Los ingredientes no cárnicos como la sal común y el azúcar se compraron en un supermercado ubicado en la ciudad de San Cristóbal, mientras que la sal curante (Vicasal N° 2) se compró al distribuidor nacional Vicente Cabos C.A.-Caracas y se utilizó agua filtrada del acueducto regional del Táchira.

Preparación de la mezcla de la salmuera y salazón

La preparación de la mezcla para el curado por salazón se hizo en una bolsa plástica, donde se agregó sal común, sal curante y azúcar según la fórmula señalada en la Tabla 1 y se agitó hasta quedar una mezcla homogénea.

Con respecto a la preparación de la salmuera para el curado por inyección (Tabla 1) se calentó el agua con el fin de facilitar que la sal común, sal curante y el azúcar se disolvieran y se dejó reposar hasta alcanzar temperatura de 12 °C.

Elaboración del curado de las piernas de cordero y de ovino mayor

Se evaluaron 4 tratamientos aplicando dos métodos de curado: salmuera por inyección y salazón. Se identificaron como ovino mayor curado con salmuera por inyección (OMCI), cordero curado con salmuera por inyección (CCI), ovino mayor curado por salazón (OMCS) y cordero curado por salazón (CCS).

Tratamientos OMCI y CCI

La cantidad de salmuera a inyectar se calculó en relación 1:1 carne-salmuera y se inyectó el 30 % con base al peso de cada pierna a curar y, posteriormente, se sumergieron en el 70 % de la salmuera restante. Los recipientes con las piernas tratadas se dejaron en un cuarto frío a una temperatura de 10° C. El tiempo de curado fue de 3 días por cada kg de peso de pierna (Schiffner *et al.*, 1996).

Tratamientos OMCS y CCS

Para el curado por salazón se calculó el 10,30 % de la mezcla en relación con el peso de cada pierna a curar y se frotó fuertemente con la mano para conseguir que penetrara. Las piernas tratadas se colocaron en un recipiente plástico,

sin orificios, para evitar que drenara el agua y creara una salmuera saturada. Cada dos días se voltearon hasta cumplir con el tiempo de curado: 9 días para las piernas de ovino mayor y 7 días para las de cordero, en un cuarto frío a 10 °C (Schiffner *et al.*, 1996).

Tabla 1. Formulación para la preparación de la salmuera y salazón utilizada en el curado de ovino mayor y de cordero.

Ingredientes (%)	Salmuera por inyección	Salazón
Agua	91,67	0
Sal común	5,83	78,90
Sal Curante	0,83	1,38
Azúcar	1,67	19,72
Total	100	100

Proceso de madurado

Terminado el tiempo de curado se procedió a realizar el madurado de las piernas en un cuarto climatizado a 18 °C: durante 42 días para el curado por salazón y 63 días para salmuera por inyección.

Determinación del pH

Se midió el pH de las carnes antes y durante el proceso de madurado de acuerdo al método COVENIN 1315-1979, utilizándose un potenciómetro Microprocessor pH-211 Hanna Instruments®, provisto de una sonda de penetración Hanna Part FC200B®, previamente calibrado, con soluciones amortiguadoras de pH 4,0 y 7,0. Se tomó una lectura por producto a los 0, 7, 22, 42 y 63 días.

Determinación de humedad

Se determinó humedad empleando el método descrito por Boscán (1996) el cual consiste en la obtención del extracto seco de 30 g de producto utilizando la balanza de Ohaus, la cual ofrece directamente el porcentaje de humedad. Se tomó una lectura por producto a los 0, 7, 22, 42 y 63 días.

Determinación del rendimiento

Para determinar el rendimiento se consideró el peso inicial de las piernas de ovino mayor y cordero en crudo y el peso del producto final, presentando el resultado obtenido (ecuación 1) en porcentaje. Todos los pesos se obtuvieron utilizando una balanza marca JADEVER modelo JPS-6000 con un grado de precisión de ± 5 g.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (1)$$

Requisitos de calidad sensorial

Para evaluar los tratamientos fue necesario definir los atributos sensoriales que caracterizan a este tipo de productos a través de una recopilación bibliográfica con respecto al tema de análisis sensorial de productos curados-madurados (Tabla 2). Para llevarlo a cabo se seleccionó un panel de degustación de 23

consumidores habituales de productos curados-madurados y de carne ovina.

Evaluación sensorial

Se aplicó la técnica descriptiva conocida como perfil sensorial. Esta permitió determinar la intensidad de los atributos de cada uno de los tratamientos a través de una escala de respuesta de 0 a 4, donde 0 representa la ausencia del

atributo y 4 una percepción muy fuerte del atributo. Las muestras se cortaron en lonchas de 1 mm de ancho y fueron presentadas de forma aleatoria con temperatura de consumo de este producto, es decir, entre 20 y 24°C, en platos

desechables, acompañados de agua junto con el formato de evaluación.

Tabla 2. Parámetros seleccionados para evaluar la calidad de las piernas de ovino mayor y cordero maduras para cada tratamiento.

Factor de calidad	Atributos
Aspecto	Rosado
Color del magro	Rojo
	Tinto
	Marrón
	Negro
Color de la grasa	Blanco
	Rosa
	Marfil
	Amarillo
	Naranja
Superficie	Reseca
	Seca
	Poco húmeda
	Húmeda
	Muy húmeda
Olor	Animal
	Moho/humedad
	Carne cruda
	Rancio
	Putrefacción
Sabor	Dulce
	Salado
	Ácido
	Amargo
	Umami
Textura	Pastosa
	Adhesiva
	Dura
	Fibrosa
	Inconsistente
Aceptación	Se acepta
	No se acepta

RESULTADOS

pH de los jamones

Los resultados son presentados en la Figura 1. Después de haber transcurrido el proceso de

madurado, se observa un descenso de pH al inicio para cada uno de los tratamientos terminando con un ligero aumento en el mismo. El menor valor de pH inicial se observa tanto en el OMCI como el CCI y el mayor valor al final del proceso de madurado fue OMCI y OMCS.

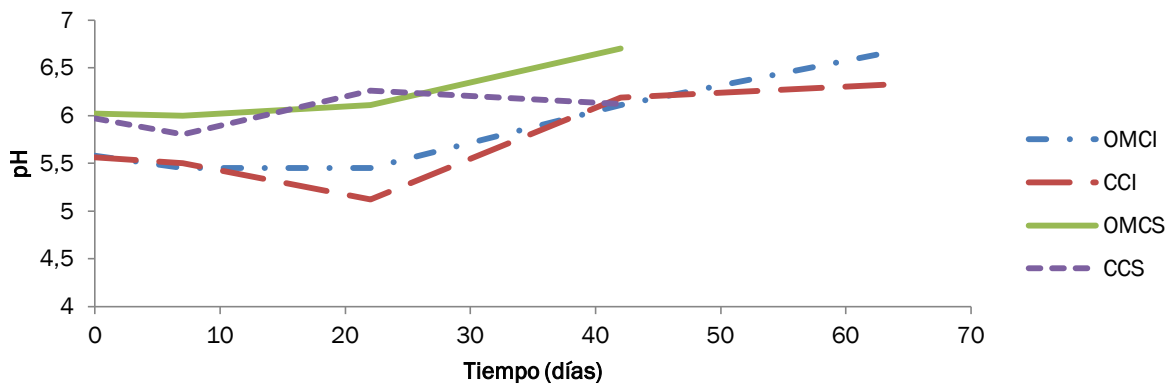


Figura 1. pH de los jamones madurados de ovino mayor y cordero y dos métodos de curado por inyección y por salazón. (OMCI): Ovino mayor curado por inyección, (CCI): Cordero curado por inyección, (OMCS): Ovino mayor curado por salazón, (CCS): Cordero curado por salazón.

Contenido de humedad (%)

Los valores de humedad son presentados en la Figura 2. Los resultados encontrados en los cuatro tratamientos presentan un mismo patrón de comportamiento en cuanto a la pérdida de

humedad en el tiempo hasta lograr su estabilidad. Los porcentajes obtenidos a los 42 días de madurado fueron: OMCS con 46 % y CCS con 44 %; mientras que el OMCI con 45 % y CCI con 46 % a los 63 días de madurado.

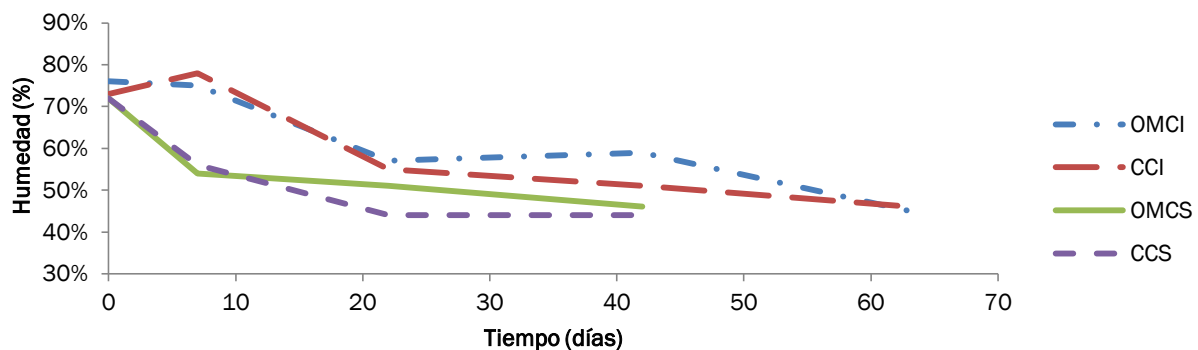


Figura 2. Humedad (%) de los jamones madurados de ovino mayor y cordero y dos métodos de curado por inyección y por salazón. (OMCI): Ovino mayor curado por inyección, (CCI): Cordero curado por inyección, (OMCS): Ovino mayor curado por salazón, (CCS): Cordero curado por salazón.

Rendimiento

Los resultados de rendimiento (%) son registrados en la Figura 3. En la evaluación de

los productos se observó que el tratamiento OMCI presentó mayor rendimiento (69,74 %) y menor rendimiento CCI (52,99 %).

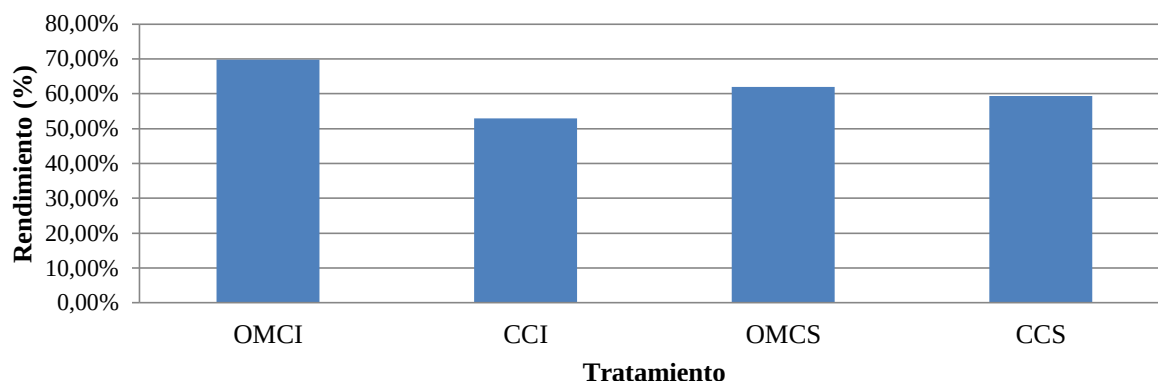


Figura 3. Rendimiento (%) de los jamones madurados de ovino mayor y cordero y dos métodos de curado por inyección y por salazón. (OMCI): Ovino mayor curado por inyección, (CCI): Cordero curado por inyección, (OMCS): Ovino mayor curado por salazón, (CCS): Cordero curado por salazón.

Evaluación sensorial

Las pruebas descriptivas permitieron determinar la intensidad de los atributos presentes en los tratamientos. Los resultados de las evaluaciones de los catadores fueron simbolizados gráficamente a través de una representación polar (figura 4). Para los aspectos *color del magro* y *color de la grasa* no hubo diferencias entre tratamientos ($P>0,05$), mientras que para el atributo *superficie* sí se observó diferencia ($P<0,05$) en el tratamiento OMCI (3,61) con respecto a los tratamientos CCI (2,74), OMCS (2,61) y CCS (2,26).

En cuanto al *olor a carne cruda* se encontró diferencias ($P<0,05$) entre los tratamientos OMCI, CCI, OMCS y CCS donde la percepción fue leve para los tres primeros tratamientos y ausente para el último. El *olor a putrefacción* se encontró ausente para todos los tratamientos.

No hubo diferencias entre tratamientos ($P>0,05$) para el *sabor salado*.

Para la textura, en cuanto a la *pastosidad* no se encontró diferencia ($P>0,05$) entre los tratamientos.

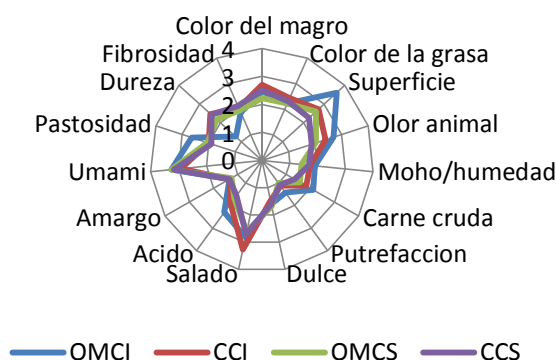


Figura 4.- Resultado del perfil sensorial de piernas de ovino mayor (OM) y de cordero (C) curadas con salmuera por inyección (CI) y por salazón (CS).

Evaluación de aceptabilidad

En la Figura 5 se observan los resultados obtenidos en relación con la aceptación global de

las piernas de ovino mayor y cordero curadas con salmuera por inyección y salazón. Se denota calificado con mayor aceptación el tratamiento

OMCS el cual obtuvo el 100 % de aceptación seguido del tratamiento CCS con 91,3 %, CCI

86,96 % y el tratamiento con menor aceptación fue OMCI con 73,91 %.

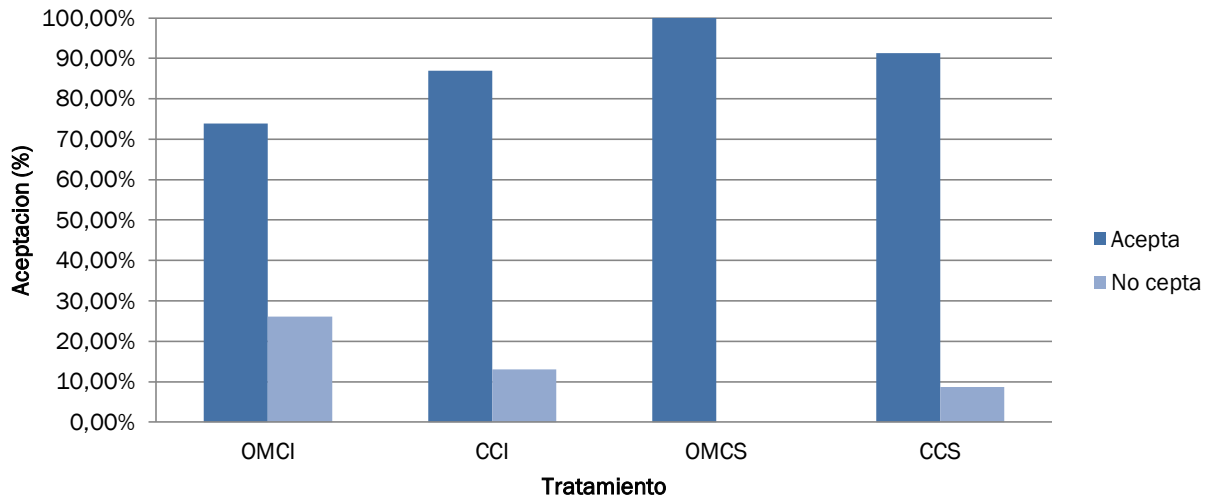


Figura 5. Aceptación global de piernas de ovino mayor (OM) y de cordero (C) curadas con salmuera por inyección (CI) y por salazón (CS).

DISCUSIÓN

En el proceso de curado, post-salado y madurado se observa que los distintos tratamientos inician con un descenso del pH, posiblemente, por efecto de las bacterias ácido lácticas y el metabolismo de fermentación de los carbohidratos, finalizando con un ligero aumento en el mismo, así como lo reporta Villalobos (2014) para piezas de cerdo. Según Schiffner *et al.* (1996) en la segunda fase de la maduración se sigue produciendo ácido láctico; sin embargo, este se desdobla en aldehídos, cetonas, alcohol y dióxido de carbono haciendo que se reduzca la acidez del producto y aumente el pH por el amoníaco presente en las proteínas; estos compuestos también contribuyen a la formación del aroma.

El pH de salazones cárnicas como el jamón curado va a oscilar entre valores de 5,6 y 6,2 (Sánchez-Molinero, 2003), con una tendencia a aumentar ligeramente tanto en la superficie como en el interior, a lo largo del proceso (Arnau *et al.*, 1995). Este parámetro va a presentar una variabilidad mayor en la parte superficial del producto, ya que va a verse

afectado por factores como la velocidad de entrada de la sal durante el curado, así como por la velocidad de secado (Sánchez-Molinero, 2003).

Otro fenómeno que determina el pH del jamón es la dinámica de precipitación de los fosfatos, los cuales pueden presentar una tendencia a migrar a la superficie durante el secado y reposo de las piezas, especialmente si durante esta última etapa la humedad relativa ambiental es alta (Arnau *et al.*, 2003). En la selección del producto es recomendable evitar aquellos jamones con pH > 6,2 por razones de seguridad microbiológica, con el fin de mejorar la salazón y evitar problemas de aspecto y de textura blanda (Mora, 2010).

El contenido de humedad en las piezas disminuyó a través del tiempo, así como lo reportan (Villalobos, 2014) y (Rada, 2015). El comportamiento fue similar en casi todos los tratamientos, aunque no en los tratamientos OMCI y CCI, ya que en estos la forma de curado fue por medio de inyección de salmuera y, por consiguiente, obtuvieron un aumento en la humedad así como en el peso. Sin embargo, esta

humedad se perdió rápidamente asemejándose a los tratamientos curados por salazón. Finalmente, todos los tratamientos presentaron un rango de humedad entre el 44 % al 46 %.

En la evaluación del rendimiento de los tratamientos se observó que dependió del tipo de carne y fue mayor el rendimiento en OMCI (69,74 %) y OMCS (61,95 %). En los jamones ibéricos y en los jamones serranos de larga curación la presencia de grasa infiltrada y una cierta cantidad de grasa superficial frena el proceso de secado (Arnau et al., 2003). El cordero reportó el menor rendimiento, aunque no hubo mucha diferencia entre CCI (52,99 %) y CCS (59,42 %).

Con respecto a los atributos de olor evaluados, se encontró que el olor a animal presentó diferencias entre el tratamiento OMCI (moderado) y los tratamientos CCI, OMCS y CCS (leve), pudiendo estar relacionado con el nivel de grasa que se le observó en el tratamiento OMCI. Almela *et al.* (2009) afirman que la grasa ovina presenta diversos ácidos grasos volátiles de 5 a 10 carbonos, incluyendo ácidos grasos volátiles ramificados, relacionados con el aroma característico de la carne ovina.

Por otro lado, la dureza presentó diferencias ($P < 0,05$) entre el tratamiento OMCI y los demás tratamientos ya que en este estaba ausente, mientras que para los demás tratamientos se encontró una dureza leve, pudiendo estar relacionada con la actividad proteolítica, la cual depende del contenido de humedad, sal y temperatura (Arnau *et al.*, 2007).

Finalmente, el que presentó mayor aceptación global sensorialmente fue el tratamiento OMCS con 100 %, seguido del tratamiento CCS 91,3 %, CCI con 86,96 % y el tratamiento con menor aceptación fue OMCI con 73,91 %. Los que presentaron mayor aceptación fueron los tratamientos a los que se les aplicó salazón, siendo este el método más antiguo de conservación para carne. La carne grasa es la más adecuada para la salazón en seco porque queda más tierna y absorbe menos sal. Por esta razón, debe escogerse el curado en salmuera,

pues por ser menos fuerte la deja más jugosa para la carne magra (Rada, 2015).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que el pH, humedad (%) y rendimiento (%), presentaron un comportamiento propio para este tipo de productos madurados.

Los tratamientos que presentaron mayor rendimiento fueron los tratamientos OMCI y OMCS con 69,74 % y 61,95 % respectivamente, siendo las piezas CCS y CCI los tratamientos que presentaron un menor rendimiento 59,42 % y 52,99 %.

La aceptación global de los productos sensorialmente fue muy buena, siendo todos admitidos. El tratamiento OMCS fue el que obtuvo mayor aceptación en contraste con el tratamiento OMCI que obtuvo una menor aceptación.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) por la colaboración prestada para la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

- Almela, E., Jordan, M., Martínez, C., Sotomayor, J., Bedia, M., Bañón, S. (2009). El flavor de la carne cocinada de cordero. Eurocarne. N° 1. 1-11.
- Arnau, J., Guerrero, L., Casademont, G. y Gou, P. (1995). Physical and chemical changes in different zones of normal and PSE dry cured ham during processing. Food Chemistry, 52, 63-69.
- Arnau, J. (1998). Tecnología del jamón curado en distintos países. Ponencia presentada en el simposio especial 44th: El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. Editado por el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria y Eurocarne. Madrid-España. 1-25.
- Arnau, J., Gou, P., Comaposada, J. (2003). Effect of the relative humidity of drying air during the resting period on the composition

- and appearance of dry-cured ham surface. *Meat Science* . (65)4:1275-1280.
- Arnau, J., Serra, X., Camposada, J., Gou, P., Garriga, M. (2007). Technologies to shorten the drying period of dry-cured meat products. *Meat Science*. (1):81-89.
- Boscán, L. (1996). Prácticas de ciencias de los alimentos. Parte I: Análisis de los alimentos Facultad de Farmacia. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 45-47.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN-1315 (1979). Alimento. Determinación de pH (acidez iónica).
- Goutefongea, R. (1991). Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. Editorial Acribia. Zaragoza-España.125-144.
- Lawrie, R. A. (1998). Ciencia de la carne. Editorial Acribia.Zaragoza-España. 85-140.
- Mora, L. (2010). Determinación de compuestos bioquímicos para el control de calidad en la elaboración de jamón cocido y jamón curado. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA).Valencia, España. 354.
- Rada, A. (2015). Desarrollo de un producto cárnico crudo curado a partir de piernas de ovinos de pelo. Trabajo de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá – Colombia. 71.
- Sánchez-Molinero, F. (2003). Modificaciones tecnológicas para mejorar la seguridad y calidad del jamón curado. Tesis Doctoral. Universitat de Girona. Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària. Girona, España. 150.
- Schiffner, E., Oppel, K., Lörtzing, D. (1996). Elaboración cacería de carne y embutidos. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 350-420.
- Villalobos, L. (2014). Estudios sobre carne de cordero. Tesis doctoral. Universidad de León. León - España. 139.

AGROPECUARIA

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE EVENTOS PRODUCTIVOS EN REBAÑOS BOVINOS DE LECHE

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR THE MANAGEMENT OF PRODUCTIVE EVENTS IN DAIRY CATTLE

Autores:

Cuadros, Jean¹; Useche, Miguel¹; Zambrano, Ramón²¹Departamento de Informática. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, estado Táchira. República Bolivariana de Venezuela.²Laboratorio de Investigación para el Mejoramiento de la Producción Animal (LIMPRA). Decanato de Investigación. San Cristóbal, estado Táchira. República Bolivariana de Venezuela.

Corresponding Author: rzambran@unet.edu.ve

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue el desarrollo de una herramienta informática que permitiera la automatización de los eventos productivos y reproductivos de rebaños bovinos lecheros. Para ello se hizo necesario diseñar y elaborar los módulos correspondientes a cada evento y realizar la carga de información, el procesamiento de la misma y la obtención de reportes generales e indicadores que sirvieran de guía al productor pecuario en la toma de decisiones. Se utilizaron las entrevistas y la revisión bibliográfica como técnicas de recolección de datos. Se aplicó la metodología ágil FDD para el monitoreo del software y la programación en lenguaje PHP, haciendo uso del patrón MVC (Modelo Vista Controlador). Se diseñó la base de datos Mysql para el almacenamiento de toda la data. Seguidamente se inició el diseño y la elaboración de cada módulo productivo y reproductivo con el uso de las siguientes tecnologías: Yii2 Framework, css, bootstrap jquery y javascript. Se desarrollaron los módulos de servicios, diagnósticos y pesajes de leche para el sistema operativo Android con el fin de cargar la data en el móvil y que luego fuera sincronizada en el servidor. Al finalizar cada iteración se realizaron pruebas unitarias a las funcionalidades desarrolladas. Posteriormente se hicieron pruebas funcionales con data real para efectos de validar el sistema en conjunto y confirmar su correcto funcionamiento y el cumplimiento de los requerimientos planteados. El software desarrollado brinda un apoyo esencial al productor a la hora de tomar decisiones importantes como descartar animales con problemas reproductivos, seleccionar los mejores animales y minimizar costos al reducir la cantidad de animales con problemas productivos y reproductivos.

ABSTRACT

This research aimed to develop a computer application to allow the automation of the productive and reproductive events of dairy cattle. For doing this, it was necessary to design and develop the modules for each event, uploads the information and processes it to obtain general reports and indicators to guide the producer in the decision making process. Interviews and literature review were used as data collection techniques. The agile FDD methodology was used to monitor the software and the PHP programming language, using the MVC (Model View Controller) pattern. The Mysql database was designed for storing all data. Then the design and development of each productive and reproductive module was started with the use of the technologies Yii2 Framework, css, bootstrap jquery, and JavaScript. The modules of services, diagnoses and weighing of milk for the Android operative system were developed to load the data in the mobile to be synchronized in the server. At the end of each iteration, unitary tests were performed on the functionalities developed. Subsequently, functional tests were carried out with real data in order to validate the system as a whole and confirm its correct functioning and compliance with the requirements. The software developed provides essential support to the producer when making important decisions such as: discarding animals with reproductive problems, selecting the best animals, minimizing costs by reducing the number of animals with productive and reproductive problems, among others.

Palabras clave: software, producción, reproducción, bovinos, leche.**Key words:** software, production, reproduction, bovine, milk.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE EVENTOS PRODUCTIVOS EN REBAÑOS BOVINOS DE LECHE

(DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR THE MANAGEMENT OF PRODUCTIVE EVENTS IN DAIRY CATTLE)

Desarrollo de software para gestión de rebaños

Cuadros, Jean¹; Useche, Miguel¹; Zambrano, Ramón².

¹Departamento de Informática. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, estado Táchira. República Bolivariana de Venezuela.

²Laboratorio de Investigación para el Mejoramiento de la Producción Animal (LIMPRA). Decanato de Investigación. San Cristóbal, estado Táchira. República Bolivariana de Venezuela. Email: rzambran@unet.edu.ve

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue el desarrollo de una herramienta informática que permitiera la automatización de los eventos productivos y reproductivos de rebaños bovinos lecheros. Para ello se hizo necesario diseñar y elaborar los módulos correspondientes a cada evento y realizar la carga de información, el procesamiento de la misma y la obtención de reportes generales e indicadores que sirvieran de guía al productor pecuario en la toma de decisiones. Se utilizaron las entrevistas y la revisión bibliográfica como técnicas de recolección de datos. Se aplicó la metodología ágil FDD para el monitoreo del software y la programación en lenguaje PHP, haciendo uso del

patrón MVC (Modelo Vista Controlador). Se diseñó la base de datos Mysql para el almacenamiento de toda la data. Seguidamente se inició el diseño y la elaboración de cada módulo productivo y reproductivo con el uso de las siguientes tecnologías: *Yii2 Framework*, *css*, *bootstrap* jquery y javascript. Se desarrollaron los módulos de servicios, diagnósticos y pesajes de leche para el sistema operativo Android con el fin de cargar la data en el móvil y que luego fuera sincronizada en el servidor. Al finalizar cada iteración se realizaron pruebas unitarias a las funcionalidades desarrolladas. Posteriormente se hicieron pruebas funcionales con data real para efectos de validar el sistema en conjunto y confirmar su correcto funcionamiento y el cumplimiento de los requerimientos planteados. El software desarrollado brinda un apoyo esencial al productor a la hora de tomar decisiones importantes como descartar animales con problemas reproductivos, seleccionar los mejores animales y minimizar costos al reducir la cantidad de animales con problemas productivos y reproductivos.

Palabras clave: software, producción, reproducción, bovinos, leche.

ABSTRACT

This research aimed to develop a computer application to allow the automation of the productive and reproductive events of dairy cattle. For doing this, it was necessary to design and develop the modules for each event, uploads the information and processes it to obtain general reports and indicators to guide the producer in the decision making process. Interviews and literature review were used as data collection

INTRODUCCIÓN

La industria láctea posee un papel significativo en la economía a nivel mundial. Es por ello que el productor invierte mucho tiempo y dinero en el estudio de métodos, estrategias y sistemas para obtener la mayor cantidad de leche posible y de mejor calidad, de tal manera que logre cumplir con las necesidades del consumidor en busca de productos seguros, saludables y con métodos de producción económicamente correctos (FAO-FEPALE, 2012).

Actualmente, los aspectos productivos y reproductivos son los parámetros más importantes en una explotación bovina de leche, ya que a través de ellos es posible evaluar el rendimiento propio del animal con respecto a sus contemporáneos y se cuenta con una herramienta de selección a futuro (Contreras y Zambrano 2014). Castro (2002) indica que llevar registros en una explotación ganadera es fundamental para conocer el verdadero alcance económico del negocio, las pérdidas, las utilidades y las causas que lo originan. Zambrano y Contreras (2014) mencionan que cuando no se toman en cuenta herramientas informáticas, matemáticas, estadísticas e informativas que permitan al productor conocer el estado de los animales, los niveles de producción de leche individuales ni las variantes de productividad por influencia de factores externos, la producción de leche no incrementará y no podrá observarse un mejor rendimiento del rebaño lechero. Esto acarrea que la finca no obtenga las ganancias necesarias para costear sus gastos, debido a la poca rentabilidad que ella presenta en general (Yáñez y Rojas, 2011).

A nivel global, en el mercado existen un sinnúmero de sistemas de registros informáticos desarrollados para la gestión de la empresa agropecuaria, con particularidades bien definidas y con ventajas y desventajas de unos sobre otros, pero con un objetivo en común, que no es otro que el apoyo en la toma de decisiones rápidas y acertadas en el manejo del rebaño. El uso adecuado de los datos y su análisis oportuno proporcionan el soporte necesario para la toma de decisiones asertivas, que permitan mantener

el desempeño productivo de cualquier rebaño en particular e impacten así de manera positiva en la sustentabilidad del mismo. Por estas razones, se propone el desarrollo de un sistema de información para la gestión de eventos productivos en rebaños bovinos de leche, con el propósito de ofrecer una herramienta tecnológica, innovadora y ajustada a las necesidades reales del productor, que incluya características adicionales en la estructura y manejo de datos para facilitar y optimizar la toma de decisiones.

MÉTODO

La investigación desarrollada fue de tipo aplicativo, descrita por Padrón (1998) como aquella en la que el problema es una cierta aplicación práctica formulada con expectativas de cambio respecto a una situación deficitaria, inconveniente o mejorable y que puede ser transformada o manejada mediante un prototipo de control situacional. Este trabajo nació de la situación deficitaria presentada por la finca La Alianza en cuanto al registro de producción láctea diaria y buscó proveer un elemento de apoyo para la toma de decisiones basado en un período de tiempo en el que se evaluó cada animal del rebaño, tomando en cuenta variantes que no se veían reflejadas en el tipo de registro manual utilizado hasta ahora.

En cuanto a las técnicas e instrumentos para la recolección de datos, se utilizó la entrevista no estructurada, la cual se desarrolla como una charla en la que el entrevistador hace las preguntas que se le vienen a la mente, por lo que la interacción puede tomar diferentes rumbos y el entrevistado responde en un lenguaje natural basado en su experiencia y conocimiento del tema (Dessler, 2001).

Para el desarrollo del sistema de información se usó la metodología FDD (Feature Driven Development), modalidad de desarrollo ágil de software comprendida dentro del manifiesto por el desarrollo ágil de software. Según Beck *et al.* (2001), en el manifiesto para el desarrollo ágil de software se acuerdan cuatro principios básicos: individuos e interacciones, por encima de

procesos y herramientas; software funcionando, por encima de documentación extensiva; colaboración con el cliente, por encima de negociación contractual; y respuesta ante el cambio, por encima de seguir un plan.

Se aplicó un desarrollo guiado por características FDD. Según Koch (2005), FDD está basado en un proceso repetitivo con reiteraciones cortas que se caracterizan por planeación y diseño por adelantado. Esto implica hacer el modelo de objetos, la lista de las características y la planeación al comienzo del proyecto para la producción de un software funcional sobre el cual el comprador tenga el control.

Según Ambler (2002), el FDD está compuesto por 4 etapas: 1) desarrollo del modelo global: se construye el modelo teniendo en cuenta el contexto y los requisitos del sistema a construir; 2) construir lista de características: se identifican las características, se agrupan y se priorizan para un mejor entendimiento del software; 3) plan de entregas con base en las funcionalidades a implementar: según las características de la fase anterior, se establecen objetivos y se plantea el cronograma de diseño y construcción; 4) diseño e implementación con base en las funcionalidades: se procede a diseñar y construir las funcionalidades mediante un proceso iterativo, el cual incluye inspección de diseño, codificación, pruebas unitarias, integración e inspección de código. Esta metodología fue aplicada en la investigación, con la finalidad de conseguir un trabajo concreto y con buen diseño y planificación. Usar FDD permitió hacer una selección y evaluación de características junto con el productor y evitar el uso de variables repetidas.

RESULTADOS

Iteración 1: gestión de animales

Esta iteración consiste en el manejo del peso corporal, ingreso, natalidad, mortalidad o venta de los animales en un rebaño. Se dio prioridad a la gestión de animales debido a que los demás módulos dependen de la existencia de esta funcionalidad. Los módulos desarrollados en esta iteración fueron: módulo de gestión de animales, módulo de pesos corporales y módulo de eliminación de un animal.

En cuanto al desarrollo por funcionalidad, partiendo de la base de datos se crearon los modelos de Yii2 para interactuar con la misma. Se creó el controlador con el cual se manejó la lógica de los procesos correspondientes a los módulos a desarrollar. Se inició con la creación del *layout* del sistema, el esquema que contiene usualmente porciones de la interfaz de usuario que son comunes a través de muchas vistas (de acuerdo con la página oficial de *Yii framework*). Se maquetó utilizando el *framework bootstrap* y la estructura del sitio se desarrolló utilizando HTML5. Posteriormente a la creación del *layout* se continuó con las vistas asociadas al registro de un animal (Figura 1). Una vez creadas las vistas con su navegabilidad, se procedió a desarrollar las acciones en el controlador para proporcionar la funcionalidad a este proceso. Es importante acotar que, para efectos del diseño y por normativa del artículo desarrollado, se plasmaron solo algunas pantallas de salidas generadas por el sistema.

The screenshot shows a web interface for registering an animal. At the top, there's a logo and the title 'Registrar Animal'. Below the title is a button labeled 'AGREGAR FOTO DEL ANIMAL'. The form is organized into several sections: 'Identificación' with a text input; 'Número o arete' with a text input; 'Nombre' with a text input; 'Sexo' with a dropdown menu showing 'Seleccione el sexo...'; 'Fecha de nacimiento' with a date picker; 'peso al nacer' with a text input; 'Madre' with a text input; and 'Padre' with a text input. Below these is a 'Raza' section with a blue header. Inside this section is a 'Razas' sub-section with a table-like structure. It has a 'Raza' column with a dropdown menu showing 'Seleccione la raza...' and a 'Porcentaje' column with a text input. There are green and red plus/minus buttons next to the 'Razas' header. At the bottom of the form is a 'GUARDAR' button.

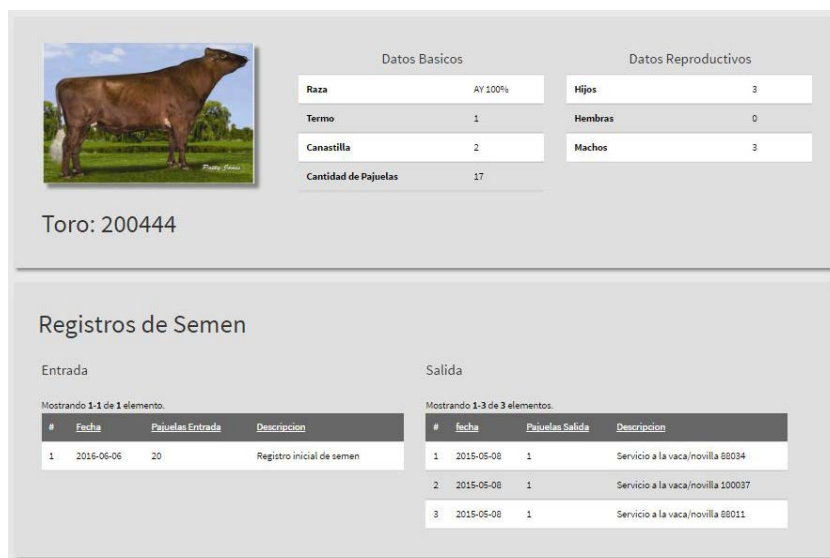
Figura 1. Pantalla de ficha general de animales generada por el sistema. Incluye datos básicos y componentes raciales existentes en el rebaño.

Una vez realizado el registro general de un animal, el sistema permite redireccionar automáticamente a una vista que muestra el listado de animales, módulo en el cual se tiene acceso a la ficha resumen del individuo. En esta pantalla se puede obtener información almacenada referente a pedigrí (padre y madre), datos reproductivos (servicios, diagnósticos de preñez, partos y abortos), estatus del individuo, componente racial, entre otros. Este tipo de datos permiten visualizar más claramente y en menor tiempo el estatus reproductivo de cada hembra, con lo que facilitan iniciar cualquier proceso de selección y cruzamiento de la población.

Iteración 2: gestión de semen

En esta iteración se desarrolló el módulo de gestión de semen, encargado del control de inventario de pajuelas para el manejo de la inseminación artificial (IA) en el rebaño. El

proceso de diseño en esta iteración consistió en definir el número de interfaces y la función de cada una de ellas, tomando en cuenta los estilos para darle un ambiente agradable al sistema. Las funcionalidades definidas fueron: registro de semen, listado de pajuelas, edición y eliminación de pajuelas, agregar pajuelas, registrar salida de pajuelas, fichas de semen y visualización de inventario de semen. Partiendo de la base de datos y la herramienta “yii” que ofrece *yii framework*, para generar las clases necesarias para el funcionamiento de un modelo modo vista controlador (MVC), se creó el controlador y las vistas, junto con los estilos que brindan una interfaz agradable al usuario. Se desarrolló una vista para cada una de las funcionalidades definidas anteriormente para esta iteración, de las cuales se muestra la ficha resumen (Figura 2).



Toro: 200444

Datos Basicos		Datos Reproductivos	
Raza	AV 100%	Hijos	3
Termo	1	Hembras	0
Canastilla	2	Machos	3
Cantidad de Pajuelas	17		

Registros de Semen

Entrada				Salida			
#	Fecha	Pajuelas Entrada	Descripcion	#	Fecha	Pajuelas Salida	Descripcion
1	2016-06-06	20	Registro inicial de semen	1	2015-05-08	1	Servicio a la vaca/novilla 88034
				2	2015-05-08	1	Servicio a la vaca/novilla 100037
				3	2015-05-08	1	Servicio a la vaca/novilla 88011

Figura 2. Pantalla de ficha resumen de cada reproductor utilizado por inseminación. Se logran visualizar las entradas y salidas de las pajuelas, incluidas las vacas servidas con el toro señalado.

Siguiendo el orden cronológico del proceso de construcción, se tomó en cuenta el orden, la prioridad y la dependencia existente entre los módulos. En este sentido, se creó la estructura de manejo MVC en Yii para cada uno de los módulos, iniciando la iteración con el módulo de servicios. El módulo muestra inicialmente un listado de las vacas que están disponibles para ser servidas, posteriormente se permite realizar cargas múltiples a diferentes vacas y novillas que cumplan con las condiciones requeridas para su servicio: peso mayor o igual a 300 kg, edad mayor o igual a 18 meses en el caso de las novillas y estado reproductivo en el caso de las vacas, es decir, la vaca debe estar vacía. Si el tipo de servicio proporcionado durante el registro es IA, se habilita un formulario donde se ingresan los datos inherentes al semen usado y el inseminador, en caso de ser monta natural, se registra la información correspondiente al toro.

Iteración 3: gestión de reproducción

En esta iteración se maneja de comienzo a fin el ciclo reproductivo de una vaca. Se desarrollaron

los siguientes módulos: gestión de servicios, gestión de diagnósticos, gestión de partos y gestión de abortos. El proceso de diseño de esta iteración comenzó con la definición del número de interfaces y las funciones de cada una, manteniendo los mismos estilos visuales trabajados en módulos anteriores.

Como primer paso se creó la estructura de manejo MVC en Yii para cada uno de los módulos, iniciando la iteración con el módulo de servicios. Seguidamente, se desarrollaron de manera paralela los módulos de parto y de aborto debido a que no existe dependencia entre ellos. El módulo de parto corresponde al registro de evento de parto de una hembra diagnosticada preñada, donde se podrá registrar un parto simple o un parto múltiple con un máximo de 2 crías. Automáticamente luego de la carga de los datos, se pasa a la madre a un estado de ordeño y se registran las crías como animales activos de la finca (Figura 3)

The screenshot shows a web interface for registering a birth. At the top, there's a logo for 'ATRAS' and the title 'Registrar Parto'. Below this, there are two main input fields: 'Vaca' (Cow) with a dropdown menu showing 'Seleccione la vaca/novilla ...' and 'Fecha de parto' (Birth date) with a calendar icon. Underneath these is a blue header for 'Crias' (Calves). Below that is a white box with a blue header for 'Becerro' (Heifer), which includes a green plus icon and a red minus icon. Inside this box are three input fields: 'Identificación del becerro' (Heifer identification), 'Sexo' (Sex) with a dropdown showing 'Seleccione el sexo..', and 'Peso al nacer' (Weight at birth). At the bottom left of the form is a 'GUARDAR' (Save) button.

Figura 3. Pantalla de ficha de parto del sistema. Se logra visualizar la fecha de parto y todo lo referente a la cría.

Iteración 4: gestión de producción

Una vez desarrolladas todas las funcionalidades correspondientes a la reproducción de una hembra, se procedió a desarrollar lo asociado a la producción de leche. Los módulos incluidos fueron: pesajes de leche y secado de vientres.

El proceso de diseño de esta iteración comenzó con la definición del número de interfaces y las funciones de cada una, manteniendo los mismos estilos visuales trabajados en módulos anteriores. Inicialmente se diseñó un módulo para realizar registros diarios de pesajes de leche. Posteriormente, el productor indicó que los pesajes de leche no se realizan diariamente; en lugar de ello se toma un pesaje promedio cada cierto tiempo (semanal, quincenal o mensual), además de que el registro debía hacerse a todas las vacas del ordeño de manera simultánea. Luego de finalizado el módulo de pesajes se comenzó el diseño de la sección de secado de vientres en conjunto con el productor. Las funcionalidades definidas fueron: registrar pesajes de leche a las vacas en ordeño y registrar secado de vientre a una vaca.

Como primer paso se creó la estructura de manejo MVC en Yii para cada uno de los módulos, iniciando la iteración con el de pesajes de leche. Este módulo cuenta con un listado de las vacas que se encuentran en ordeño (Figura 4), además de la sección para la carga de un nuevo registro, en que se introduce la fecha del pesaje y si el ordeño se hace con apoyo de becerro. Una vez que el usuario proporciona esta información se pasa a la carga del próximo formulario, donde se ingresa el pesaje realizado en el turno de la mañana y el turno de la tarde por cada hembra que se encuentre en el ordeño y adicionalmente se observa la cantidad de días en que no se ha registrado pesaje para la vaca. Seguidamente, se desarrolló el módulo de secados, que permite registrar la interrupción de la lactancia actual de la vaca, con el fin de lograr la recuperación fisiológica de la misma para su próxima lactancia. En este evento el usuario ingresa la identificación de la vaca a secar y la fecha correspondiente al último pesaje de leche realizado, para dar por finalizada la lactancia actual.

#	Identificación	Raza	Parto	Ultimo pesaje	Días en lactancia	Producción	Promedio leche diario	Estado	Posible secado
1	77021	50% ME y 50% HO	15/02/2016	23/03/2016	113	1071.8	5.9	Vacia	-
2	77036	50% NO y 50% HO	09/10/2015	23/03/2016	242	32.5	0.2	Vacia	-
3	88011	50% HO y 50% GY	17/02/2016	16/09/2015	111	1448.1	5.5	Vacia	-
4	88012	50% PS y 50% ME	09/06/2015	23/03/2016	364	1979.1	6.9	Vacia	-
5	88014	50% PS y 50% ME	31/10/2014	16/03/2016	585	1513.6	3	Vacia	-
6	88034	50% JE y 50% HO	14/02/2016	16/09/2015	114	326.2	1.7	Vacia	-
7	99018	50% HO y 50% GY	14/02/2016	16/09/2015	114	907.4	4.5	Vacia	-
8	100037	50% HO y 50% BR	16/02/2016	23/03/2016	112	1373.7	6.4	Vacia	-

Figura 4. Reporte general de vacas en ordeño. Se visualizan todos los aspectos productivos con sus respectivos indicadores: duración de lactancia, producción de leche acumulada, promedio de producción diaria, entre otros.

Iteración 5: históricos

Durante esta iteración se desarrolló un módulo encargado de llevar el histórico de cada uno de los eventos productivos y reproductivos de las vacas del rebaño. El proceso de diseño se llevó a cabo con el propósito de mantener el estilo de los

módulos del sistema ya desarrollados, tomando en cuenta la usabilidad y la navegabilidad. Se agregaron las vistas correspondientes al histórico de registros de las vacas de la finca tomando en cuenta las funcionalidades previamente definidas y basándose en la estructura MVC, usada durante todo el proyecto (Figura 5).

#	Vaca	Fecha del pesaje	Pesaje	Número de parto	Días	Pesaje Total	Acumulado	Opciones
1	122050	19-11-2014	8.2	1	11	90.2	90.2	 
2	77021	19-11-2014	7.6	1	49	372.4	334.4	 
3	88014	19-11-2014	7.4	1	19	140.6	140.6	 
4	88014	27-11-2014	7.1	1	8	56.8	197.4	 
5	77021	27-11-2014	6.7	1	8	53.6	388	 
6	122050	27-11-2014	6.5	1	8	52	142.2	 
7	88047	27-11-2014	8	1	4	32	32	 
8	99041	27-11-2014	6.3	1	4	25.2	25.2	 
9	122078	27-11-2014	7.8	1	5	39	39	 
10	122050	10-12-2014	6.4	1	13	83.2	225.4	 

Figura 5. Reporte general de histórico de pesajes de leche. En él se observa toda la información productiva de cada vaca en ordeño existente en el rebaño, desde la fecha de parto hasta la producción acumulada (litros de leche durante la lactancia).

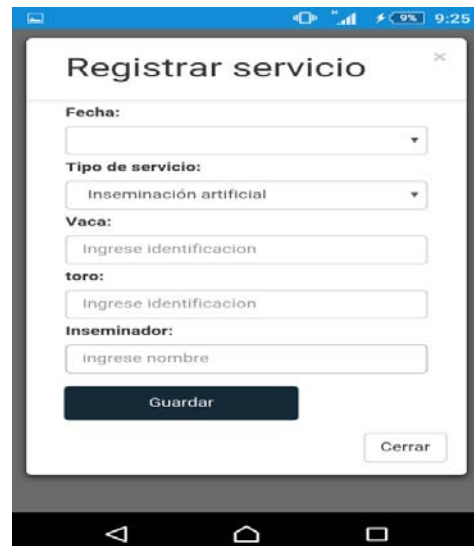
Iteración 6: módulo móvil para dispositivos Android

En esta iteración se desarrolló el módulo para dispositivos móviles, con el fin de cargar servicios, diagnósticos y pesajes de leche, todo de manera asíncrona. Los registros realizados pueden ser enviados al servidor mientras el dispositivo Android esté conectado a la misma red local del servidor. De igual forma se pueden eliminar los registros almacenados de manera local en el móvil. El proceso de diseño se comenzó realizando en papel los prototipos de lo que serían los módulos de carga de datos, manteniendo los estilos visuales del sistema principal (Figuras 6 y 7). Se inició la creación del archivo HTML contentivo de las opciones disponibles, seguidamente se desarrollaron los módulos de carga de servicios, diagnósticos y pesajes de leche. Todo se diseñó con el *framework bootstrap*. Para el manejo de la data se usó *LocalStorage* de HTML y para realizar el envío al servidor se manejó con peticiones Ajax. El servidor recibe los registros (con una ip estática asignada) y se encarga de guardar la data en la base de datos. Una vez realizado todo con HTML5 Javascript y CSS, se implementó la herramienta llamada website 2 APK builder Pro,

que genera el APK (archivo instalador de Android) para instalar estos módulos en el explorador del dispositivo Android.

Iteración 7: reportes

En esta iteración se desarrolló el módulo de reportes e indicadores, de gran utilidad en la generación de información relevante para el productor a partir de los datos almacenados en el sistema, descritos en las iteraciones anteriores. A partir de entrevistas al productor, se definió la información de mayor relevancia que se debe obtener a partir del módulo. En el proceso de desarrollo, se identificó el modelo vista y el controlador necesario, para luego generar los scripts SQL consultando la base de datos para obtener los datos del reporte. Para el reporte productivo, se tomaron en cuenta las hembras que actualmente están y han estado en producción, con la posibilidad de exportar en formato Excel y PDF. En el listado se encuentra habilitada la opción para ver la información detallada de la lactancia de una vaca, donde se observa la ficha de la hembra y su producción junto con el gráfico que muestra la curva de lactancia.



Figuras 6 y 7. Menú de opciones (izquierda) y registro de servicios en dispositivo móvil (derecha).

DISCUSIÓN

Todo sistema de información debe poseer características de usabilidad, funcionalidad y eficiencia para un correcto manejo de datos. En este sentido, el sistema desarrollado cuenta con un módulo de reportes que contempla mayor información de interés productivo y reproductivo en comparación con otros programas comerciales existentes en el mercado, ofreciéndole al productor una herramienta de manejo eficiente para la toma de decisiones.

El desarrollo de los módulos servicios, diagnósticos y pesajes de leche para dispositivos con sistema operativo Android ofrece al productor un instrumento innovador en referencia a los softwares que se comercializan actualmente, puesto que brindan mayor comodidad y ventaja a la hora de manejar la información y la posibilidad de interactuar con el programa desde cualquier lugar de la unidad de producción.

De acuerdo con la metodología de desarrollo de software utilizada, al finalizar cada iteración se realizaron pruebas unitarias a las funcionalidades desarrolladas. Se hicieron pruebas con data real de la finca para efectos de validar el sistema en conjunto y confirmar su correcto funcionamiento y el cumplimiento de los requerimientos planteados, con lo que se brindó al productor un manejo consistente y seguro de los datos de su finca.

CONCLUSIONES

El desarrollo de un sistema de gestión en ganadería lechera bovina brinda al productor una solución de automatización de los procesos de producción, además de ofrecer indicadores para la toma acertada de decisiones que permitan maximizar dicha producción y minimizar pérdidas.

El desarrollo de un módulo asíncrono para dispositivos con sistema operativo Android ofrece rapidez, eficacia y facilidad al momento de cargar data y permite realizar el registro en

cualquier lugar, para su posterior carga al servidor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo desean agradecer al Decanato de Investigación de la UNET por el apoyo financiero dado para el desarrollo del proyecto de investigación signado con el número 01-036-2015 de la Coordinación de Investigación Industrial.

REFERENCIAS

- Ambler, S. (2002). *Agile modeling: effective practices for extreme programming and the unified process*. John Wiley & Sons, New York.
- Beck, K., Beedle, M., Van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., Thomas, D. (2001). *Manifesto for Software Agile Development* [Internet], Disponible desde <http://agilemanifesto.org/> [Acceso Junio 1, 2017].
- Castro, A. (2002). *Ganadería de leche enfoque empresarial*. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Contreras, R., Zambrano, R. (2014). Cruzamientos en la producción de leche en el trópico. En: *Logros & Desafíos de la Ganadería Doble Propósito*. C Gonzales-Stangnaro, N Madrid-Bury, E Soto-Belloso (eds). Fundación GIRARZ. Maracaibo-Venezuela. Cap. XVI: 165-173.
- Dessler, G. (2001). *Administración de personal*. Pearson Educación.
- Drucker, P. (1995). *La Sociedad Postcapitalista*. Colombia: Editorial Norma.
- FAO-FEPALE. (2012). *Situación de la Lechería en América Latina y el Caribe en 2011*, Observatorio de la Cadena Lechera. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, División de Producción y Sanidad Animal.
- Koch, A.S. (2005). *Agile software development. Evaluating the methods for your organization*. Artech House, Londres.
- Padrón, J. (1998). *La Estructura de los Procesos de Investigación*. Recuperado desde:

http://padron.entretemas.com/Estr_Proc_Inv.html

Yáñez-Cuéllar L., Rojas, N. (2011). Orientación para un programa Nacional de Mejoramiento Genético del Ganado de Doble Propósito. En: *Innovación & Tecnología en la ganadería de doble propósito*. Gonzales-Stangnaro, N Madrid-Bury, E Soto-Belloso (eds).

Fundación GIRARZ. Ediciones Astro Data. S.A. Maracaibo-Venezuela. XVII: 165-174.

Zambrano R., Contreras, R. (2014). Descarte, vida Productiva y Selección en Rebaños Doble Propósito En: *Logros & Desafíos de la Ganadería Doble Propósito*. C Gonzales-Stangnaro, N Madrid-Bury, E Soto-Belloso (eds). Fundación GIRARZ. Maracaibo-Venezuela. Cap. XVI: 157-158.

SOCIO ECONÓMICO

SOCIO ECONÓMICO

ANÁLISIS Y CATEGORIZACIÓN DE LOS ERRORES ESTADÍSTICOS EN LOS TRABAJOS DE GRADO

ANALYSIS AND CATEGORIZATION OF STATISTICAL ERRORS IN DEGREE DISSERTATIONS

Autor:

Gandica, Elizabeth

Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

Corresponding Author: egandica@unet.edu.ve

RESUMEN

En la investigación realizada, se planteó como objetivo general analizar los errores estadísticos que se cometen en el proceso de investigación en los trabajos de grado presentados en el decanato de postgrado de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. (UNET), durante los años 2016 y 2017 y categorizar estos según la clasificación propuesta por Saucedo (2007). La investigación se inscribe dentro de las posturas del paradigma cuantitativo. La población de estudio quedó conformada por los trabajos de grado con enfoque cuantitativo, presentados y defendidos durante los años 2016 y 2017 en el decanato. Para la recolección de datos, se utilizó la técnica de la observación con un instrumento diseñado por la investigadora, el cual permitió cotejar como se están llevando a cabo los procedimientos estadísticos. Para el análisis de los datos, se utilizaron los métodos estadísticos descriptivos y análisis de Pareto, encontrándose errores en la organización y representación gráfica de los datos, poblaciones mal definidas, uso de medidas de análisis no pertinentes, tamaño y técnicas de selección de la muestra inadecuadas, uso y abuso de los supuestos de normalidad para los datos que ameritan este estudio, deficiencias en el análisis de confiabilidad de los instrumentos de recolección de datos y ausencia de los métodos de estimación en la investigaciones que así lo ameritan. Analizar y categorizar estos, permitió evidenciar los aspectos de la estadística que acompañan el desarrollo de los trabajos de grado, cuyo conocimiento delimitará y fortalecerá los cimientos metodológicos estadísticos que afronta el desarrollo de toda investigación científica.

ABSTRACT

This study was committed to analyze and to categorize the statistical errors made during the research process in degree dissertations carried out at postgraduate level submitted to the Post degree Faculty at the National Experimental University of Táchira (UNET) during the years 2016 and 2017. The categorization set up here is based on a classification rationale according to Saucedo (2007). This study is grounded on a quantitative paradigm. The study population was made up of the degree dissertations submitted and presented during years 2016 and 2017 at the Faculty. For data collection, the observation technique was used, with an instrument designed by the researcher which allowed comparing how the statistical procedures are being carried out. For the analysis of the data, descriptive statistical methods, Pareto and Modal analysis of failures and effects were used finding errors basically in the organization and graphic representation of the data, poorly defined population, use of irrelevant analysis measures, inadequate size and sample techniques' selection, over use of the normality assumptions for the data meant in this study, deficiencies in the reliability analysis of data collection instruments and absence of estimation methods in the research process. Finally, to analyze and to categorize these errors allowed highlighting the statistics aspects which are to go along with the development of degree dissertations. These procedures will delimit and strengthen the statistical methodological foundations that all scientific research development faces.

Palabras clave: Errores estadísticos, calidad académica-científica, trabajos de grado y proceso de la investigación.

Key words: Statistical errors, academic-scientific quality, degree dissertation, research process

INTRODUCCIÓN

La Estadística vista como el conjunto de métodos, técnicas y procedimientos para el manejo de datos, su ordenación, presentación, descripción, análisis e interpretación, es parte esencial y significativa en todo proceso investigativo. Los métodos desarrollados por la estadística pueden ser aplicados en distintos campos del saber, constituyendo un importante instrumento en los estudios científicos.

En las distintas etapas del proceso de investigación, la estadística tiene presencia desde la formulación del problema, donde se determina el tipo de datos que es necesario recoger, las técnicas de recogida adecuadas para ello y los procedimientos estadísticos que se utilizarán para el análisis. Seguidamente en el proceso investigativo, todo se va interrelacionando por lo que se deben tomarse decisiones que están estrechamente vinculadas con el conocimiento estadístico. En la etapa de definición de población y la muestra, por ejemplo, se requiere del conocimiento de la teoría de muestreo, la cual implica conocer tamaño y técnicas de selección de la muestra. En la etapa de recolección de datos es importante el conocimiento de las técnicas y los instrumentos de recolección, así como los métodos para analizar la validez y la confiabilidad de los mismos. A medida que el proceso de investigación se lleva a cabo será necesario definir métodos de análisis de datos y escoger los procedimientos estadísticos adecuados para una descripción o una inferencia, según sea el caso.

El uso de cualquier método estadístico es aplicable solo cuando el sistema o población bajo consideración satisface los supuestos matemáticos del método. El mal uso de la estadística puede producir errores en la descripción e interpretación provocando resultados y conclusiones equivocadas que afectarán la toma de decisiones. Incluso cuando la estadística es correctamente aplicada, los resultados pueden ser mal interpretados por un inexperto.

En este orden de ideas, es necesario que los investigadores o responsables de la conducción de los trabajos de investigación o productos científicos, conozcan y apliquen de forma adecuada los procedimientos y métodos estadísticos, con el fin de garantizar la calidad académica en los productos científicos que se presentan. La autora sostiene que en los productos científicos revisados como parte de su labor diaria, los errores encontrados evidencian un desconocimiento apreciable sobre teorías y métodos estadísticos. Ahora bien, a pesar de las múltiples deficiencias presentes, las investigaciones se encuentran en las bibliotecas o están publicadas; y, sirven como antecedentes referenciales e incluso como fuentes secundarias para otras investigaciones, logrando así que estos errores se transfieran de investigación a investigación. En este sentido, es de esperar que algunas conclusiones o toma de decisiones adolezcan de fiabilidad. Por otro lado, es importante destacar que de no estudiarse esta situación y proponerse alternativas de solución, en el menor tiempo posible, se seguirán afectando investigaciones futuras, al punto que sus resultados no merezcan la confiabilidad que exige su potencial servicio como antecedentes o fuentes secundarias.

En la búsqueda de posibles soluciones a las fallas observadas, cabe preguntarse: ¿Cuáles son los errores estadísticos que se cometen con mayor frecuencia? ¿Cómo se clasifican esos errores? ¿En qué etapa del proceso investigativo se cometen más errores?

Para dar respuesta a estas interrogantes, la investigadora, se propuso analizar los errores estadísticos que se cometen en el proceso de investigación en los trabajos de grado presentados en el decanato de postgrado de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. (UNET), durante los años 2016 y 2017 y categorizar los errores según la clasificación propuesta por Saucedo (2007).

Para llevar a cabo esta investigación, se consideraron algunos trabajos previos relacionados con la categorización de errores

matemáticos y estadísticos. Terán, Álvarez y González (2009) analizaron los errores en los conocimientos en el análisis de regresión bivariable lineal. La investigación tuvo como objetivo analizar y categorizar los errores que se cometen en las aplicaciones del análisis de regresión. La investigación fue de tipo cuantitativa. Se utilizaron, como instrumento de recolección de datos, las pruebas objetivo y de desarrollo. Se analizaron estas, con estadística descriptiva y categorizaron los errores encontrados con base en la categorización propuesta por Saucedo-Iaffel y Scaglia. La categorización utilizada por Terán et al, es aplicable a esta investigación para la categorización de los errores estadísticos.

Colas (2011) estudió las dificultades y errores en la investigación educativa. Su estudio, se enfocó en tres aspectos fundamentales: selección de la unidad de análisis, periodicidad de la medida e instrumentos de medida. El estudio, se llevó a cabo bajo la postura cuantitativa con la técnica de la observación. Como resultado, se obtuvieron los errores más frecuentes en los tres aspectos evaluados. Los errores encontrados sirven de referencia para el diseño del instrumento de recolección de datos de la investigación planteada por la autora.

Choco (2015) enumera una serie de errores en cada etapa del proceso investigativo, estos errores serán referencia para diseñar el instrumento de recolección de datos propuesto por la autora.

Debido a que el punto central de esta investigación son los errores estadísticos, se explicarán brevemente algunos conceptos que servirán de base para la interpretación de los resultados obtenidos.

Para la presente investigación, se consideran errores estadísticos, la equivocación que contraviene el criterio y que se reconoce como válido en los métodos estadísticos. Para el análisis y categorización, se utilizará el modelo planteado por Saucedo (2007). Este modelo fue ajustado por la investigadora a los modelos

estadísticos, basada en su experiencia y conocimiento. Los errores se clasifican en siete categorías, las cuales se describen a continuación:

1. **Datos mal utilizados:** se incluyen aquí, los casos en que se añaden datos extraños, se olvida algún dato necesario para la solución, se asignan significados inconsistentes, se utilizan valores numéricos de una variable para otra distinta y se hace una lectura incorrecta de los resultados numéricos de una medida. Errores en la definición de población, del marco muestral, ausencia de pruebas piloto cuando son necesarias, diseños de muestreo equivocados. Errores en las fórmulas para el cálculo de tamaño de la muestra.
2. **Interpretación incorrecta del lenguaje:** se incluyen aquí los casos de errores debido a una traducción errónea de símbolos o conceptos matemáticos. Interpretación incorrecta de términos gráficos. Desconexión entre lo analítico y lo gráfico. Errores en la interpretación de gráficos y de las medidas calculadas.
3. **Empleo incorrecto de propiedades y definiciones:** aquí se consideran errores que se cometen por deformación de un principio, regla o definición determinada. Errores en la aplicación del teorema central del límite, errores en la aplicación de métodos estadísticos etc. Ausencia de pruebas de bondad de ajuste. Ausencia de la comprobación de los supuestos teóricos del método estadístico a ser aplicado.
4. **Errores al operar algebraicamente:** Sumar, restar, multiplicar, etc., expresiones algebraicas. Errores en el cálculo de las medidas, como media, moda, desviación típica etc.
5. **No verificación de resultados parciales o totales:** se incluyen los errores que se presentan cuando cada paso en el proceso fue correcto, pero el resultado final no. Ausencia de estimación de los parámetros

poblacionales. Decisiones solo en el hallazgo muestral.

6. **Errores lógicos:** en este grupo se incluyen los errores que se cometen por falacias en el razonamiento. Justificaciones inadecuadas. Explicaciones ilógicas.
7. **Errores Técnicos:** en esta categoría se consideran los errores de cálculo y errores de transcripción de datos del temario.

MÉTODO

La investigación, se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, no experimental, descriptivo de campo. La población quedó conformada por treinta y siete (37) trabajos presentados en el Decanato de postgrado de la UNET, de enfoque cuantitativo que se encuentran disponibles para su consulta en la biblioteca central de la UNET. En la tabla 1, se muestra la distribución por postgrado de los trabajos analizados:

Tabla 1: Distribución de los trabajos de grados analizados

Maestría	Número de trabajos
Gerencia de empresas mención Mercadeo	9
Gerencia de empresas mención Finanzas	5
Gerencia Educativa	8
Gerencia de empresas mención Industria	8
Mantenimiento Industrial	4
Enseñanza de las Ciencias Básicas	3
Total de Trabajos de grado	37

La variable estudiada en esta investigación, se definió como errores estadísticos cometidos en los trabajos de grados presentados en el Decato de postgrado. La técnica de recolección de datos fue la observación y como instrumento de recolección de datos la lista de cotejo, la cual se diseñó tomando como referencia una exploración previa de los trabajos de grado. Los treinta y siete (37) trabajos de grado revisados fueron realizados bajo el diseño de una investigación no experimental; por lo tanto, en la lista de cotejo se

mencionaron solo aquellos procedimientos estadísticos inherentes a este tipo de investigación.

Los criterios para evaluar la pertinencia de cada indicador, fueron construidos a partir de los conceptos teóricos y metodológicos, que subyacen a los procedimientos estadísticos y al proceso de investigación científica. En las tablas 2 y 3 se detallan los procedimientos y su clasificación por categoría.

Tabla 2: Procedimientos estadísticos evaluados

Procedimiento Estadístico
1. Objetivos de la investigación
2. Diseño de la investigación
3. Población
4. Prueba piloto
5. Descripción de la prueba piloto
6. Resultados de la prueba piloto
7. Análisis de la prueba piloto
8. Prueba de bondad de ajuste
9. Muestra
10. Fórmulas de muestreo
11. Marco muestral
12. Técnica de selección de la muestra
13. Procedimiento de la técnica de selección
14. Organización de los datos
15. Representación de los datos
16. Inferencia de los parámetros poblacionales
17. Confiabilidad de los instrumentos

Tabla 3: Procedimiento estadístico para cada categoría de errores.

Categoría de errores	Procedimiento
Datos mal utilizados	4-7-16-17
Interpretación incorrecta del lenguaje	6-7-11
Empleo incorrecto de las propiedades y definiciones	8-10-12-13-15-17
Error al operar algebraicamente	10-14-16-17
No verificación de resultado parciales o totales	16
Errores Lógicos	1-2-3-9-16-17
Errores Técnicos	5-11

Una vez realizada la observación, se analizaron los resultados con métodos estadísticos descriptivos y análisis de Pareto y se realizó la categorización de los errores. Con este análisis, se encontraron los factores más importantes en la problemática planteada y se determinó la raíz del problema.

RESULTADOS

Los trabajos de grado evaluados corresponden a investigaciones no experimentales con diseños de campo. El análisis, se centró en los

procedimientos estadísticos aplicados en cada uno de ellos. Las investigaciones revisadas, se clasificaron en cuatro grupos: investigaciones con censo sin prueba piloto, investigaciones con censo y prueba piloto, investigaciones con muestra sin prueba piloto e investigaciones con muestra y prueba piloto. Esta clasificación fue necesaria, debido a que los criterios de evaluación son diferentes para cada tipo de investigación. La tabla 4 muestra la distribución en los grupos antes mencionados:

Tabla 4: Distribución de las investigaciones analizadas por censo o muestra

TIPO DE ESTUDIO	
Censo sin prueba piloto CSPP	7
Censo con prueba piloto CPP	12
Muestreo sin prueba piloto MSPP	7
Muestreo con prueba piloto	11



Gráfico 1. Errores en los trabajos de grado realizado con censo, sin prueba piloto. Diagrama de Pareto.



Gráfico2. Errores en los trabajos de grado realizado con censo y prueba piloto. Diagrama de Pareto

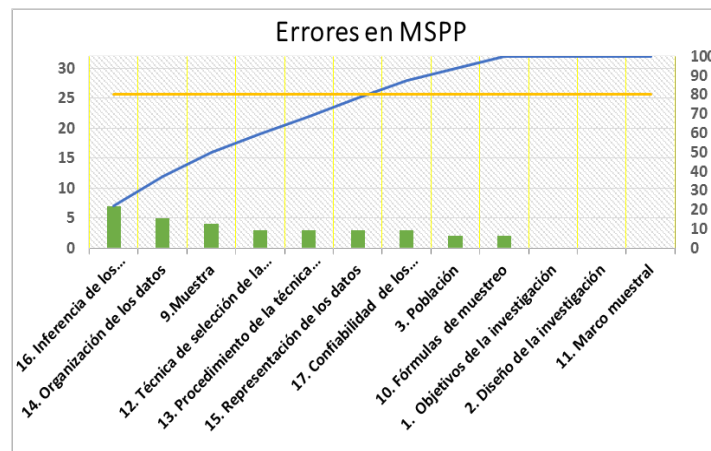


Gráfico3. Errores en los trabajos de grado realizado con muestreo y sin prueba piloto. Diagrama de Pareto

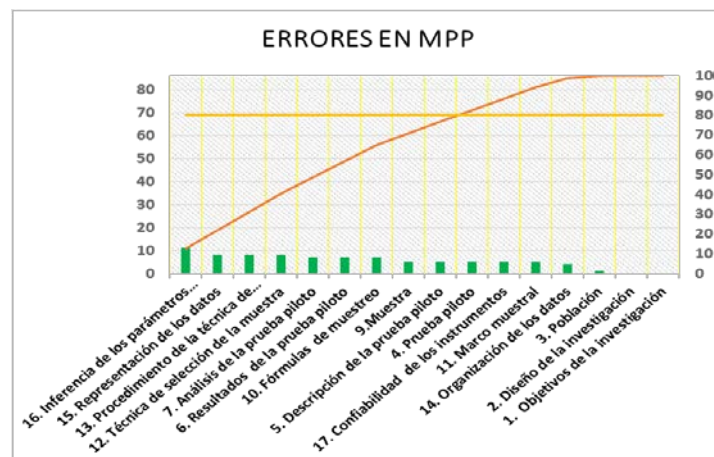


Gráfico4. Errores en los trabajos de grado realizado con muestreo y prueba piloto. Diagrama de Pareto

Clasificación de los errores según la categorización de Saucedo (2007)



Gráfico 5. Categorización de los errores en los trabajos de grado CPP

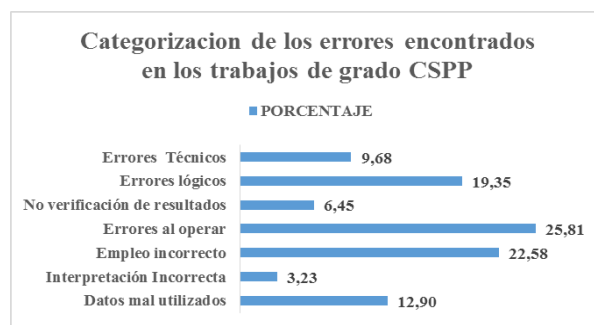


Gráfico 6. Categorización de los errores en los trabajos de grado CSPP

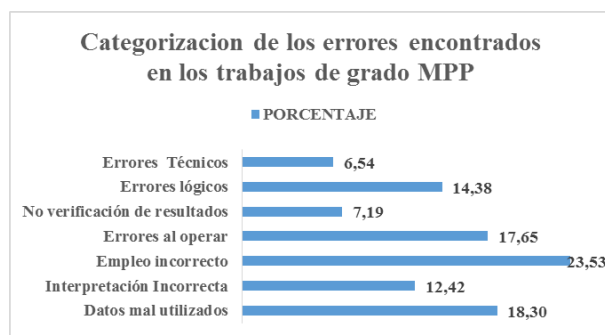


Gráfico 7. Categorización de los errores en los trabajos de grado MPP



Gráfico 8. Categorización de los errores en los trabajos de grado MSPP

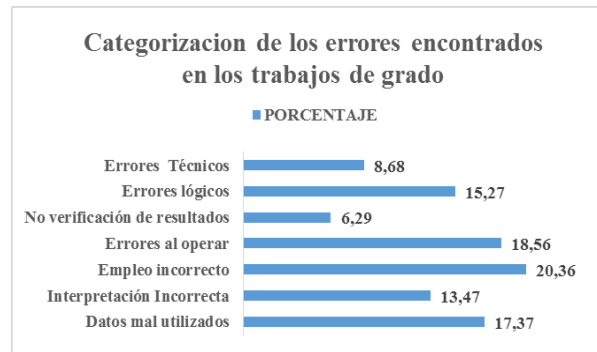


Gráfico 9. Categorización general de los errores encontrados en los trabajos de grado.

DISCUSIÓN

Gráfico 1: En este grupo, el desconocimiento en los procedimientos estadísticos relacionados con organización de datos y el alfa de Crombach son los que generan el 80% de los errores encontrados. El cálculo del coeficiente de Crombach sin prueba piloto, se encontró en cuatro (4) trabajos de grado evaluados en este grupo. Con menor frecuencia, se cometieron errores en la población y representación de los datos. Cabe resaltar que, los trabajos donde se aplicó censo son los que presentan menos errores. Sin embargo, la no aplicación de la prueba piloto es considerada un error en el procedimiento estadístico (Bencardino, 2002).

Gráfico 2: El diagrama de Pareto para este grupo de trabajos de grado, muestra que el error más frecuente encontrado está relacionado con los resultados de la prueba piloto. Ésta forma parte principal de los pocos vitales, al igual que la descripción y definición de la misma. Otro error de alta frecuencia es el relacionado con la representación de los datos. Esto demuestra falta de conocimiento en relación con la prueba piloto y representación de los datos, lo cual genera el 80% de los errores en este grupo. Errores de poca frecuencia, los relacionados con el marco muestral, la población y organización de los datos.

Gráfico 3: El diagrama de Pareto muestra los errores más frecuentes encontrados en los trabajos de grado, donde se aplicó muestreo; pero, no se realizó la prueba piloto. Se puede

observar que en los siete (7) trabajos correspondientes, no hubo inferencia de los resultados a la población de estudio, la cual es el objetivo principal del muestreo. En cinco (5) de ellos, la organización de datos no fue pertinente y en cuatro (4) trabajos, la muestra no fue la adecuada. Asimismo, se observa que hubo errores en tres (3) trabajos de grado en cuanto a la técnica de selección de la muestra, procedimiento de muestreo, representación de los datos y aplicación del alfa de Crombach, para probar la confiabilidad de los instrumentos.

Con respecto al análisis de Crombach, se observa que en tres trabajos se calculó en la totalidad de la muestra, lo cual contradice la forma correcta en que debe ser aplicado. Los errores antes mencionados se denominan “pocos vitales”, son los de mayor frecuencia, de manera que si se eliminan las causas que los provocan, desaparecerían la mayor parte de las debilidades encontradas. En este cuadrante, se agrega la confiabilidad del instrumento por tener igual frecuencia que los otros. La falta de conocimiento en la teoría de estimación, teorías de muestreo y la representación y organización de los datos está generando el 80% de los errores en los trabajos de grado con muestreo sin prueba piloto.

Gráfico 4: El diagrama de Pareto muestra, al igual que en el análisis anterior, que el procedimiento de inferencia de los resultados a la población no es pertinente, encontrándose el error en los once (11) trabajos evaluados. Asimismo, se observa alta frecuencia de errores

en los procedimientos estadísticos que tienen relación con la representación de los datos y la selección de la muestra. En este grupo los “*pocos vitales*”, corresponden a la ausencia o al poco conocimiento que se tiene sobre las teorías de estimación, teorías de muestreo, descripción, resultados, análisis de la prueba piloto y representación de los datos, contribuyendo estos a generar el 80% de los errores encontrados en los trabajos de grado con muestreo y aplicación de la prueba piloto.

Es importante acotar que los “*muchos triviales*” de este grupo, solo corresponde a los procesos estadísticos relacionados con la población y organización de los datos. Errores en el marco muestral y en la confiabilidad de los instrumentos se toman dentro de los pocos vitales debido a que tienen igual frecuencia. Los “*muchos triviales*” de este grupo, corresponden a los errores en los procesos estadísticos, relacionados con la población y fórmulas de muestreo. Estos son de menor prioridad.

Gráfico 5: En los trabajos de grado, donde se aplicó censo y se realizó prueba piloto, los errores de la categoría “Interpretación incorrecta” son los que más predominan, cometiéndose estos en un 24,39%. Seguido de 19,51% de errores en la categoría “Datos mal utilizados”.

Gráfico 6: Para los trabajos de grado donde se aplicó censo sin prueba piloto, la categoría predominante con un 25,81% es “Errores al operar algebraicamente” Para la categoría “Empleo incorrecto” un 22,58%.

Gráfico 7: En los trabajos de grado con muestreo y realización de prueba piloto, la categoría predominante con un 23,53% es “Empleo incorrecto”, seguido de un 18,30% en la categoría “Datos mal utilizados”.

Gráfico 8: Para los trabajos de grado con muestreo sin realización de la prueba piloto, la categoría con mayor porcentaje es “Errores al operar” con un 25% seguido de un 23,53% para la categoría “Errores Lógicos”

Gráfico 9: El análisis general de errores estadísticos, cometidos en los 37 trabajos de grado analizados, muestra que un 20,36% de los errores encontrados pertenecen a la categoría “Empleo incorrecto”, 18,56% a la categoría “Errores al operar”, 17,37% a “Datos mal utilizados”, 15,27% “Errores lógicos, 13,47% a “Interpretación incorrecta, 8,68% a “Errores técnicos “y un 6,29% a “No verificación de resultados”.

CONCLUSIONES

A partir de la revisión y análisis realizado, se lograron categorizar los errores que se comenten con mayor frecuencia en las distintas investigaciones científicas. Se pudo constatar que los errores más frecuentes están en las categorías “empleo incorrecto” y “errores al operar”, lo que demuestra un desconocimiento en cuanto a las pruebas de bondad de ajuste, teoría de muestreo, teoría de estimación, organización y representación de los datos, y aplicaciones de los métodos de confiabilidad de los instrumentos.

El objetivo de categorizar y analizar los errores estadísticos, proporciona una herramienta sumamente enriquecedora para mejorar la calidad académica de los productos científicos y revisar cómo se están llevando a cabo los procesos de enseñanza y aprendizaje de la estadística.

El error debe dejar de ser considerado como algo nocivo para transformarse en un tema de reflexión, en el cual los tutores, asesores y/o responsables de la conducción de los trabajos de grado, en su rol de facilitadores y orientadores, asuman y promuevan la importancia de la estadística como herramienta fundamental en todo proceso investigativo, y adquieran nuevos y mejores conocimientos en aras de elevar la calidad científica-académica que debe caracterizar a toda investigación científica.

REFERENCIAS

Álvarez, González y Terán. (2009). Análisis de los errores en los conocimientos previos al proceso de enseñanza y aprendizaje del análisis de regresión bivariable lineal de los alumnos de la carrera de contador público. Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas de la escuela de Estadística. Universidad Nacional de Rosario. Bogotá-Colombia

Bencardino, C. (2002). Estadística y Muestreo. Onceava edición. Bogotá-Colombia. Eco ediciones.

Chocó, A. (2015) Elementos para evitar errores en el diseño de investigaciones en ciencias de la salud. Revista científica de la facultad de medicina. Guatemala.

Colas, P. (2011) Dificultades y errores metodológicos en la investigación educativa. Revista interuniversitaria de didáctica, ISSN 0212-5374, (3), 165-172.

Saucedo, G. (2007) Categorización de errores algebraicos en los alumnos ingresantes a la Universidad. Itinerarios Educativos. Biblioteca virtual.

SOCIO ECONÓMICO

LA ACCION DEL RECONOCIMIENTO: CLAVE EN EL APRENDIZAJE PROYECTUAL

THE RECOGNITION ACTION AS A KEY TO THE ARCHITECTURAL PROJECT LEARNING

Autor:

Rivera, Maria

Departamento de Arquitectura. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela

Corresponding Author: mgrivera@unet.edu.ve

RESUMEN

Muchos son los procesos que intervienen en el paso de lo virtual a lo real de las ideas, trasladándolas al proyecto arquitectónico. Con la práctica de la profesión, estos procesos van ejecutándose con la ayuda de la memoria hábito, pero nos preguntamos ¿cómo aprende un arquitecto a dominar este proceso de diseño? ¿Cómo puede un profesor enseñar al alumno con la propuesta arquitectónica que presenta? En la práctica, estos procesos se suceden en todas las escuelas de arquitectura; sin embargo, lo que pretende este artículo es poner en relación esta práctica con aportes teóricos que expliquen el momento en el cual el estudiante asimila el aprendizaje proyectual. Por lo tanto, el presente artículo divulga la exploración teórica del concepto de reconocimiento y su presencia en el registro de la experiencia docente en el taller de Proyectos 2 de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. La investigación documental recoge los aportes de varios autores desde la perspectiva de la filosofía, arquitectura y pedagogía, pretendiendo construir una polifonía sobre la acción del reconocimiento como culminación del aprendizaje efectivo en taller. El camino a recorrer va desde el reconocimiento que se orienta al sentido de confesión, que en nuestro caso permitirá al estudiante fijar el aprendizaje, hasta pasar por el reconocimiento entendido como gratitud que implica un ciclo, y se nutre con aportes aplicables al aprendizaje en taller. La investigación de campo, se realizó durante cinco (5) semestres consecutivos y registra la evolución de cada estudiante durante las sesiones de corrección para valorar el reconocimiento de aciertos y errores reflejados en cada uno de sus proyectos. Se concluye que no sólo el reconocimiento interviene en el aprendizaje del proyecto, sino que además se sucede cuando el alumno reconoce sus errores y aciertos por identificación, se reconoce a sí mismo, y es reconocido por los otros en la evaluación.

ABSTRACT

From the virtual to the real architectural ideas, many processes are involved to configure the architectural project. These processes are carried out with the help of memory habit, but we ask ourselves, how does an architect learn to master this design process? How can a teacher teach the student with the architectural proposal that he presents? These processes occur in all schools of architecture; however, this article aims to relate this practice with theoretical contributions, which explain the moment in which the student assimilates the projective learning. Therefore, this article discloses the theoretical exploration of the concept of recognition and its presence in the record of the teaching experience in Architecture Design Studio II at the Universidad Nacional Experimental del Táchira. The documentary research includes the contributions of several authors from the perspective of philosophy, architecture and pedagogy, trying to build a polyphony on the action of recognition, as a culmination of effective learning in the Design Studio. The path to be followed ranges from the recognition that is oriented to the sense of confession. In our case, it will allow the student to set the learning process, and it goes through the recognition of the understanding as gratitude, which involves a cycle, and it is nourished with contributions applicable to the learning in the Design Studio. The research was conducted during five consecutive semesters and records the evolution of each student during the advisory sessions in order to assess the recognition of successes and errors reflected in each of their projects. It is concluded that not only recognition intervenes in the learning of the project, but also happens when the students recognize their mistakes and successes by identification; they recognize themselves and are recognized by others in the evaluation.

Palabras clave: diseño, memoria, arquitectura, reconocimiento, proyecto.

Key words: design, memory, architecture, recognition, project.

INTRODUCCIÓN

En el paso de lo virtual a lo real de las ideas arquitectónicas, muchos son los procesos que intervienen antes de convertirse en una expresión espacial, entre ellos decisiones intelectuales que algunas veces son producto de la reflexión y en el peor de los casos de la copia; esto dependerá de la poética y método de traslación de las ideas a lo concreto como propone Muntañola (1982), cuando hace el paralelismo de la poética aristotélica al campo de la arquitectura en un recorrido que va desde lo conceptual a lo figurativo, para dar una idea de transformación de lo físico a lo significativo.

Estos aportes han sido el punto de partida de investigaciones previas a la que se expone en este artículo; tal es el caso de la diferenciación entre un proyecto innovador y otro carente de significado, gracias al uso de la memoria reflexiva (Rivera, 2012) en la formulación o conceptualización del proyecto arquitectónico.

A medida que el arquitecto adquiere más práctica, algunos procesos van ejecutándose con la ayuda de la memoria hábito, definida por Bergson (2006), como aquella que está ligada a la acción y no requiere que busquemos en nuestros recuerdos las herramientas que necesitamos en el presente, pues hemos practicado tanto algunas acciones que las repetimos sin la intervención de la rememoración.

Ejemplo de la memoria hábito es la acción de nadar o andar bicicleta. Cuando nos encontramos en el proceso de aprendizaje estamos en permanente atención de lo guardado en la memoria y tenemos información sobre el movimiento de una brazada o del pedaleo, e intentamos reproducirlo una y otra vez; al momento de dominarlo, ya esa actividad no requerirá que rememoremos las clases del entrenador, simplemente actuamos, e incluso mientras realizamos esta actividad podemos abstraernos y pensar en otras cosas.

Pero, volviendo a la arquitectura, nos preguntamos ¿cómo aprende un arquitecto a dominar este proceso de diseño?, ¿Cómo puede un profesor enseñar a su alumno con la propuesta arquitectónica que le presenta? ¿Este proceso realmente se podría convertir en memoria hábito por encima del trabajo reflexivo? Esta última pregunta define el camino que condujo a la realización de este trabajo, intuyendo en el concepto del reconocimiento, una clave para el aprendizaje individualizado en el taller.

Para poder comprobarlo, se planteó el objetivo de construir una aproximación teórico- práctica a la pedagogía del reconocimiento y su relación con la práctica en el aprendizaje en el taller de diseño arquitectónico.



Figura 1. Polifonía en la enseñanza del diseño en taller.

MÉTODO

Para dar respuesta a las interrogantes, lo primero que se planteó fue la triangulación de información referente a las posibles fuentes que podrían ayudar en la construcción de una aproximación teórico práctica de la enseñanza en el taller de diseño, con la ayuda del reconocimiento. Para ello, se seleccionaron fuentes de distintos campos del conocimiento: la filosofía, la pedagogía, y la arquitectura, en la voz de autores como Paul Ricoeur, Alfred Linares y Josep Muntañola, respectivamente.

El enfoque tomado para relacionar el concepto de arquitectura con el aprendizaje en talleres el de un círculo hermenéutico en constante movimiento, donde se suceden tres momentos consecutivos (Messori 2006): la prefiguración en el origen de las ideas, la configuración del proyecto y la refiguración en la divulgación y crítica del resultado, lo que lleva de nuevo al momento de la prefiguración con el fin de mejorar cada vez más la propuesta.

En cuanto al componente práctico, la exploración sobre la acción del reconocimiento correspondió al taller de Proyectos 2, ubicado en el segundo semestre de la carrera de arquitectura UNET, conformado por cinco (5) secciones que funcionan en dos talleres. La exploración, se realizó en el taller que posee la mayor cantidad de secciones, con cuarenta y cinco (45) alumnos y tres (3) profesores. Para ello, al momento de asignar el ejercicio, se transmitieron los parámetros de evaluación y los insumos teóricos necesarios para la realización de una autoevaluación y coevaluación; esto, con el fin de propiciar la utilización del reconocimiento como herramienta.

El curso está conformado por cuatro (4) parciales con las siguientes características:

El ejercicio número 1 corresponde al diseño de una edificación de uno o dos pisos, en un terreno de 700 m² aprox. El uso varía en cada semestre: Café concert, bufete de abogados, vivienda para deportista o artistas. El proceso comienza con clases teóricas sobre unidades funcionales, proceso de diseño, conceptualización, principios

de ordenación espacial; y seis (6) sesiones de corrección en el taller. Los parámetros para la evolución son: proceso, conceptualización, implantación, geometría, volumetría, función, calidad espacial, y presentación de planos y maqueta.

El ejercicio número 2, se refiere al diseño de una edificación de uno o dos pisos, en un terreno de 1400 m² aprox. El uso varía en cada semestre: escuela de arte, centro de rehabilitación, consultorios médicos. El proceso inicia con las clases de geometría en el diseño arquitectónico” y diseño de volúmenes y planos de fachada, y continúa con seis (6) sesiones de corrección en taller. Los parámetros para la evaluación son: proceso, conceptualización, implantación, geometría, volumetría, función, calidad espacial, y presentación de planos y maqueta.

El parcial número 3 está dividido en dos partes: la primera de análisis grupal y la según de un ejercicio de diseño. El análisis y coevaluación sumativa, se realizan después de la clase sobre la lógica estructural en arquitectura, teniendo tres (3) sesiones de corrección en taller. Cada alumno registra en una planilla, el puntaje que considera según los parámetros evaluados, dando como resultado una calificación del 1 al 9. La fase de diseño corresponde a una cubierta de un espacio de grandes luces y usos complementarios en un terreno de 1800 m² aprox. Y cuenta con cinco (5) sesiones de corrección en taller. El uso varía en cada semestre: cancha deportiva, piscina, salón de usos múltiples. Los parámetros para la evaluación son: proceso, conceptualización, implantación, geometría, volumetría, función, calidad espacial, estructura y presentación de planos y maqueta.

El último ejercicio contiene todas las características esenciales de los anteriores, convirtiéndose en un proyecto síntesis. Se refiere al diseño de una edificación o grupo de edificaciones vinculadas, de uno o dos pisos, en un terreno de 3200 m² aprox. El uso varía en cada semestre: sede para entrenamiento deportivo, hogar para niños de la calle, galería de arte. Las clases que culminan la formación teórica del curso son: conceptualización arquitectónica II, configuraciones

Arquitectónicas y Composición de fachadas y volúmenes. Continúa con diez (10) sesiones de corrección en taller. Los parámetros para la evaluación son: proceso, conceptualización, implantación, geometría, volumetría, función, calidad espacial, estructura y presentación de planos y maqueta.

La acción del reconocimiento de cada uno de los alumnos, se registró tomando en cuenta la evolución evidenciada en cada una de las correcciones en cuanto a cinco (5) aspectos relacionados con el contenido de las clases: fundamentación conceptual (estética, lógica y funcional); configuración geométrica, principios

de percepción visual, principios ordenadores del espacio, unidades funcionales y lógica estructural.

Este registro se llevó a cabo durante cinco (5) semestres consecutivos, estableciendo cuatro rangos de evolución entre una corrección y otra: 25% o menos, entre 25 y 50%, entre 50 y 75% y entre 75 y 100% (figura 2). Una vez obtenidos los resultados de la exploración, se efectuó la comparación con los aportes teóricos para construir una aproximación conceptual de la acción del reconocimiento como herramienta en la enseñanza del diseño.



Figura 2. Aproximaciones al proyecto en los distintos parciales, desde la etapa de conceptualización hasta la agrupación de edificaciones conectadas

RESULTADOS

La síntesis teórica, se agrupa según las tres (3) voces para crear una polifonía con respecto a la relación del reconocimiento y el aprendizaje. Estas tres voces son: los aportes a la filosofía del reconocimiento, otorgados por el filósofo francés Paul Ricoeur; la actividad de la enseñanza en el taller de proyecto, abordado de forma teórica por Alfredo Linares, profesor de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC); y por último, el engranaje que une los dos anteriores para efecto de este artículo: La Arquitectura, en ámbito teórico aportado por Josep Muntañola, catedrático de la citada UPC.

Paralelamente a la presentación de las tres voces teóricas, se mostrarán resultados de la exploración práctica realizada con los alumnos de proyecto 2.

Filosofía del reconocimiento

La base fundamental para el abordaje de este trabajo, parte de los aportes de Ricoeur (2005), con su último libro “Caminos del reconocimiento”.

Ricoeur establece la importancia de la reciprocidad en la acción del reconocimiento y nos presenta una polisemia que va desde el reconocimiento como identificación, como ipseidad y finalmente como gratitud. Estos caminos, constituyen los objetos del paralelismo hacia la arquitectura que se tomaron para detectar su ejemplificación en la práctica del taller.

En tales aportes, Ricoeur reflexiona sobre las acepciones del término “reconocer”. La primera de ellas se refiere al hecho de restablecer en la mente algo que ya se conocía; en el caso

estudiado, el alumno de arquitectura recibió el instructivo para la realización de un proyecto, al cual debía aplicar los temas vistos en la clase teórica; en ese momento, al evocar los conceptos ya vistos, los reprodujo en su mente para luego aplicarlos en la práctica.

Los resultados de la exploración arrojaron entre 7 y 9% de casos en los que los alumnos evidenciaron una evolución continua en las sesiones de corrección, durante los cuatro (4) parciales. Estas mediciones tuvieron los siguientes resultados, según los rangos establecidos:

- Evolución en todo proceso de correcciones: entre el 7 y 9 %

- Evolución en la mayoría del proceso de correcciones: 45 y 50%
- Estancamiento frecuente en el proceso de correcciones: 30%
- Estancamiento (no evolución o inasistencia): 10%

La segunda acepción planteada por Ricoeur, se refiere al reconocimiento de algo que no se conocía, más que por su descripción o por algunos signos; este caso quedó ejemplificado cuando se asignaron varios casos de estudio para identificar y exponer los sistemas constructivos vistos en clase, lo que permitió a los estudiantes reconocer en la práctica, algo que conocían solo en teoría, (figura 3).



Figura 3. Reconocimiento de la teoría en la práctica en la construcción de un domo. Fotografía: María Medina

La tercera acepción, se refiere a la de descubrir la verdad de algo. Este caso, lo vemos reflejado en el mismo ejercicio cuando los estudiantes observaron signos de deterioro en la edificación asignada como caso de estudio y evocaron las causas que lo produjeron, como las manchas en las cubiertas o el óxido de los metales. Reconocer por negación es la siguiente definición. En este caso, algunos estudiantes retomaron un proyecto dirigiéndolo por un

camino distinto, “reconociendo” que algunos criterios planteados no le llevarán a buen fin. De la quinta a la séptima acepción, estudiadas por Ricoeur, el sentido del reconocimiento se refiere más al descubrimiento y la exploración, y lo aplicamos cuando un alumno intenta trabajar en su propio proyecto con los conceptos de algún arquitecto reconocido.

Pasamos a la octava acepción tratada por Ricoeur, en la que el reconocimiento vuelve a relacionarse con la verdad; pero, en este caso más referida a una acción como cuando el estudiante, en el momento de la corrección que le hace su profesor, reconoce “como verdad” la crítica al proyecto.

La novena acepción, se presentar en el mismo caso; pero, en presencia de un profesor autoritario (este es un caso supuesto, pues no se llevó a la práctica). En esta oportunidad, el alumno reconoce un error en su proyecto, pero no tanto basado en el reconocimiento de la verdad, sino por efecto de la autoridad.

Saltamos de la acepción diez a la quince, por referirse a temas muy específicos, como la

declaración de fe en la religión, o como el uso del término en el ámbito militar o legal en el uso de las escrituras.

Nos interesa entonces, la acepción número quince que se refiere a reconocimiento como confesión, que permite al estudiante fijar el aprendizaje, puesto que internaliza de lo que ha comprendido en la corrección de su proyecto.

Y finalmente, el reconocimiento entendido como gratitud, el cual implica un ciclo, puesto que allí ocurre la declaración y expresión hacia otra persona que ayudó a vislumbrar la verdad de algo o condujo al aprendizaje, y que en el taller de proyectos se dio en distintas direcciones; es decir, alumno-profesor; alumno-alumno, o profesor-alumno (figura 4).



Figura 4. Acepciones del reconocimiento aplicables a la enseñanza del diseño.

Pedagogía en el taller

La práctica exige del docente del taller de proyectos, una actitud fortalecida por aportes sobre pedagogía, puesto que quienes laboramos como instructores de taller hemos sido formados como arquitectos y no como licenciados en educación. Esto, nos obliga a prepararnos y explorar distintos caminos en la enseñanza.

¿Cómo se enseña a diseñar? No puede ser de la misma manera que la usual del salón de clase; puesto que, cada alumno presenta un diseño distinto en el cual aplica las herramientas aprendidas de sus profesores o de casos estudiados. Esto comprueba, la necesidad de

crear una pedagogía distinta con el proyecto de cada uno de los alumnos, ya que los conocimientos impartidos, solo se aplican en los proyectos particulares de cada estudiante y no se evalúan con pruebas escritas.

Un camino recorrido nos muestra Linares (2006), con su tesis doctoral sobre enseñanza de la arquitectura como poética. Este aporte teórico, parte del cuestionamiento sobre la posibilidad de que quienes van a ser arquitectos tuvieran un don previo, adquirido por casualidad o por genética. Frente a esto, Linares (Ob. Cit.) demuestra que en realidad la arquitectura es un conocimiento innato potencialmente manejable dentro de un proceso de aprendizaje.

El autor define una pedagogía del reconocimiento que asegura un aprendizaje, con la participación emocionada del alumno en el proceso de corrección en taller. ¿Pero cómo se va desarrollando el proyecto en cada alumno?

Grande es la responsabilidad y labor del profesor de taller para formular con cada uno de sus estudiantes una pedagogía o poema pedagógico, como lo llama Linares. Pero ¿cómo mantenemos motivados a los alumnos? ¿Cómo hacemos que se apasionen por la transformación de su proyecto y estén abiertos a la crítica? Muchas veces no es fácil. En la exploración realizada, algunos alumnos están más dispuestos que otros en las correcciones de taller, representando un 90 a 95%; y en los casos en los que existe dificultad, podemos tomar como referencia la pedagogía aplicada en la educación a distancia (Romero, 2007), y extraer una guía perfectamente aplicable a la enseñanza de taller.

Para ambos es imprescindible la activación de un aprendizaje interactivo, y esto solo se logra si el estudiante se siente protagonista de su propio aprender. A la vez que la relación docente-alumno debe darse en un trabajo colaborativo y de retroalimentación, donde las observaciones del instructor deben ser claras y dotadas de una actitud motivadora, de esta manera podríamos propiciar un camino hacia el reconocimiento de una forma más fluida que si el estudiante se encuentra o se siente obligado o desmotivado.

En este sentido, también el educador debe reunir unas cualidades reseñadas por la misma autora: la cordialidad para que los alumnos se sientan respetados y cómodos; la capacidad de aceptación, puesto que criticar faltando el respeto a las acciones del estudiante puede ocasionar un ruptura en la sana comunicación; la honradez, en la claridad del enfoque del proyecto; la empatía, que le permitirá al docente percibir el sentir del estudiante en cada corrección; y por último, la capacidad de escuchar, que le permitirá al docente la demostración del interés que tiene con respecto a

la explicación del proyecto hecho por el discente.

Por último, aparte del reconocimiento que relaciona la teoría y la práctica de las correcciones en taller, es importante incluir la ética en la pedagogía, no solo en este caso sino en todo proceso de enseñanza-aprendizaje. En el caso que nos compete, las palabras de Silvestro (2013) son muy puntuales al respecto y desde el inicio de la actividad proyectual, los futuros arquitectos deben empezar a reconocer su lugar con respecto al público que afectarán con sus propios proyectos. En este sentido, este autor afirma que el espacio influye en el desarrollo de pautas de conducta tanto personal como colectiva, lo cual constituye una gran responsabilidad para el arquitecto al momento de teorizar, proyectar y configurar los espacios que servirán de escenario a la vida cotidiana.

Polifonía en la arquitectura

Como se mencionó en los aspectos metodológicos, el enfoque que guía este trabajo sobre la arquitectura como concepto, es el planteado por Muntañola (2008) dentro de los ejes lógico, estético y social, enmarcado en un círculo hermenéutico de la prefiguración, refiguración y configuración. En una investigación derivada, se ha aplicado este concepto en la fase de conceptualización, en ejercicios realizados por el mismo grupo de proyecto 2, donde la interpretación del profesor y la coevaluación por parte de los compañeros de clase, se enmarcó en la fase de refiguración (Rivera, 2013).

Este es el momento clave para el reconocimiento, y allí es donde se sucede lo que Ricoeur (2006) llama el milagro del reconocimiento o memoria feliz. Si esta está presente, no solo el alumno, sino todos los participantes tienen un momento de revelación, y es donde se produce el aprendizaje verdadero, guardado como una impronta en la memoria (figura 5).



Figura 5. Condiciones para el reconocimiento o memoria feliz.

Esa huella que queda del aprendizaje contribuye a la gestación de un nuevo proyecto, transcurre entre el inconsciente o subconsciente y el raciocinio o consiente; y, según Mas y Meri, (2004) pasa por tres (3) categorías para llevar los conceptos de arquitectura a la materialidad: el primero es el conjunto de ideas guía, que son pequeños conceptos que van nutriendo el proceso; el segundo, la idea germen o el argumento, siendo la idea que afecta al proyecto en su conjunto; el tercero, la idea de arquitectura traducida en el lenguaje personal del arquitecto, una vez que haya adquirido la experiencia; no obstante, por más experiencia que adquiera es importante resaltar la necesidad de transformación permanente que exige esta profesión.

Cada proyecto es un nuevo reto, cada programa es un nuevo tema, cada cliente es un nuevo mundo al cual enfrentarse para dar una respuesta adecuada.

Tal como lo plantea Puig-Pey (2013), el arquitecto debe experimentar transformaciones profundas y continuas como cualquier organismo vivo, lo cual debe plantearse desde el inicio de la formación de individuo como arquitecto, y hacerse continuo durante el ejercicio de su profesión. A partir de esta afirmación ¿cómo hacer que se vayan forjando esas transformaciones en el alumno? En este particular se presentaron casos en el taller de Proyecto 2, en los que hay una predisposición o

recelo ante la crítica, lo cual se da al momento de la corrección del proyecto, impidiendo que el futuro arquitecto reconozca la importancia que tiene este hecho de transformación.

Si ahora nos enfocamos en el conocimiento como herramienta para diseñar, seguimos a Vitruvio cuando afirma que *un arquitecto debe conocer la filosofía, la matemática, la poesía la música y otras disciplinas, para poder dar respuesta al significado de la cultura humana* (Solá, 2002). Es así que en la medida en la que el estudiante va enriqueciendo su conocimiento y ejercitando la memoria reflexiva, mayor será la huella de su repertorio cultural que quedará fijada y reconocida en el proyecto que realice.

En la mayoría de los casos, la acción del reconocimiento se ha convertido en una valiosa herramienta que prácticamente asegura el aprendizaje y en el mejor de los casos, no solo ha servido como aplicación en un proyectos particular sino que ha contribuido al reconocimiento de sí mismo (Ricoeur, 2005). Cuando el estudiante comprueba de lo que es capaz y en la confrontación de la propuesta final con el programa dado por los profesores es donde se refleja la sensibilidad y entendimiento. (Kantiano citado por Ricoeur, Ob. cit.); y, cuando relaciona la emoción y la razón, componentes fundamentales en la generación de las ideas en arquitectura.

CONCLUSIONES

Al inicio de esta investigación, se planteó un solo supuesto: una visión intuitiva de que el reconocimiento como acción sería una clave para que llegara a un buen fin, la enseñanza del diseño; sin embargo, la exploración ha sido mucho más gratificante, puesto que no solo se han podido comprobar que la presencia del reconocimiento es un momento clave en la corrección y autoevaluación para desembocar en el verdadero aprendizaje, sino que cada una de las acepciones del término, ha podido verse ejemplificada con la misma polisemia citada, donde el alumno reconoce por identificación de sus errores y aciertos, también se reconoce a sí mismo, y al final del proceso mediante la evaluación, es reconocido por los otros.

De esta manera, adentrándonos a este proceso complejo de enseñanza en el taller de diseño, quienes laboramos como docentes, podemos ser más conscientes y efectivos en el papel que desempeñamos como guías, en un camino donde quienes se inician en la carrera de la arquitectura, pueden de cierta manera y con nuestra ayuda, descubrirse también a sí mismos.

REFERENCIAS

- Bergson, H. (2006) *Materia y memoria. Ensayo sobre la relación del cuerpo con el espíritu*. Buenos Aires: Cactus
- Linares, A. (2006). *La enseñanza de la Arquitectura como poética*. Barcelona: Edicions UPC.
- Mas, V.; Meri, R. (2004) *Las Herramientas del Arquitecto*. Valencia: Ediciones Generales para la Construcción.
- Messori R (2006); *Arquitectura y Dialogía*. Architectonics. Barcelona: Edicions UPC
- Muntañola, J (1982); *Poética y Arquitectura: Una Lectura de la Arquitectura Postmoderna*. Barcelona: Anagrama
- _____ (2008); *Mente, Territorio y Sociedad*. Architectonics. Barcelona: Edicions UPC.
- Puig-Pey, A. (2013). *El arquitecto: formación, competencias y práctica profesional*. Architectonics 25: *Arquitectura y Educación*. Barcelona: Edicions UPC
- Ricoeur, P. (2005). *Caminos del reconocimiento*. Madrid: Trotta.
- Rivera, M (2012). *Cadenas de la memoria reflexiva en el edificio de Caixa Forum de Barcelona*. Architectonics 24: *Arquitectura e Investigación*. Barcelona: Edicions UPC.
- _____ (2013). *El círculo hermenéutico de la arquitectura en la formación inicial del arquitecto*. Architectonics 25: *Arquitectura y Educación*. Barcelona: Edicions UPC
- Romero, C (2007). *Enseñando a distancia*. San Cristóbal: FEUNET
- Silvestro, J (2013), *La Arquitectura como Propedéutica del Espacio Vital*. Architectonics 25: *Arquitectura y Educación*. Barcelona: Edicions UPC.
- Solá, I. (2002). *Arquitectura. Introducción a la Arquitectura*. México: Alfaomega

SOCIO ECONÓMICO

LA ARQUITECTURA DE LOS EDIFICIOS RECREACIONALES CONSTRUIDOS EN SAN CRISTÓBAL (1952 – 1958)

THE ARCHITECTURE OF RECREATIONAL BUILDINGS BUILT IN SAN CRISTÓBAL, (1952 - 1958)

Autor:

García, Viviana

Programa Patrimonio - GIAS. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela

Corresponding Author: vgarcia@unet.edu.ve

RESUMEN

En las principales ciudades de Venezuela, durante la década de los años 50 del siglo XX, el Estado construyó grandes edificaciones de diferentes tipologías, entre ellas, se erigieron edificaciones aptas para realizar actividades de recreación, ocio y socialización, obras dirigidas a los venezolanos con especial atención a la clase trabajadora y militar. San Cristóbal se dotó de una serie de edificaciones que hoy día siguen siendo emblemáticas dentro de la imagen arquitectónica de la ciudad. Por tanto, este artículo tiene como objetivo documentar los elementos de la arquitectura presentes en los edificios recreacionales construidos en San Cristóbal, se expone una parte de los hallazgos del proyecto de investigación realizado para el trabajo de grado de la Maestría Arquitectura Ciudad e Identidad titulado: "Arquitectura Recreacional del Nuevo Ideal Nacional en San Cristóbal (1952 – 1958)". El enfoque metodológico empleado es el cualitativo, enmarcado en una investigación descriptiva, con un diseño de campo y documental, que permitió, a través de diversas técnicas e instrumentos —observación (ficha estructurada), análisis documental (ficha registro)— estudiar tres edificios (Círculo Militar, Casa Sindical, Hotel El Tamá). Los resultados muestran la historia y la arquitectura de las edificaciones para el momento de su inauguración en 1957. Se realizó una reconstrucción de la imagen prístina, lo que abarcó la elaboración de los planos y el documento descriptivo de los aspectos contextuales, funcionales, formales y tecnológicos de cada edificio. La construcción de la memoria original de estos edificios recreacionales permitió reconocerlos como obras de calidad y permanencia, edificios con los que se inició la transformación de la memoria colectiva de los habitantes de la ciudad, ya que por primera vez aparecen en el imaginario urbano edificaciones de esa escala y trascendencia, aptas para el disfrute y la recreación, dignos ejemplos de un momento histórico de la arquitectura venezolana del siglo pasado.

ABSTRACT

During the decade of the 50s in the twentieth century, the State built large buildings of different types in the main cities of Venezuela, among them, buildings suitable for recreation, leisure and socialization were erected paying special attention to the needs of the working and military class of the Venezuelan society. A series of those buildings, which are still emblematic within the architectural image of the city, were built in San Cristóbal. This paper aims to document the elements of architecture present in those recreational buildings in San Cristobal, as a portion of the findings of the research project carried out for master's degree program Architecture City and Identity, entitled: "Recreational Architecture of the New National Ideal in San Cristóbal. (1952 - 1958)". A qualitative methodological approach was used, framed as a descriptive investigation, with a field and documentary design, which allowed, through various techniques and instruments —observation (observation sheet), documentary analysis (record sheet)—, to study three buildings (Military Circle, Trade Union House, El Tamá Hotel). Results show the history and architecture of the buildings at the time of its inauguration in 1957. A reconstruction of the pristine image was also carried out, which involved the preparation of the plans and of the descriptive document about the contextual, functional, formal and technological aspects of each building. The construction of the original memory of these recreational buildings allowed to recognize them as works of great quality and permanence and as buildings with which the transformation of the collective memory of the inhabitants of the city began, since for the first time, constructions of that scale and transcendence, suitable for enjoyment and recreation, appeared in the urban imaginary. It was also proven, that they are worthy examples of a historical moment of Venezuelan architecture of the past century.

Palabras clave: Arquitectura recreacional, Nuevo Ideal Nacional, Hotel El Tamá, Círculo Militar de San Cristóbal, Casa Sindical de San Cristóbal

Key words: Recreational architecture, New National Ideal, El Tamá Hotel, Military Circle of San Cristobal, Trade Union House of San Cristobal.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, el gobierno establecido por el general Marcos Pérez Jiménez entre 1952 y 1958 instituyó como política principal de Estado un cambio total del país, fundamentado en la ideología del Nuevo Ideal Nacional, cuyo postulado buscaba el mejoramiento moral, intelectual y material de los habitantes del país a través de la transformación racional del medio físico (Servicio de Información Venezolano, 1955). Para ello, utilizó la arquitectura como bandera política. El Estado se convirtió en el impulsor y estructurador de la modernización del medio físico, urbano y arquitectónico (Medina, 1995).

La arquitectura es entendida como indicador fundamental de la calidad de vida y bienestar social, se le otorgó una extraordinaria importancia oficial al desarrollo de la actividad turística y recreacional. Venezuela es promovida como destino para turistas extranjeros y nacionales, esto último, producto del incremento de recursos económicos y del buen uso del tiempo libre de los sectores medios urbanos del país (Arellano, 2001).

En este sentido, al igual que otras ciudades, San Cristóbal, capital del estado Táchira, se favoreció con la construcción del Hotel El Tamá, el Círculo Militar y la Casa Sindical, tres hitos representativos de la arquitectura para la recreación y disfrute de la sociedad del momento. Estas edificaciones, con más de 61 años de construcción, hoy día son consideradas parte del patrimonio cultural de la ciudad, pertenecen al imaginario colectivo y la identidad del sancristobalense, pues son dignas representantes de un periodo histórico significativo de la arquitectura del país y la ciudad, así lo determinan investigaciones realizadas por Casanova *et al.* (2012), Casanova y Romero (2000) y Romero (2006). Sin embargo, el estudio y la documentación de estas obras se ha realizado de manera general en el contexto de otras investigaciones sobre la arquitectura del Táchira, como el trabajo de Arellano (2001) y Romero (2006).

Adicionalmente, en las visitas de campo efectuadas a los edificios entre los años 2012-2015, se evidenció que los propietarios y administradores han realizado construcciones, adecuaciones e intervenciones de manera arbitraria, lo que ha transformado las edificaciones originales. De proseguir el continuo proceso de construcción impropio al que están siendo sometidas o su destrucción definitiva, se corre el riesgo de perder parte de la memoria histórico - arquitectónica de la ciudad.

Es inevitable que con el paso del tiempo los edificios sufran cambios y alteraciones de su imagen original; sin embargo, lo que se puede prevenir es la destrucción de la memoria de estos patrimonios. De igual manera, no se podría lograr la preservación integral del patrimonio edificado sin que se haga un registro sistemático de cualidades funcionales, estéticas, técnicas o históricas de la obra. Estas cualidades se convierten en valores y hacen que un edificio se considere patrimonio.

Es por ello que el objetivo de este artículo es documentar los elementos originales de la arquitectura —contextuales, funcionales, formales y tecnológicos— presentes en los edificios recreacionales construidos en San Cristóbal (1952-1958), como un paso previo e indispensable para el desarrollo de la investigación “Arquitectura Recreacional del Nuevo Ideal Nacional en San Cristóbal, (1952 – 1958)” elaborada como trabajo de grado de la Maestría Arquitectura Ciudad e Identidad. Por otra parte, la documentación de la imagen prístina de los edificios permite construir y conservar la memoria histórica de los patrimonios arquitectónicos de la ciudad.

Antecedentes

En materia de arquitectura recreacional y su relación con los postulados políticos del Nuevo Ideal Nacional (NIN) es poco lo que se ha investigado, razón por la cual este trabajo solo tomó como referente el libro “Arquitectura de la Década Militar en Venezuela 1948-1958. El Ideal Nacional y las Tipologías Arquitectónicas” (Donoso, 2007). Si bien no aborda,

específicamente, la arquitectura recreacional como tema principal, tiene relación directa con la temática de la arquitectura del Nuevo Ideal Nacional, lo que permite ubicar la investigación en un contexto temático más amplio, además, avala la clasificación de diversas edificaciones construidas por el Estado venezolano dentro de una tipología específica.

Arquitectura recreacional

El término arquitectura recreacional no ha sido formulado como tal; no obstante, para efectos de esta investigación se entiende como aquella rama de la arquitectura que se encarga de diseñar los espacios, equipamiento e instalaciones requeridos para el desarrollo de las actividades propias del turismo, la recreación y el ocio. Estas últimas son actividades a las que el hombre moderno dedica una parte de su tiempo libre y son derechos sociales adquiridos por los trabajadores desde finales del siglo XIX (Boullón, 1986). A lo largo del siglo XX se ha desarrollado toda una industria del turismo, ocio y recreación lo que repercute en que se hayan diseñado nuevos tipos edificatorios con características arquitectónicas específicas.

El Nuevo Ideal Nacional y la arquitectura recreacional venezolana

Los resultados más destacados del NIN se evidencian en el gran programa de obras de arquitectura y urbanismo realizadas durante el gobierno del general Marcos Pérez Jiménez. El Ministerio de Obras Públicas, anualmente, consumió más del 35 % del presupuesto nacional en la construcción de obras y edificios públicos, siendo una de las partidas más importantes las dedicadas a obras para las fuerzas armadas y la de edificación de hoteles turísticos en todo el territorio nacional (Arcila, 1974).

Dentro de políticas del NIN se incluye la planificación y ejecución de una arquitectura apropiada para el desarrollo de actividades de ocio, recreación y el turismo que le permitiera contribuir con el logro del bienestar intelectual, moral y físico de los venezolanos y extranjeros; al tiempo que podría “posicionar a Venezuela

como una Nación importante y de prestigio entre las demás naciones” (Pérez Jiménez, 1954). Esta arquitectura recreacional se ejecutó en dos grandes líneas de acción: la primera, se enfocó en alcanzar el bienestar social-cultural de los militares y los trabajadores; la segunda, estuvo dirigida al desarrollo turístico del país.

Los militares y trabajadores son las clases sociales a las que la gestión del gobierno presta especial atención. Medina (1995) afirma que “durante este periodo los militares y los obreros fueron considerados sectores fundamentales en la estructura social y económica del país y conformaron, a criterio de la cúpula gubernamental, “puntales” oficial y popular que soportaron los años de mandato” (p.75). Así pues, el Estado, a través de los Ministerios del Trabajo, de Defensa y de Obras Públicas, ejecuta una serie de edificaciones aptas para actividades recreativas como “los círculos militares” para las fuerzas armadas y “las casas sindicales” y las ciudades vacacionales para los trabajadores.

Por otra parte, para 1953, se creó la Dirección Nacional de Turismo adscrita al Ministerio de Fomento, a la que se le encargó elaborar el Plan Nacional Hotelero, que contempló la construcción de hoteles en las ciudades capitales de estados del país y en los sitios con atractivos turísticos, así como también, el desarrollo de sendas turísticas y la instalación de agencias de turismo (Calvo, 2007). Este plan consolidó una red nacional de hoteles e instalaciones turísticas que permitió dotar a Venezuela de edificaciones apropiadas para recibir a turistas e inversionistas extranjeros; al tiempo que se les brindó a los venezolanos una arquitectura apta para realizar actividades de ocio, recreación y turismo.

El Estado venezolano entre 1952-1958 logró llevar a cabo una iniciativa inédita en el campo de la arquitectura recreacional, se desarrollaron cinco tipos diferentes de conjuntos edificatorios, entre los que se tienen: círculos militares, hoteles, casas sindicales, ciudades vacacionales e instalaciones turísticas. Para esta investigación solo se definen los tres primeros tipos, los cuales se describen a continuación.

Los *círculos militares* son conjuntos arquitectónicos compuestos por diferentes edificaciones aisladas de volúmenes puros, implantados en grandes extensiones de terrenos rodeados de naturaleza destinados para el disfrute y confort de todos los oficiales de las Fuerzas Armadas Nacionales y sus familias. Desde 1943 en Venezuela “era una necesidad imperante que existiera un lugar idóneo que reuniera belleza, confort, seguridad y economía” (Azua, 2000, p.122).

Por su parte, los *hoteles* se definen como conjuntos arquitectónicos de varios edificios aislados, implantados en grandes extensiones de terreno localizados en las áreas de expansión urbana de las ciudades o en sitios con algún atractivo turístico. Están dotados con equipamiento para el alojamiento, la alimentación y el esparcimiento. Además, posee instalaciones turísticas y recreacionales como piscinas, juegos infantiles, áreas deportivas, entre otras.

Las *casas sindicales* son conjuntos arquitectónicos constituidos por varias edificaciones aisladas ubicadas en grandes extensiones de terreno, construidos por el Ministerio de Obras Públicas para cumplir con la “política obrera basada en brindar distracciones sanas al trabajador y ofrecerles un sitio apropiado para el esparcimiento y el de sus familiares” (Discurso pronunciado a bordo del Destructor “Zulia”, General Marcos Pérez Jiménez, 02 de diciembre de 1954). Cuentan con equipamiento para el alojamiento, la alimentación y el esparcimiento, así como con instalaciones recreacionales-culturales como piscinas, juegos infantiles, áreas deportivas, bibliotecas, teatros, entre otras.

MÉTODO

La base metodológica del trabajo se inscribió en el enfoque cualitativo, paradigma propio de la posmodernidad. Martínez (2009) señala que este enfoque se orienta por la búsqueda profunda de la realidad del objeto de estudio, se interesa por encontrar la razón de su comportamiento, su

forma y sus componentes y la manera como este se manifiesta en un todo integrado.

Es una investigación de tipo descriptiva, pues permitió conocer los diversos aspectos arquitectónicos (funcional, formal, tecnológico) de los edificios en su época original de construcción; adicionalmente, se incluyeron los aspectos del contexto e historia de cada uno de los edificios. Se presentan dos tipos de diseño de investigación: primero, el diseño de campo, ya que se vivenció la arquitectura y se registraron sus detalles. Segundo, se realizó una investigación documental en libros, artículos, documentos, planos y fotografías, en las que se recabaron datos de los edificios objeto de estudio; estos, al ser contrastados con lo evidenciado en el campo, permitieron comprender el fenómeno en su totalidad.

Para recabar la información, se emplearon dos técnicas: la observación y el análisis de documentos. En la observación se utilizó una ficha estructurada en cuatro grandes categorías de análisis: el contexto, la función, la forma y la tecnología, lo que facilitó hacer un registro estructurado, en el lugar, de los principales elementos de percepción de la arquitectura presente en cada uno de los edificios estudiados. La ficha se apoyó con el uso de notas de campo, registro fotográfico e informantes clave. En la segunda técnica, el análisis documental, se utilizaron unas fichas de registro-análisis que ayudaron a discriminar y ubicar cada uno de los elementos necesarios para el desarrollo de los tópicos estudiados; también se empleó la ficha de documentos iconográficos propuesta por Létourneau (2007).

Los datos se organizaron bajo la teoría fundamentada. Se reconstruyeron y dibujaron los planos de la imagen original de los edificios construidos en 1957. Se establecieron las categorías de análisis y se procedió a hacer la descripción de las características generales de la arquitectura.

RESULTADOS

Una vez realizada la investigación, se determinó que durante el periodo de estudio son tres edificaciones recreacionales construidas en la ciudad de San Cristóbal bajo las políticas del Nuevo Ideal Nacional. Los resultados muestran la arquitectura original y la documentación de cada edificio se registró en una memoria que contiene la descripción de la historia, contexto y arquitectura, acompañada de los planos de conjunto, distribución cortes y fachadas, así como una serie de fotografías. A continuación, se presenta de manera sintetizada los hallazgos más significativos de cada edificio.

1. Hotel El Tamá

Historia: se inauguró el 13 de enero de 1957, fue construido por la empresa tachirense Esfega, dirigida por los ingenieros José Rafael Ferrero Tamayo y Edgar Asís Espejo (Vanguardia, 15 de enero de 1957), según proyecto responsabilidad del arquitecto argentino Julio César Volante Marocchi; con una inversión del Estado, aproximada, de 10 millones de bolívares (Hernández, 2016).

Contexto: el edificio se localiza en la parte alta de la ciudad de San Cristóbal, avenida 19 de abril, en la urbanización Pirineos, dentro de un área de expansión residencial de baja densidad, prevista en el plan regulador de 1952 (Pérez, 2012). El conjunto se emplaza en el centro de una macro manzana, en un terreno de forma irregular que abarca 54.000 m². El Tamá, ocupa el 10 % del terreno; se emplaza de forma aislada, sobre una meseta, separada aproximadamente 10 metros de altura sobre el nivel de la Avenida 19 de abril. El conjunto está constituido por varios edificios, en 15.000 m² de construcción, circundados por áreas verdes en los bordes norte, este y oeste del terreno, con áreas de estacionamientos e instalaciones recreacionales como el parque infantil y la piscina olímpica y de niños.

Arquitectura: el conjunto arquitectónico está conformado por 3 edificios agrupados en una organización lineal; dos ejes perpendiculares

entre sí guían la disposición del edificio principal y los dos adyacentes. El edificio principal está conformado por dos alas alargadas dispuestas de manera invertida, unidas perpendicularmente por un cuerpo central, adicionalmente cuenta con un cuerpo anexo unido por ejes de circulación. A los lados norte y sur del edificio principal flanquean los dos edificios anexos conformados cada uno por un solo volumen. Cada cuerpo de los edificios está constituido por unidades funcionales agrupadas según su uso, donde destaca: la recepción-administración; las áreas de habitaciones; las áreas comunes (lobby, restaurante, salón de reuniones y bar); los servicios de piscina (fuente de soda, vestidores y baños) y las áreas de servicios (depósitos, cocina, área de empleados, taller).

El acceso peatonal público se encuentra en el cuerpo central del edificio principal, ubicado al este del área de estacionamiento. Este cuerpo se compone de dos pisos, en una planta rectangular, con la cara más larga dispuesta en sentido este-oeste.

El ala de habitaciones del edificio principal, emplazado perpendicularmente al costado norte del cuerpo central, está conformada por una planta rectangular alargada, de organización lineal con un pasillo lateral que distribuye a las habitaciones; conectada con el resto del edificio a través del núcleo de circulación vertical. Dispuesto en 10 pisos incluido planta baja, en el último piso y como remate del cuerpo, se encuentra la habitación presidencial y una gran terraza-mirador.

Los servicios del hotel se ubican en el ala sur del edificio principal, en un cuerpo de planta rectangular alargada, distribuida en dos pisos, con un acceso peatonal independiente para empleados y otro para el área de administración. Ostenta una organización lineal, un pasillo funciona como eje articulador y distribuidor del espacio. Hacia el lado este del edificio principal, de manera separada, se desarrolla un volumen anexo de planta rectangular y de organización lineal distribuido en dos pisos donde funcionan las áreas comunes.

En el exterior, hacia el noreste del conjunto, se sitúa el área de servicios de la piscina, dispuesta en una planta rectangular de un solo piso; contiene un núcleo de baños, los vestidores y un gran espacio libre de cerramientos verticales para la fuente de soda de la piscina. Hacia el sur del ala de servicios del edificio principal se desarrolla, en una planta de distribución rectangular, el taller de trabajo.

Internamente, los espacios de las áreas comunes y de circulación se perciben amplios y libres, debido a la presencia de paredes de vidrio que permiten la entrada de luz natural, al tiempo que conectan visualmente con los jardines internos provistos de vegetación. La altura sencilla de gran parte del conjunto ayuda a acentuar la sensación de horizontalidad. Las caminerías y pasillos cubiertos, que sirven de conexión entre los diferentes cuerpos del edificio principal, son abiertas hacia las áreas verdes, tanto interiores como exteriores. El pasillo interno que conduce a las habitaciones se percibe como un espacio dinámico producto del movimiento que causa la entrada tamizada de luz por los bloques calados, acentuado por las paredes que sobresalen de manera alternada a lo largo del recorrido.

Formalmente, el edificio principal está compuesto por una serie de prismas rectangulares de cubiertas planas, unidos perpendicularmente por sus caras; cada una de sus fachadas es diferente, se diseñaron racionalmente en función de los espacios contenidos; se abren o cierran según la necesidad

de entrada de aire y luz natural. Destaca el gran volumen alargado del ala de habitaciones, este es el elemento con mayor jerarquía en todo el conjunto, por su tamaño y el contraste de sus fachadas sur y norte, marca la pauta organizadora a la cual se subordinan los demás cuerpos del edificio.

El sistema estructural predominante es el de pórticos de vigas y columnas en concreto armado precomprimido —pre o postensado—, combinados con pórticos de vigas y columnas de acero en perfiles en forma de I. Los entrepisos son de losa maciza en concreto armado. La estructura independiente de los techos de los volúmenes de las áreas de servicios de piscina y taller son bóvedas sostenidas por pórticos viga-columna en concreto armado.

Los cerramientos son en bloques de arcilla cocida y frisados, combinados con paredes de vidrio, bloques calados de ventilación de arcilla cocida y antepechos metálicos. Los acabados de piso son variados, se adecuan de acuerdo a la función y uso de espacio; de esta manera, en las áreas de recepción, en mármol oscuro; en las circulaciones de las áreas comunes, losetas de granito; cerámica vitrificada para las áreas de servicios; alfombra en los espacios internos de las áreas comunes y habitaciones; pisos de madera en el bar; y losetas de arcilla cocida en las áreas exteriores que bordean la piscina. En la parte interna de los techos de las áreas comunes —recepción, lobby, salón Venezuela— están recubiertas de fiberglas.

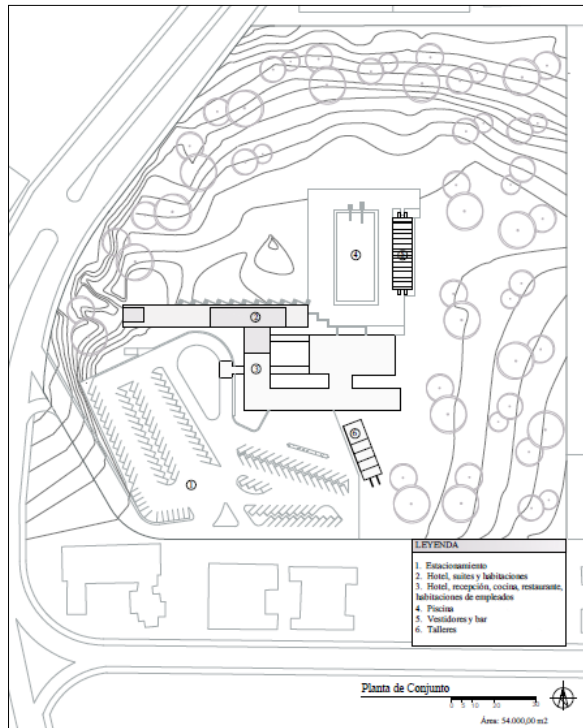


Figura 1. Hotel El Tamá, plano de conjunto.



Figura 2. Hotel El Tamá, fachadas norte y este del edificio principal, 1957.



Figura 3. Hotel El Tamá, fachada sur y oeste del edificio principal, 1957.

2. El Círculo Militar

Historia: se inauguró el 12 de enero de 1957, es el cuarto club de las Fuerzas Armadas construido en Venezuela bajo la gestión perezjimenista. El diseño del proyecto estuvo a cargo del arquitecto venezolano Eduardo Depablos (capitán asimilado), quien se inspiró en su anterior proyecto del Club de Oficiales de la ciudad de Maracay de 1955 (La Hora, 1957). La obra fue

ejecutada por el Servicio de Ingeniería Militar del Ministerio de la Defensa.

Contexto: las instalaciones están ubicadas en el centro sur de la ciudad de San Cristóbal, en la Avenida 19 de abril, urbanización Mérida. El lote abarca el 85 % de una macro manzana; para la época de su construcción, el sector estaba en pleno proceso de urbanización, el conjunto está construido sobre un terreno regular, con una

superficie de 40.000 m², posee una pendiente natural del 12 % aproximadamente, que decrece de este a oeste. Cuenta con dos accesos vehiculares-peatonales, uno por la avenida 19 de abril y otro por la avenida Central de la Urbanización Mérida. Las edificaciones están dispuestas de manera aislada sobre terrazas modificadas, ocupan el 13 % de ubicación y 7.251m² de construcción. Cuenta con áreas de estacionamiento, piscina para adultos y niños, cancha de tenis, de básquet, parque infantil y áreas verdes.

Arquitectura: el conjunto arquitectónico está compuesto por 6 edificaciones aisladas, rodeadas por estacionamientos, áreas verdes y terrazas. Los edificios se distribuyen dentro de una trama ortogonal. Las disposiciones de las edificaciones conforman tres grandes zonas: la zona social-recreativa que contiene el edificio principal, el de juegos y el de servicios de la piscina (se complementan con la piscina de adultos y niños, el parque infantil y las canchas deportivas); la zona de hospedaje con dos edificios y la zona de administración con el edificio administrativo.

El edificio principal está distribuido en dos pisos de planta ortogonal compuesta de la unión de tres rectángulos desplazados, con una organización agrupada de espacios sociales y de reunión que se van desplegando en torno al jardín interno y la pista de baile a doble altura. La planta baja es libre lo que permite múltiples puntos de acceso y recorrido. El primer piso del edificio principal es una mezzanine, donde sus espacios son concebidos como palcos que mantiene relación visual con los espacios sociales de planta baja.

El edificio de juegos está distribuido en un solo piso, su organización es lineal, constituido por dos cuerpos de planta rectangular, unidos por medio de un corredor que funciona como espacio de distribución. Los servicios de piscina se encuentran ubicados en un edificio de un solo cuerpo, emplazado frente a la piscina y en paralelo al edificio de juegos, conformado por un solo piso, de planta rectangular en una organización lineal.

Dos edificaciones gemelas dispuestas en paralelo, ubicadas al noroeste del conjunto, componen el área de alojamiento. Funcionalmente cada cuerpo está estructurado en dos pisos, de planta rectangular alargada, de organización lineal, un corredor distribuye a cada una de las habitaciones. El edificio de administración está dispuesto sobre una planta rectangular alargada, de un solo piso, ubicado hacia el noreste de los estacionamientos, en una organización lineal se distribuyen dos sectores: uno de alojamiento para los oficiales y la tropa que se encargan del mantenimiento del lugar y otro sector de administración.

En lo que respecta a los espacios internos, estos son proporcionados y de altura sencilla en la mayoría del conjunto. Es importante señalar la percepción de amplitud, libertad y dinamismo que se transmite en el edificio principal, sensaciones provocadas por la combinación de la planta libre, los espacios a doble altura y la entrada tamizada de luz natural; estas características se relacionan directamente con las actividades de socialización que allí se realizan. Las conexiones exteriores entre los edificios del área recreativa y de alojamiento se dan a través de una red de pasillos cubiertos que recorren el conjunto, lo que le permite al usuario disfrutar del paisaje y las áreas verdes, mantener una conexión visual con los edificios al tiempo que están protegidos del sol y la lluvia.

Desde el punto de vista formal, las edificaciones que conforman el conjunto arquitectónico del Círculo Militar, se caracterizan por ser volúmenes simples de líneas rectas, en su mayoría son prismas de base rectangular con cubiertas planas; sus fachadas son de composición sencilla, las aberturas de vanos se adecuan a la necesidad racional de entrada de aire y luz natural. Los prismas rectangulares, con sus formas abiertas se integran con las áreas verdes circundantes, permiten al peatón realizar libres recorridos en una continua transición interior-exterior.

El sistema estructural utilizado es el de pórticos de viga-columna en concreto armado, sobre los que se apoyan losas macizas de concreto de entre

pisos y cubiertas planas; destaca la bóveda vaída de concreto armado y las pérgolas en concreto sobre el jardín interno y terraza del edificio principal. Los pasillos cubiertos son columnas de base circular en acero que soportan unas losas planas de concreto.

Los cerramientos verticales son variados, entre los que se encuentran paredes en bloque de arcilla, paredes de bloques calados, ventanales en vidrio traslúcido, ventanas de romanilla

metálicas y vidrio, y antepechos metálicos. Los acabados de piso son de granito en los espacios internos de las áreas sociales, alojamiento y de juegos; cerámica vitrificada para las áreas de servicio y losetas de cemento para los exteriores. Los acabados, en la mayoría de las edificaciones, son en friso liso exceptuando las paredes del área social del edificio principal que están recubiertas con mosaicos vitrificados en colores blanco y verde.

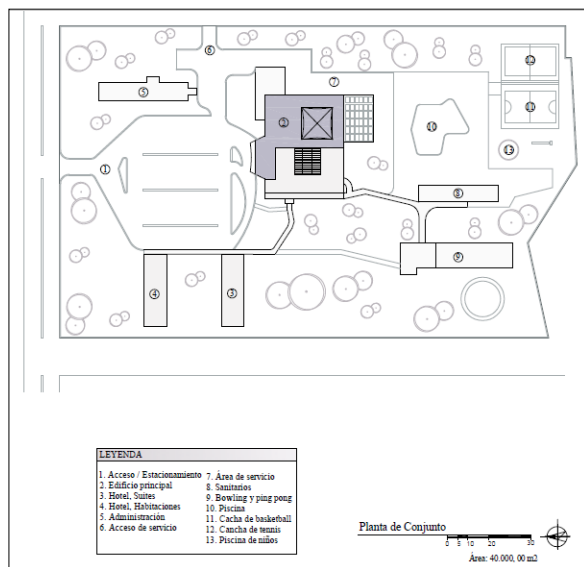


Figura 4. Círculo Militar, plano de conjunto.

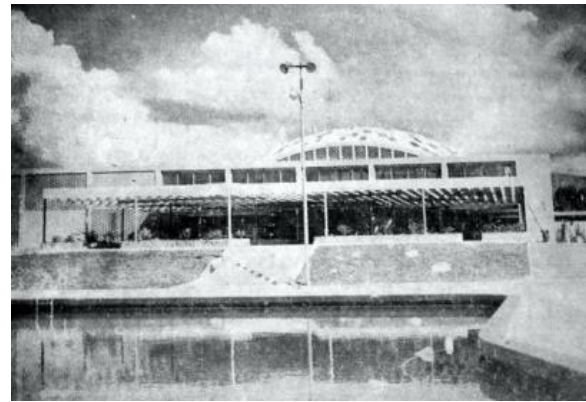


Figura 5. Círculo Militar, fachada sur edificio principal, 1957.



Figura 6. Círculo Militar, jardín interno del edificio principal, 1957.

3. Casa Sindical

Historia: se inauguró 13 de enero de 1957. El costo de la obra fue de 6.8 millones de bolívars aproximadamente. Fue construida por la empresa venezolana Metro Vial C.A., dirigida por los hermanos Rafael Domingo y Guillermo Moros Guerrero (O. Moros, comunicación personal, 24 de marzo de 2016). El proyecto estuvo a cargo del ingeniero-arquitecto Julián Ferris.

Contexto: está ubicada el extremo noroeste de la ciudad de San Cristóbal, en la Avenida Libertador, vía principal de conexión con Táriba. Las edificaciones que componen el conjunto están emplazadas de manera aislada en un terreno regular de 21.000 m² de extensión, con una pendiente natural del 16 % que asciende en sentido oeste-este. Para la conformación de las 3 terrazas donde se implantaron los edificios se requirió el movimiento de más de 12.000 m³ de tierra. Cuenta con 8.820 m² de construcción y ocupa el 21.8 % de ubicación. Las instalaciones están conformadas por un edificio administrativo-social, un auditorio, un hotel, áreas de estacionamiento, áreas verdes y de recreación, piscina semiolímpica y un parque infantil.

Arquitectura: un gran eje de circulación peatonal compuesto por un recto pasillo cubierto, es el elemento que marca la pauta de organización, distribuye ortogonalmente a las tres edificaciones y los demás espacios recreativos del conjunto. Cada edificación está organizada de acuerdo a las funciones que allí se realizan, evidenciando claramente la presencia de tres núcleos: el de administración-social; el recreativo – cultural y el de hospedaje.

El núcleo de administración-social es la edificación que permite el acceso peatonal al conjunto arquitectónico; emplazado en una sola terraza, se ubica en paralelo a la Avenida Libertador. Está compuesto por dos cuerpos organizados linealmente, articulados a cada lado del pasillo de circulación por donde se entra al edificio. El primer cuerpo es de un solo piso, de planta rectangular, dispuesto al lado sur del pasillo, se concibe como una gran planta libre. El

segundo cuerpo está ubicado al lado norte del pasillo de circulación, desarrollado en 5 niveles, de planta rectangular alargada. La planta baja es libre y funciona como un gran salón de fiestas. Del piso 1 al 3 se desarrolla una planta tipo y un pasillo lateral distribuye 8 locales por piso. El piso 4 está dividido en dos sectores, donde se ubican unos salones para reuniones o fiestas.

El auditorio está emplazado en una sola terraza y compuesto en dos cuerpos contiguos. El primero, de planta hexagonal, contiene el vestíbulo, la platea, el foso de la orquesta, el cuarto de iluminación, sonido y proyección. El segundo cuerpo del auditorio es de planta rectangular, de dos niveles, tiene dos accesos de servicio ubicados en los laterales, se vincula física y visualmente con la platea a través del escenario, incluye el escenario, el proscenio, los camerinos, la sala de ensayos, los depósitos y la tramoya.

El edificio de alojamiento está ubicado al noreste del conjunto, a un costado del remate del pasillo cubierto, emplazado en la terraza más alta del terreno, de planta rectangular y compuesta en 5 pisos. La planta baja es libre, en una organización lineal se disponen tres espacios, se accede por un costado, un hall abierto comunica con las escaleras, un área social y un pasillo que lleva al apartamento del director. Del piso 1 al 3, con una organización lineal, un pasillo distribuye desde las escaleras a un estar común y ocho habitaciones por planta, cada habitación tiene un baño y balcón privado. El último piso está compuesto por un área social con baño y una gran terraza que funciona de mirador sobre la ciudad.

Los espacios interiores de la Casa Sindical son proporcionados, ventilados e iluminados naturalmente; las áreas sociales y de reunión son abiertas al exterior y mantienen comunicación visual con las áreas verdes y recreativas; las plantas bajas libres funcionan como áreas sociales, se perciben como espacios amplios gracias a su altura y pocos cerramientos. El pasillo de circulación cubierto en planta baja, conjuntamente con los antepechos metálicos y las paredes de bloque calado en las áreas de circulación en los pisos altos, permiten al usuario

mantener conexión visual con el exterior y legibilidad del conjunto.

Las formas volumétricas de los edificios se caracterizan por ser cuerpos prismáticos de formas simples que envuelven racionalmente el espacio, rematados con diferentes tipos de cubiertas que varían entre planas, onduladas o inclinadas. Las fachadas son composiciones sencillas, de líneas geométricas totalmente funcionales, su diseño obedece a la necesidad de entrada de aire y luz y está acentuada la horizontalidad.

El sistema estructural utilizado es el de pórticos de viga-columna en concreto armado, sobre los que se apoya losas macizas de concreto para entrepisos, cubiertas planas o abovedadas;

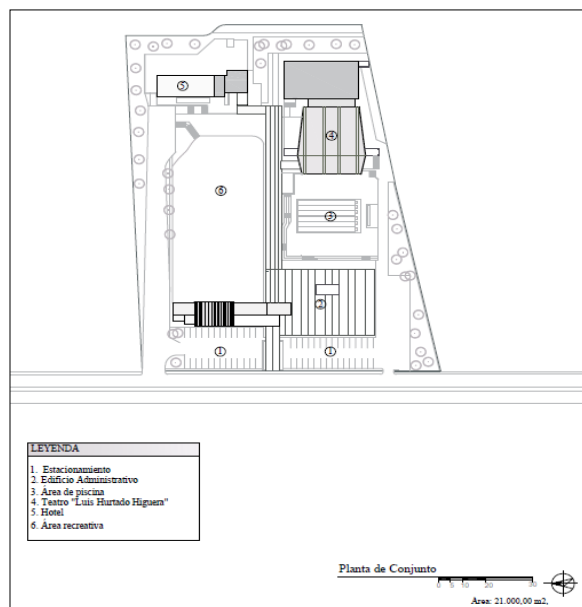


Figura 7. Casa Sindical, plano de conjunto.

DISCUSIÓN

En líneas generales los tres conjuntos arquitectónicos presentados anteriormente tienen características históricas–arquitectónicas en común, las cuales se puntualizan a continuación:

- Historia: fueron inaugurados en enero de 1957 y su concepción forma parte de los planes

destacan los cuatro pórticos en concreto pre-comprimido de 25 metros de luz y 7.50 de volado en el auditorio.

Los cerramientos verticales son paredes en bloque de arcilla, paredes de bloques calados de cemento, paredes de piedra en mampostería, ventanales en vidrio traslúcido, ventanas de romanilla metálicas y antepechos metálicos. Los pisos son en granito color gris claro, combinado con cerámica vitrificada en las áreas de servicio, y losetas de cemento para los exteriores. Los acabados de las paredes son en friso liso, solo se diferencia el interior del auditorio que está recubierto con material acústico especial y madera para lograr una mayor resonancia y nitidez.



Figura 8. Casa Sindical, recorrido e inspección de las instalaciones por el presidente general Marcos Pérez Jiménez, 13 de enero de 1957.

nacionales propuestos para la ejecución de obras de arquitectura destinadas al ocio, la recreación y esparcimiento de los venezolanos, con especial atención a los trabajadores y militares.

- Contexto: están ubicados en zonas de expansión y crecimiento residencial de clase media alta de la ciudad de San Cristóbal,

apoyadas por una red vial de autopistas y avenidas recién construidas.

- Conjunto: son edificaciones que ocupan grandes extensiones de terreno que superan los 25.000 m² de extensión y se emplazan de manera aislada en las áreas centrales de los lotes. Se ubican sobre terrazas planas modificadas del perfil natural del terreno en pendiente. Edificios aislados conforman el conjunto de organización agrupadas dispuestos sobre ejes lineales o tramas reticulares ortogonales, rodeados de áreas verdes y estacionamientos.

- El programa arquitectónico de los edificios tienen en común que su equipamiento e instalaciones están distribuidos en tres grandes zonas: la recreación, el alojamiento y servicios-administrativos. En las áreas de recreación exterior, la piscina es la instalación emblemática, las áreas verdes con vegetación baja y las terrazas son la constante de todos los conjuntos. El área de alojamiento está conformada por edificios independientes alejados de las zonas de ruidos, abiertas hacia las visuales y el paisaje circundante.

- Función: en las plantas de los edificios es apreciable el uso de la forma rectangular y alargada, las líneas ortogonales dominan la conformación de los espacios que se distribuyen a lo largo de los ejes lineales de los pasillos laterales. Las áreas comunes públicas de planta baja son libres y se conectan con marquesinas o terrazas apergoladas.

- Formalmente: sobresale la presencia de volúmenes puros de líneas rectas, prismas rectangulares dispuestos de manera aislada, sus techos son planos, con algunas variaciones de la cubierta plana por techos abovedados o inclinados. Las fachadas muestran diseños racionales que obedecen a los espacios interiores contenidos.

- Tecnológicamente: el concreto armado, utilizado en pórticos de viga columna con entrepisos de losas macizas y techos planos, abovedados o inclinados, fue el sistema estructural empleado en las edificaciones recreativas. Utilizan los mismos materiales tanto para los cerramientos verticales como para los acabados.

Las tres edificaciones tienen en común elementos compositivos en sus aspectos funcionales, formales y tecnológicos; no son obras aisladas, su concepción se ajusta a planes nacionales trazados por el gobierno en materia de recreación, turismo y esparcimiento para los venezolanos. Todas cumplen con las exigencias planteadas desde la gestión central suscrita bajo la doctrina del NIN. Pese a que son el resultado de la intervención de diversos factores y actores, como el diseño de arquitectos con formación y nacionalidad diferentes, estuvieron dirigidas a diversas clases de público, fueron edificadas por distintas empresas constructoras tanto públicas como privadas y la supervisión y control de la obra fue ejecutada por distintos organismos del gobierno.

CONCLUSIONES

En San Cristóbal, con la construcción de estos edificios recreacionales, se inició la transformación de la memoria colectiva del habitante. Esto es un hecho inédito en el avance de la arquitectura pública nacional pues dotó a la ciudad de edificaciones únicas y necesarias. Por primera vez aparecen en el imaginario urbano edificaciones de esa escala y trascendencia aptas para el disfrute y la recreación. El Hotel El Tamá es el primer edificio de la ciudad con un programa arquitectónico que cumple los estándares internacionales de los años 50, con capacidad para recibir de forma confortable, tanto a visitantes locales, como nacionales y extranjeros. Por su parte, el Círculo Militar de San Cristóbal permitió a los militares tachirenses y sus familiares contar con los espacios apropiados para realizar actividades sociales, recreativas y deportivas, en un lugar con todas las comodidades de un club privado. La misma situación experimentaron los trabajadores sindicalizados y sus familias con la puesta en funcionamiento de las instalaciones de la Casa Sindical.

REFERENCIAS

- _____ (12 de Enero de 1957). El arquitecto autor del proyecto del Círculo Militar de la Fuerzas Armadas. La Hora, pág. 8.
- _____ (15 de enero de 1957). Muy Satisfecho el proyectista del Hotel “El Tamá” de la Obra. Vanguardia, pág. 1.
- Arcila, E. (1974). Centenario del Ministerio de Obras Públicas: influencia de este ministerio en el desarrollo, 1874-1974 / MOP. Caracas: Ministerio de Obras Públicas.
- Arellano, A. (2001). Arquitectura y Urbanismos Modernos en Venezuela y en el Táchira 1930 – 2000. San Cristóbal: Fondo Editorial UNET.
- Azuaje, V. (2000). Anales Históricos del Círculo de la Fuerza Armada de Venezuela (tercera ed.). Caracas: Armitano CA.
- Boullón, R. (1986). Las actividades turísticas y recreacionales. El hombre como protagonista. (2a ed.). México: Trillas.
- Calvo, A. (2007). Venezuela y el problema de su identidad arquitectónica. Caracas: Universidad Central de Venezuela - Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.
- Casanova, B., García, V., Romero, E. (2012). “Patrimonio edificado y ciudad”. En N. García, N., Mogollón, L. y Pérez, T. (Edits.), San Cristóbal: una mirada en sus 450 años (págs. 135-156). San Cristóbal, Venezuela: Feunet.
- Casanova, B., y Romero, E. (2000). Preinventario e Inventario de los Bienes Culturales del Estado Táchira. Trabajo de Investigación, Convenio IPC - UNET, Programa Patrimonio - GIAS, San Cristóbal.
- Donoso, L. (2007). Arquitectura de la década militar en Venezuela 1948-1958: el Ideal Nacional y las tipologías arquitectónicas. (Consejo de Publicaciones de la Universidad de los Andes ed.). Mérida: Consejo de Publicaciones de la Universidad de los Andes.
- Hernández, L. (2016). Biografía del Ing. Edgar Espejo. Libro inédito.
- Létourneau, J. (2007). La caja herramientas del joven investigador. Guía de iniciación al trabajo intelectual. Medellín, Antioquia, Colombia: La Carreta Editores.
- Martínez, M. (2009). Epistemología y metodología cualitativa en las ciencias sociales. México, DF., México: Editorial Trilla.
- Medina, O. (1995). Los Inicios de la Arquitectura Moderna en Venezuela. Período 1952-1958. Trabajo de ascenso no publicado. Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal.
- Pérez Jiménez, M. (2 de diciembre de 1954). Discurso pronunciado a bordo del Destructor “Zulia”. Servicio Informativo Venezolano (Ed.). (1955). Venezuela, bajo el Nuevo Ideal Nacional. Realizaciones durante el segundo año de gobierno del General Marcos Pérez Jiménez. Caracas: Imprenta Nacional.
- Perez, T. (2012). “Apuntes sobre el origen y crecimiento”. En N. García, L. Mogollón, y T. Pérez (Edits.), San Cristóbal: una mirada en sus 450 años (págs. 17-41). San Cristóbal, Venezuela: Feunet.
- Romero, E. (2006). Arquitectura tachirenses con valor patrimonial, un estudio particular a partir del contexto de la arquitectura venezolana. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Valladolid, Valladolid.
- Servicio Informativo Venezolano (Ed.). (1955). Venezuela, bajo el Nuevo Ideal Nacional. Realizaciones durante el segundo año de gobierno del General Marcos Pérez Jiménez. Caracas: Imprenta Nacional.

SOCIO ECONÓMICO

ARQUITECTURA A “RETAZOS”: LA IMAGEN DEL SECTOR DE BARRIO OBRERO EN SAN CRISTÓBAL, TÁCHIRA. VENEZUELA

“PATCHWORK” ARCHITECTURE: THE IMAGE OF THE BARRIO OBRERO AREA IN SAN CRISTÓBAL, TÁCHIRA. VENEZUELA

Autor:

Duque, Yasmin

Grupo de Investigación Arquitectura y Sociedad - GIAS.
Programa de Investigación Habitabilidad. Universidad Nacional
Experimental del Táchira. UNET. República Bolivariana de
Venezuela.

Corresponding Author: yduque@unet.edu.ve

RESUMEN

La imagen de cualquier sector de la ciudad depende en parte de su arquitectura y de sus variaciones. Esto es consecuencia de la intervención de edificaciones, entendiendo esta última como toda actuación que se realiza, a través de añadiduras y sustracciones, a las piezas arquitectónicas, lo que deriva en la mayoría de casos en una arquitectura a retazos. Reflexionar sobre la intervención arquitectónica y su efecto en la imagen de la ciudad es el objetivo principal de este artículo, pues permitió identificar las variaciones externas de las piezas arquitectónicas del sector de Barrio Obrero en San Cristóbal, según los parámetros formales y tecnológicos como principales, perceptual y funcionales como complementarios. A partir del paradigma cualitativo se diseñó una investigación descriptiva que permitió realizar una comparación de las transformaciones de edificaciones del sector, en función de los parámetros mencionados y su relación con la imagen urbana. Los resultados expresan diferentes cambios y transformaciones: de un total de 1059 edificaciones se encontró un 60 % en densificación por subdivisión parcelaria, 15 % en alturas mayores a 3 pisos, 15 % en proceso de deterioro con respecto a la dureza de la construcción, 46 % en usos diferentes al residencial y cambio de uso dando pie a 52 % de edificaciones reutilizadas. Se concluye que la imagen del sector Barrio Obrero se concibe como una arquitectura a “retazos”, un lugar donde se evidencia cómo la relación entre lo teórico, “lo ideal” y la realidad, “lo concreto” es un fenómeno contradictorio al deber ser. Su imagen originaria residencial se ha transformado y es percibida como: heterogénea, híbrida, dinámica, diversa y contrastante en tipologías edificatorias modificadas por las formas, colores, texturas y materiales usados en la envolvente de las edificaciones y el constante reinventarse de la arquitectura como respuesta a la centralidad en que se convirtió.

ABSTRACT

The image of any area of the city depends partly on its architecture and its variations. This is a consequence of the intervention of buildings, understanding that as any action that is made through additions and subtractions to the architectural pieces, which in most cases results in a patchwork architecture. Reflecting on the architectural intervention and its effect on the image of the city is the main objective of this paper, because it allowed the identification of the external variations of the architectural pieces of the Barrio Obrero sector in San Cristóbal, according to the formal and technological parameters as the main ones, and perceptual and functional as complementary. From the qualitative paradigm, a descriptive investigation was designed, making a comparison of the transformations of buildings of the area, according to the mentioned parameters and their relation with the urban image. Results express different changes and transformations: out of a total of 1059 buildings, 60% was found in densification by subdivision of land, 15% in heights greater than 3 floors, 15% in process of deterioration in terms of the hardness of construction, 46% in uses different from residential and change of use resulting in 52% of buildings reused. It is concluded that the image of the Barrio Obrero sector is conceived as a "patchwork" architecture, a place where the relationship between the theoretical, "the ideal" and reality is evident, "the concrete" is a contradictory phenomenon as it should be. Its original residential image has been transformed and is perceived as: heterogeneous, hybrid, dynamic, diverse and contrasting in building typologies modified by the shapes, colors, textures and materials used in the envelope of buildings and the constant reinvention of architecture as a response to the centrality that it became.

Palabras clave: Arquitectura a “Retazos”, Intervención arquitectónica, Imagen Urbana, Barrio Obrero.

Key words: “Patchwork” Architecture, Architectural intervention, Urban Image, Barrio Obrero.

Recibido: 11/04/2018 Aprobado: 06/07/2018 Versión Final: 27/08/2018

INTRODUCCIÓN

Arquitectura a retazos hace alusión al término “retazo”: pedazo, trozo o fragmento de cualquier cosa; por lo que su definición se refiere a los posibles tipos de añadiduras, sustracciones, cambios y transformaciones que las piezas arquitectónicas de un lugar pueden experimentar. A su vez, la transformación de estos elementos componentes del espacio urbano contribuye con la percepción de los actores que hacen vida en la ciudad. Es así como la **imagen urbana** puede cambiar en el tiempo y tener relación directa con la interpretación que se dé al lugar en un momento determinado, considerando la alteración de los elementos que lo constituyen, los cuales para Aguiló (1999) son: el medio físico, las actividades y los significados; el primero está representado por la arquitectura, como el enfoque principal para este artículo. Las ciudades poseen una dinámica urbana que dispone a los objetos arquitectónicos a constantes cambios, ya que deben responder a la época que viven, a un tiempo y un espacio (Muntañola, 2000); es aquí donde el arquitecto tiene un importante campo de trabajo. Este proceso de actuación sobre lo edificado, llamado también **intervención arquitectónica**, se entiende como todas y cada acción realizada, más allá de la forma de interpretar la arquitectura y el valor que a esta se dé. Para De Solá-Morales (2001) una intervención es tanto como intentar que el edificio vuelva a decir algo y lo diga en una determinada dirección, la nueva interpretación que se quiere de la edificación.

Reflexionar sobre la intervención arquitectónica y su influencia en la transformación de la imagen de la ciudad, es el objetivo principal de este artículo, puesto que se realizó una comparación entre la imagen originaria, su transformación y la imagen contemporánea de Barrio Obrero, importante sector de la ciudad de San Cristóbal en la actualidad. Su ubicación estratégica, punto de convergencia entre los diferentes sectores de la ciudad, diferentes usos y actividades y prestador de servicios a nivel local, urbano y extraurbano, lo hace ser, según Duque (2010), en una centralidad urbana. Ubicado hacia al este del centro fundacional de la ciudad, cuenta con 1059 edificaciones, delimitado por 56 manzanas que

van de norte a sur desde la calle 15 hasta la calle 9 y de este a oeste desde la Avenida 19 de abril hasta la carrera 17, actualmente el centro geográfico de la ciudad. Originario de una política pública del Banco Obrero, del cual lleva su nombre, se desarrolló a través de la adición de sectores con diferentes tipologías edificatorias; en la actualidad, es el resultado de la suma de partes y la dinámica cambiante de su imagen.

Los puntos aquí expuestos se derivan del basamento teórico y su aplicación en la investigación realizada por la autora en su Trabajo de Grado de Magister: “*Nuevas Centralidades Urbanas. Plan Especial para Nuevas Centralidades Urbanas. Caso de estudio: Barrio Obrero, Municipio Pedro María Morantes, San Cristóbal, Táchira, Venezuela. 2010*”, en el que se menciona como elementos principales que generan una centralidad urbana su conexión directa con otros sectores de la ciudad, valorización del suelo, entre otros; puntos importantes que ocurrieron al caso de estudio en la década de los años 70, la construcción del viaducto nuevo como elemento conector con otros sectores de la ciudad y la implementación de la ordenanza de zonificación, lo que ocasionó un cambio de uso en sus edificaciones y valorización del suelo. Esto trajo como consecuencia la reutilización y alteración de las funciones de edificaciones por medio de intervenciones arquitectónicas sin un debido control ni planificación, lo que generó la transformación de la imagen urbana. Es importante señalar que esta línea de investigación derivada, es en la actualidad insumo inicial de la investigación doctoral de la autora en el tema: *carácter del lugar y el objeto arquitectónico*; siendo el escenario ideal el caso de estudio que se presenta, ya que las piezas arquitectónicas son protagonistas de un cambio significativo en la morfología del lugar.

MÉTODO

A partir del paradigma cualitativo se diseñó una investigación descriptiva. Basada en el trabajo de grado de maestría de la autora, se extrajo parte de los resultados obtenidos de esa investigación en lo concerniente a la relación entre la imagen y la intervención del objeto arquitectónico, resultados

usados en la aplicación de una metodología planteada para diseñar planes especiales dirigidos a centralidades urbanas. Dicha metodología se aplicó al caso de estudio seleccionado en el sector de Barrio Obrero a través de una serie de levantamientos, basados en el plano Aerofotogramétrico de San Cristóbal en diciembre de 1993, realizado por el Ministerio de Desarrollo Urbano, MINDUR; la aplicación de instrumentos de recolección de datos, apoyados de observación directa, toma de notas y fotografías que sustentó toda la información. Esta fue vaciada en planos, gráficos que se usaron para registrar, mostrar y analizar el proceso de transformación desde diferentes variables urbanas y arquitectónicas del sector.

Los resultados que se exponen permiten mostrar los diferentes elementos que influyen en la imagen del sector, tomando lo referente a los parámetros relacionados con el objeto arquitectónico, como principales: **el formal**, derivado del análisis morfológico, en este se estudian las variables: tipología edificatoria, la estructura parcelaria y altura de las edificaciones; del **tecnológico** se describe lo observado desde el exterior y está directamente relacionado con la envolvente arquitectónica, estudiando con la variable referida el estado de la construcción de las edificaciones y el uso e incorporación de materiales. Los parámetros perceptual y funcional, complementan a los principales, tomando dentro de lo *perceptual* aspectos importantes en la relación dada entre los elementos que componen la imagen urbana: identidad, significado y estructura y, en lo *funcional*, los usos que determinan de manera directa la dinámica de intervención sobre el objeto arquitectónico. Se realizó una descripción de las transformaciones de edificaciones, en función de los parámetros mencionados y su relación con la imagen urbana, comparando la imagen original y la contemporánea del caso de estudio, evidenciando los cambios y transformaciones de las piezas arquitectónicas y su relación con la imagen urbana.

RESULTADOS

Inicialmente se expone *el origen de Barrio Obrero y su imagen residencial a través de las*

tipologías edificatorias definidas por Marín (2005) y tomadas por Duque (2010), las cuales forman parte importante de la génesis y desarrollo del sector, para luego exponer el *desarrollo de Barrio Obrero y transformación de su imagen*, haciendo referencia a los cambios que han afectado a la arquitectura del sector y, en consecuencia, a su imagen.

El origen de Barrio Obrero y su imagen residencial a través de tipologías edificatorias

El sector de Barrio Obrero se originó como el primer ensayo oficial del Gobierno Nacional en la ciudad en materia de vivienda por medio del Banco Obrero, entre la segunda y tercera etapa de su gestión (1936–1957); además de la inserción de tipologías edificatorias que formaron la imagen residencial modesta originaria del sector:

Vivienda Tradicional: edificaciones privadas que se construyeron como continuación del ensanche del casco fundacional, bajo el esquema de las viviendas coloniales de las primeras décadas del siglo XX; entre sus características resaltan: de una planta, continuas y sin retiros de frente, se accede a su interior a través del típico zaguán, presenta un patio central o lateral alrededor del cual se organizan los espacios de la vivienda, con cubiertas a dos, tres y cuatro aguas construidas en caña brava y teja criolla que, en algunos casos, destaca por sus aleros. Sus paredes son de muros portantes en tierra cruda, realizados en tapia o en adobe; las viviendas ubicadas en la esquina presentan un remate redondeado o en chaflán, (Figura 1_1).

Viviendas del Banco Obrero: el Banco Obrero propone un nuevo modelo arquitectónico y de implantación urbana para la década del cuarenta con el que se da origen al sector. Se caracterizan por: un piso de altura y volumetría simple, sus cubiertas están conformadas en dos, tres y cuatro aguas; en algunos casos sobresale de la cubierta un pequeño volumen central que enfatiza el acceso a la edificación, las cuales presentan un juego volumétrico con el de la edificación en sí conformada por sus fachadas continuas; con retiro de frente y posterior en algunos casos laterales sobre la parcela, cubiertas de teja criolla, con elementos decorativos estructurales y

arquitectónicos, con ventilación en algunos casos hacia un patio central (Figura 1_2).

Vivienda Moderna y Contemporánea: edificaciones posteriores a la gestión del Banco Obrero se construyen a partir del año 1946 con las viviendas del Barrio Militar y, sobre todo, en las décadas del sesenta y setenta con las viviendas de producción privada ubicadas al este del sector representadas por la vivienda

unifamiliar aislada y pareada. Resaltan, en su mayoría, por ser de una y dos plantas, sus cubiertas son de techos a dos aguas, de gran importancia el juego de algunos volúmenes que jerarquizan ambientes de la vivienda; amplios retiros, de frente, laterales y posteriores, gran variedad de estilos implican un cambio en cuanto a las técnicas y materiales, introduce el innovador concepto de la vivienda rodeada de jardín (Figura 1_3).



Figura 1. Imagen residencial originaria de Barrio Obrero construida a través de la tipología de las edificaciones iniciales del sector: 1. vivienda tradicional, 2. vivienda del Banco Obrero, 3. vivienda moderna y contemporánea: 3.a.- Barrio Militar, 3.b construcciones privadas.

El desarrollo de Barrio Obrero y transformación de su imagen

Un momento muy importante en donde comienza el impulso en la transformación del sector de Barrio Obrero, fue en el año 1976 con la implementación de la ordenanza de zonificación y la construcción del viaducto nuevo en 1978, factores impulsores de grandes cambios. El Viaducto conecta de forma rápida al sector hacia el sur de la ciudad con otros sectores, convirtiendo a Barrio Obrero en un importante punto de paso para desplazarse a diferentes zonas de la ciudad, intensificándose el tránsito vehicular. La Ordenanza, por otro lado, permite una alta densificación que trae como consecuencia directa un aumento del valor del suelo. Con estas condiciones inicia su metamorfosis, convirtiendo a Barrio Obrero en la última década del siglo XX y primera del siglo XXI, en una nueva centralidad urbana

eminentemente comercial y social, lo que dio comienzo al proceso acelerado de cambio de uso de las edificaciones, y remplazó en un gran porcentaje al uso residencial por el comercial, lo que trajo como consecuencia la intervención de las piezas arquitectónicas. A las tipologías edificatorias que dieron origen a Barrio Obrero se le suman otras, con las cuales comienza el cambio de la imagen del sector a través de la incorporación de nuevas piezas arquitectónicas como:

Edificios de dos plantas: son pequeñas edificaciones que en su mayoría tenían una sola planta de uso residencial y con el tiempo se densificaron por crecimiento vertical, para cambiar el uso residencial de planta baja o parte de ella por comercio. Se caracterizan por ser construcciones formadas por adiciones verticales realizadas progresivamente y, en muchos casos, a criterio de sus propietarios, sin participación de

profesionales del área, trayendo como consecuencia resultados de muy baja calidad estética, cubiertas con láminas livianas (son varios los casos), algunas de estas edificaciones parecen inconclusas (Figura 2_1).

Edificios entre tres y seis plantas: edificios de estilos variados, muchos de estos han sustituido a viviendas unifamiliares del Banco Obrero, conformándose con la altura y porcentajes de construcción permitidas para estas parcelas; otros se han desarrollado en terrenos más generosos que les permiten llegar hasta las cinco y seis plantas. Son construcciones de volúmenes simples, que en algunas partes se retraen o sobresalen haciendo juego según el diseño de la edificación, tratan de armonizar mediante el uso de materiales y cubiertas similares a las edificaciones de su entorno, destaca el uso del vidrio en las fachadas, su calidad constructiva es superior a la tipología anterior (Figura 2_2).

Edificios de más de siete plantas: edificios de vivienda multifamiliar que, en un alto porcentaje, tienen locales comerciales en planta baja. Se destacan por ser edificaciones que presentan características formales de apariencias diferentes, con algunos elementos que se repiten, como es el caso de los balcones, códigos formales que identifican el uso residencial, su calidad constructiva es notoria, producto de la bonanza de las décadas del setenta y ochenta, con la incorporación de materiales como el concreto y el

acero en sus sistemas constructivos, además de acabados de diversos materiales (Figura 2_3).

Edificaciones singulares: edificaciones con características muy particulares, en algunos casos puede corresponder a las edificaciones destacadas de la arquitectura modesta de acuerdo a la categorización del patrimonio construido propuesto por Marín (2005), basado en el Pre-inventario e Inventario de los Bienes Culturales del Estado Táchira, Bienes Inmuebles, realizado en convenio con la Universidad Nacional Experimental del Táchira y el Instituto de Patrimonio Cultural en el año 2000; edificios o elementos que, por alguna razón, son casos únicos, que presentan características irreproducibles, bien como ejemplos arquitectónicos o bien como soluciones urbanísticas (Figura 2_4).

Edificaciones sin tipología definida: edificaciones reutilizadas que no pueden ser ubicadas en alguna de las tipologías definidas con anterioridad. Su heterogeneidad y variadas características, parecen ser el resultado de un proceso de construcción particular que pudiera considerarse el único vínculo que las agrupa. Características principales: las edificaciones no se repiten, la mayoría son de una planta, no se puede definir una tipología ni en la edificación resultante del proceso de transformación, ni en la edificación original ya que la intervención realizada ha borrado sus rasgos originales (Figura 2_5).



Figura 2. La imagen de Barrio Obrero en desarrollo a través de las tipologías: 1. edificios entre tres y seis plantas vivienda tradicional. 2. edificios entre tres y seis plantas. 3. edificios de seis y once plantas. 4. edificaciones singulares. 5. edificaciones sin tipología definida.

Esta última tipología muestra algunos de los cambios de las piezas arquitectónicas del sector, transformadas y hasta sustituidas por nuevas piezas. Además, del proceso de cambios de la imagen del sector de Barrio Obrero desde la tipología edificatoria, se presentan las variables analizadas desde el parámetro formal y tecnológico de los objetos arquitectónicos, donde se exponen las modificaciones observadas que influyen en la imagen contemporánea del sector:

Estructura Parcelaria: variable del análisis morfológico, ha sufrido cambios debido a la dinámica cambiante del sector y escasa área de crecimiento y expansión que tiene, en donde resalta la subdivisión parcelaria por la adaptación de los inmuebles a nuevos usos (Figura 3). La

subdivisión parcelaria o de las edificaciones se puede apreciar, claramente, cuando el inmueble original presenta tan sólo variación de color en la fachada, una misma edificación se divide para incorporar un nuevo uso sin que aparezca un nuevo inmueble; también se puede apreciar, cuando aparecen nuevos inmuebles construidos en los retiros. Se estudió la estructura parcelaria de 55 manzanas de Barrio Obrero. Se observó que 33 manzanas tienen mayor densidad a la estructura parcelaria registrada para la fecha, las cuales tienen un promedio entre 20 a 35 parcelas, esto corresponde al 60 % de las manzanas del sector densificadas por subdivisión parcelaria (Figura 4).



Figura 3. Cambios en las piezas arquitectónicas por subdivisión parcelaria.



Figura 4. Subdivisión parcelaria en las Manzanas del Sector de Barrio Obrero

Alturas y Perfiles Urbanos: el perfil urbano se percibe como heterogéneo, manteniendo una escala urbana constante entre uno y tres pisos, en la que resaltan algunas edificaciones con alturas mayores entre tres a cinco pisos, encontrando también edificaciones de más de seis pisos (Figura 5). El levantamiento realizado arrojó los resultados que se presentan en la Figura 6, donde se observa el mayor porcentaje de edificaciones; un 53,26 % son las de alturas de un piso resaltando sobre el resto; le siguen con un 33,14 % las edificaciones de dos pisos de altura, lo que quiere decir que el 86,40 % de las edificaciones aún conservan el perfil urbano originario, mientras que se denota una tendencia de cambio de alturas de las edificaciones a más de tres pisos en un 13,60 %, cambios que comienza a notarse en los perfiles urbanos en piezas aisladas en el sector.

Estado de la Construcción: se analizaron las edificaciones a través de tres ítems: *en buen estado* aquellas edificaciones que se puede observar sin lesiones en ninguno de sus componentes constructivos; *en regular estado*, edificaciones en las que aparecen ciertas lesiones que deben ser analizadas con mayor detenimiento ya que pueden pasar a mal estado; *en mal estado*, edificaciones en las que se observa gran variedad de lesiones en la mayoría de sus componentes constructivos (Figura 7).

Se identificaron edificaciones *en buen estado* con un 85 %; 13 % *en regular estado* y un 2 % *en mal estado*; la sumatoria de los dos últimos ítems muestra el 15 % de los indicios de la transformación de la imagen del sector por medio del estado de sus edificaciones, registrando, además, al sur oeste del sector, el mayor número de estas edificaciones (Figura 8).



Figura 5. Vistas de diferentes perfiles donde se observan diferentes alturas en el Sector de Barrio Obrero.

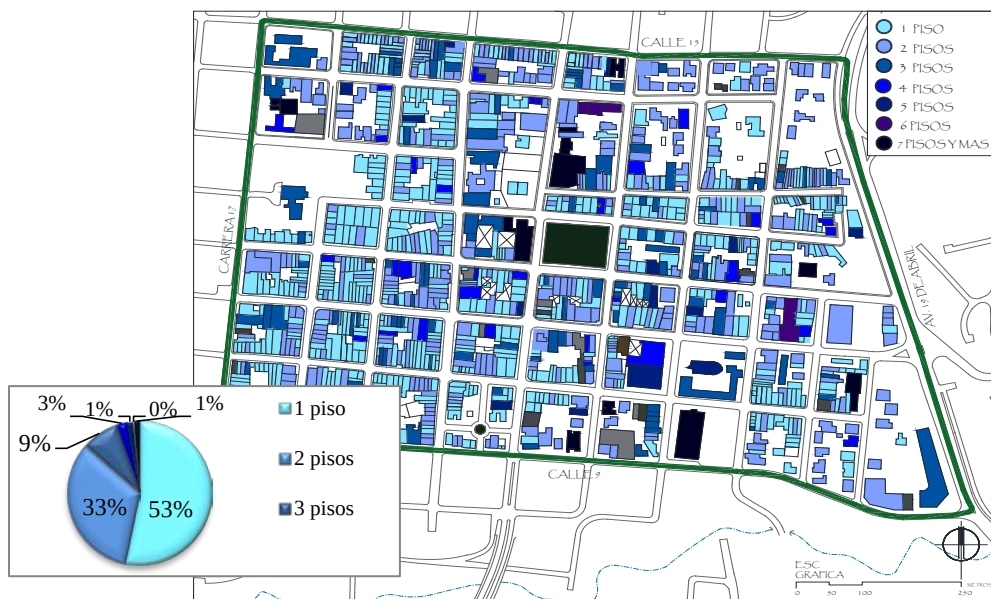


Figura 6. Alturas de las Edificaciones del Sector de Barrio Obrero



Figura 7. Edificaciones según el estado de la construcción: 1.-en buen estado, 2.- en regular estado, 3.- en mal estado; en el Sector de Barrio Obrero

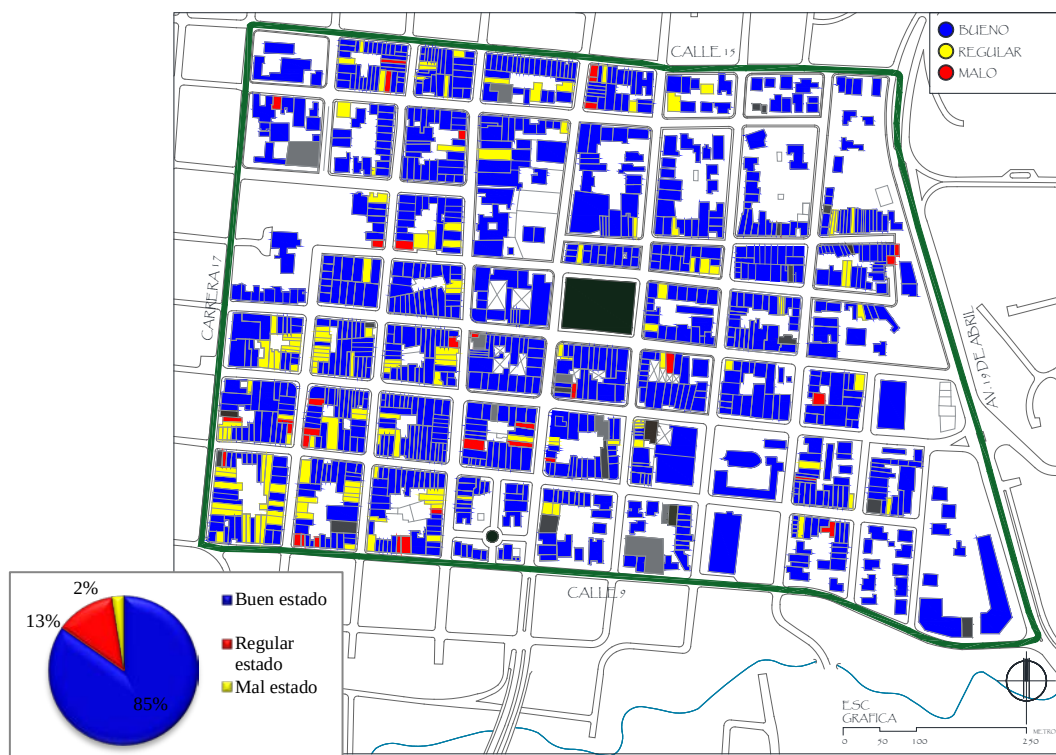


Figura 8. Estado de construcción de las edificaciones del sector de Barrio Obrero.

Un punto importante que modifica la imagen urbana es el uso y cambio de usos de las edificaciones, variable que actúa de manera directa sobre la dinámica funcional y, por consiguiente, origina la intervención de las piezas arquitectónicas, afectando directamente al parámetro formal y tecnológico y, a su vez, la percepción del conjunto.

Usos: se registraron quince (15) usos: el residencial prevalece con un 41 % sobre los demás, seguido del mixto (residencial – comercial

y/u oficinas) con un 30 % y el comercial con un 22 %, reflejando los tres usos más importantes del sector. El uso mixto tiene un gran porcentaje en las edificaciones lo que, sumado con el comercial, equivaldría a un 52 %, sobrepasando al uso residencial original del sector. Esto refleja claramente la dinámica de cambio de uso al comercial. Un 46 % de usos son diferentes al residencial, porcentaje importante en comparación con el uso originario del sector. Los demás usos representan una serie de servicios con que cuenta el sector en un 7 % (Figura 9).

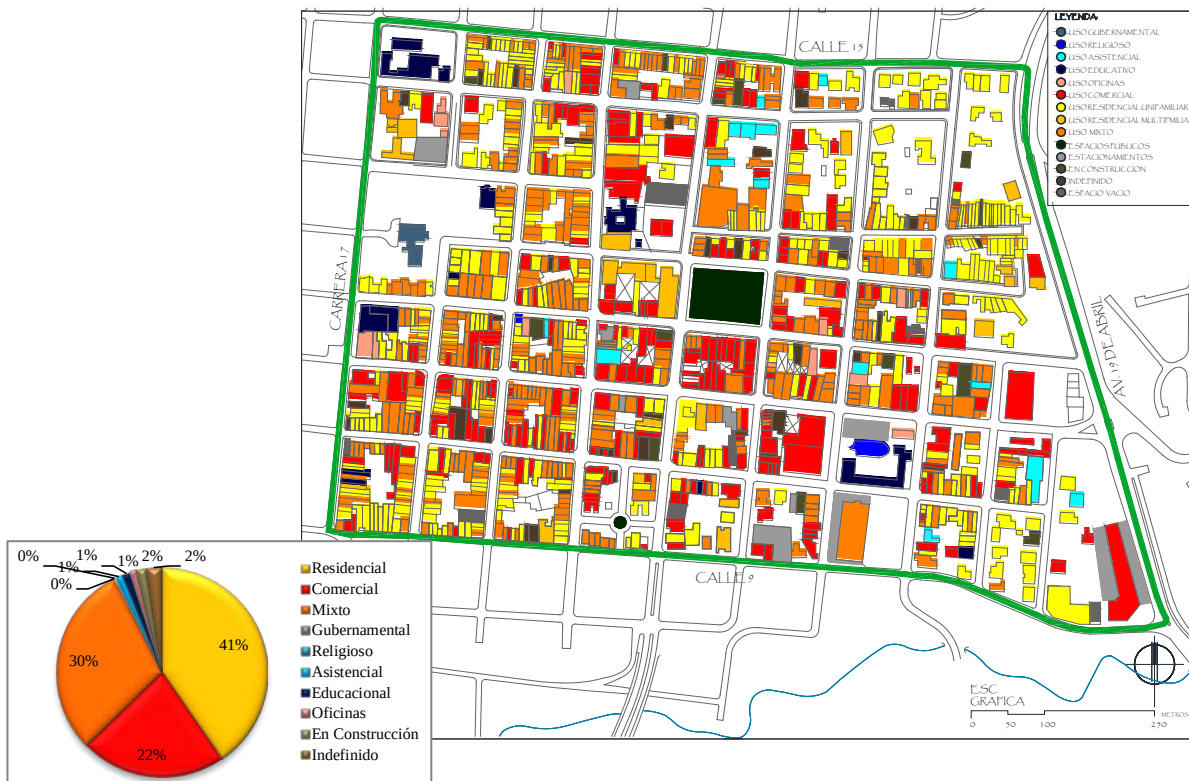


Figura 9. Usos del Sector de Barrio Obrero

DISCUSIÓN

La arquitectura de Barrio Obrero se originó y se ha desarrollado a partir de ocho tipologías edificatorias, como elementos que aportaron rasgos particulares y característicos en la arquitectura e imagen del sector. Este partió de una arquitectura modesta conformada por edificaciones aisladas, pareadas y continuas, de un piso, de uso residencial y con uso de materiales y técnicas constructivas simples; en su crecimiento se incorporaron nuevas piezas, edificaciones de uso residencial, mixto, comercio y otros, de hasta más de siete pisos, intervenidas sin control ni planificación, las cuales se han adaptado a la dinámica cambiante de usos y valor del suelo. Para la fecha de la investigación de 1059 edificaciones en el sector, se conservaban 405 de uso residencial unifamiliar (38,24 %) y 564 de un piso (53,26 %) con características

originarias del sector; en contraste con 23 edificaciones de uso residencial multifamiliar, más 236 de uso comercial (22,29 %), 315 de uso mixto (29,74 %) y 80 de otros usos entre servicios y equipamientos (7,55 %) para un total de 654 (61,75 %) con usos diferentes al originario; 351 edificaciones de 2 pisos (33,14 %), más 131 entre 3 y 6 pisos (12,37 %) y 13 de más de 7 pisos (1,23 %) para un total de 495 edificaciones de más de un piso (46,74 %), porcentajes que permiten visualizar un cambio de la morfología del sector. Los valores registrados evidencian los cambios en las envolventes de algunas edificaciones, con la incorporación de nuevos materiales y técnicas constructivas, variando el estado constructivo de algunas edificaciones. En consecuencia, se denota la transformación de la imagen del sector, resultando cambios en la identidad, estructura y legibilidad.

De acuerdo con estos resultados sobre la imagen de Barrio Obrero, es importante prestar atención al control que se ha hecho de las intervenciones en las edificaciones, ya que ha repercutido en la definición de su imagen; es también pertinente reflexionar acerca de la actuación de los profesionales que construyen la ciudad y la interpretación que hacen de cada edificación a intervenir, pues se aprecian en el sector y en la ciudad edificaciones que han tenido cambios en diferentes ocasiones con poca vinculación entre cada proceso de adaptación. Rivera y Sánchez (2013) comparten esta afirmación cuando afirman: “(...) se observa en las propias edificaciones, cuando han sido realizadas por partes, en distintos momentos, donde priva la economía, la moda y existencia de los materiales, además de la ausencia de la participación de arquitectos que proyecten un crecimiento coherente” (p.25).

El sector de Barrio Obrero es claro ejemplo de esto: al transitar por sus calles y al percatarse del escenario que compone el sector, se puede visualizar un sinfín de edificaciones sin tipología definida, diversidad de formas, usos de materiales y alturas, etc., las cuales no presentan relación entre sí. Marín (2005) lo explica al señalar que en Barrio Obrero se han incrementado las sustituciones por nuevas edificaciones con características muy diferentes a las tipologías que prevalecen en el sector. La intervención de edificaciones ha dado lugar a cambios formales y funcionales determinados, fundamentalmente, por el deseo de mostrar una nueva imagen que llame la atención pero descuidando, en muchas oportunidades, aspectos básicos para mantener un mínimo orden de la forma urbana. Una nueva imagen que, producto de los cambios del objeto arquitectónico, inciden directamente en el lugar, para Lynch (1998) “(...) la imagen es el resultado de un proceso mutuo entre el observador y lo observado, en que desempeña una función importante la forma física externa sobre la que puede actuar el diseñador (p.145). Es crucial considerar cómo se percibe y se interpreta la arquitectura de un sector de la ciudad, la cual está ligada al lugar en sí y su génesis, lo que representa un valor de

peso. Un cambio, por simple que sea, repercutirá en su entorno inmediato, entendiendo que la edificación le otorga cualidades que distinguen a un lugar y, por consiguiente, afectará la identidad, legibilidad y estructura del sector.

CONCLUSIONES

En el sector de estudio ha sido un ejemplo la “arquitectura a retazos”, pues se configura como parches superpuestos en el tejido urbano de la ciudad. La imagen de una arquitectura a “retazos” que ha transformado una imagen original residencial a una percibida como heterogénea, híbrida, dinámica, diversa y contrastante en tipologías edificatorias transformadas por la variedad de formas, colores, texturas y materiales usados en la envolvente de las edificaciones; además del constante reinventarse de la arquitectura como respuesta a una interpretación que, en muchos casos, hace caso omiso de la evidente desconexión entre las piezas arquitectónicas y el lugar.

Comprender la relación que tienen los cambios del objeto arquitectónico con la imagen urbana es un tema de estudio de importancia. Requiere de una oportuna atención en este momento en que aparecen nuevas y diferentes oportunidades de actuación en la ciudad, puesto que la dinámica de intervención se hace cada vez más directa sobre las piezas arquitectónicas afectando de manera singular o significativa el lugar. Estas afirmaciones justifican la pertinencia de la investigación que la autora inicia, como un camino que conducirá a una sistemática reflexión sobre el fenómeno que ocurre entre la falta de coherencia de los distintos aportes teóricos sobre el tema *lo ideal* y lo que en la realidad se está manifestando en las ciudades, es decir, *lo concreto*.

REFERENCIAS

- Aguiló, M. (1999). *El paisaje construido. Una aproximación a la idea de lugar*. Madrid: Editoriales Castalia, S.A. .

- Arellano, A. (2001). *Arquitectura y urbanismo moderno en Venezuela y en el Táchira 1930-2000*. San Cristóbal: Fondo editorial UNET.
- De Solá- Morales, I. (2001). Teorías de la Intervención Arquitectónica. *PH*, 47-52.
- Duque, Y. (2010). Nuevas centralidades urbanas. Plan especial para nuevas centralidades urbanas. caso de estudio: Barrio Obrero, municipio Pedro María Morantes. San Crsitóbal, Táchira, Venezuela. 2010. *Trabajo de grado para optar al título de Magister Scientiae en Desarrollo Urbano Local. Mención Diseño Urbano*. Universidad de Los Andes . Mérida, Mérida, Venezuela.
- Lynch, K. (1998). *La imagen de la ciudad*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Marín Andújar, D. (2005). Tesis Doctoral para optar al título de Doctor. *La reutilización de la arquitectura. Construir sobre lo construido, en el Barrio Obrero en la ciudad de San Crsitóbal, Venezuela*. Valledolid: Universidad de Valledolid.
- Muntañola Thornberg, J. (2000). *Topogénesis. Fundamentos de una nueva arquitectura*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Rivera, M. G., & Sánchez, F. (2013). Proyectar para la ciudad desde la reflexión y el diálogo. En G. d. GIAS, *Arquitectura y sociedad. Materiales de Investigación II* (págs. 19-40). San Cristóbal: Fondo editorial UNET-GIAS.

SOCIO ECONÓMICO

EVOLUCIÓN DE LA INFECCIÓN POR VIH EN PACIENTES MEDICADOS CON COINFECCIÓN VIH/HEPATITIS B

EVOLUTION OF HIV INFECTION IN PATIENTS MEDICATED WITH COINFECTION HIV/HEPATITIS B

Autores:

Timaure, Rossana¹; Orlandoni, Giampaolo^{2,3}; Ramoni, Josefa^{2,3}; Valeri, Lenin⁴

¹Grupo de investigaciones en biotecnología agrícola y ambiental, Universidad Nacional Experimental del Táchira, Decanato de Investigación. Venezuela.

²Instituto de Estadística Aplicada y Computación, Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Venezuela.

³Universidad de Santander. Bucaramanga, Colombia.

⁴Escuela de Administración y Contaduría Pública, Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Venezuela.

Corresponding Author: rttg@unet.edu.ve

RESUMEN

El Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH) es según la Organización Mundial de la Salud uno de los principales problemas de salud mundial. Para el año 2017 se estimó que 35.3 millones de personas vivían con VIH de los cuales 20.9 millones tenían acceso a medicación con antirretrovirales, tratamiento que se puede considerar como un factor de riesgo para hepatotoxicidad. De manera, que el objetivo de este trabajo fue modelar la evolución de la carga viral del VIH con coinfección de Hepatitis B. Se siguió una metodología para estudio de datos longitudinales con modelos de efectos mixtos, los cuales permiten manejar la alta heterogeneidad, la correlación y las tasas de datos faltantes, características de este tipo de datos; se evaluó como variable respuesta la carga viral y como variables independientes: género, edad, zona de residencia, conteo de linfocitos T CD4+ y T CD8+, estado inicial del conteo de células CD4+, así como los marcadores serológicos para la Hepatitis B (HBsAg y AntiHBc). Como resultado se obtuvo que para un nivel de significancia $p < 0,05$, no se evidenció que el género o la coinfección activa con Hepatitis B explicara la variabilidad de la carga viral, al contrario, resultaron significativos la edad, la zona de residencia, el estado inicial del conteo de células T CD4+, el conteo de las subpoblaciones linfocitarias y la interacción del tiempo con AntiHBc. En esta investigación, los marcadores que describieron la evolución virológica en el tiempo del VIH fueron los inmunológicos y haber padecido Hepatitis B; por otra parte, la coinfección con hepatitis B activa no tuvo efecto significativo en la variabilidad de la carga viral, la metodología permitió evaluar la progresión individual de cada paciente, ya que los valores centrales no aportaron información sobre la progresión virológica del VIH.

ABSTRACT

The Human Immunodeficiency Virus (HIV) is according to the World Health Organization one of the main global health problems, for the year 2017 it was estimated that 35.3 million people were living with HIV of which 20.9 million had access to medication with antiretrovirals, treatment that can be considered as an irrigation factor for hepatotoxicity. Hence, the objective of this work was to model the evolution of viral load of HIV with Hepatitis B co-infection. A methodology was followed to study longitudinal data with mixed effects models, which allow to manage the high heterogeneity, the correlation and the missing data rates, characteristics of this type of data; the viral load was evaluated as variable response and as independent variables: gender, age, area of residence, T CD4+ and T CD8+ lymphocyte count, initial state of CD4+ cell count, as well as serological markers for Hepatitis B (HBsAg and AntiHBc). As a result, it was found that for a level of significance $p < 0,05$, it was not shown that gender or active co-infection with Hepatitis B explained the variability of the viral load, on the contrary if age was significant, the area of residence, the initial status of the CD4+ cell count, the count of lymphocyte subpopulations, and the interaction of time with AntiHBc. In this investigation, the markers that described the virological evolution in the time of HIV were the immunological ones and to have suffered Hepatitis B; On the other hand, co-infection with active hepatitis B had no significant effect on the variability of viral load, and the methodology allowed the evaluation of each patient's individual progression, since the central values did not provide information on the virological progression of HIV.

Palabras clave: VIH, Hepatitis B, modelos mixtos, datos longitudinales.

Key words: HIV, Hepatitis B, model mixed effects, longitudinal data.

Recibido: 22/03/2018 **Aprobado:** 14/06/2018 **Versión Final:** 27/08/2018

INTRODUCCIÓN

Desde que el Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH) se conoció, el pronóstico de supervivencia y la calidad de vida de las personas infectadas ha mejorado considerablemente, debido entre otros factores, a la aparición del tratamiento con antirretrovirales de gran actividad (TARGA). Sin embargo, esta mejoría se ve perjudicada por la presencia de otras afecciones comórbidas, entre ellas la del Virus de la Hepatitis B (VHB), la interacción de ambos virus produce mayor morbilidad y mortalidad (Oliveira et al., 2014; Bosh et al., 2018).

Cabe destacar, que las infecciones por el VIH y VHB son dos de las más documentadas a nivel mundial; según la Organización Mundial para la Salud (OMS, 2017a, b) en el año 2017 se estimaba que 257 millones de personas vivían con VHB y para ese mismo año 35.3 millones de personas estaban infectadas con VIH.

En Venezuela, según la Organización de las Naciones Unidas para el SIDA, se estimó que en el año 2016, 120.000 personas estaban infectadas de VIH; sin embargo, esta situación se ha agravado en los últimos años, pues se reportan que en la actualidad 11.000 personas se infectan de forma anual, comparadas con las 7.600 personas que se estimaron se contagiaron en el año 2016 (Albaladejo, 2018; ONUAIDS, 2018).

Así mismo, para el año 2015 se reportó que el 2 % de la población venezolana padecían de Hepatitis B (Zampino et al., 2015), excepto en poblaciones indígenas, donde la exposición al virus variaba entre el 15,5 y 80,5 %, no obstante, existe una tendencia a pasar de un nivel alto e intermedio a uno de baja endemicidad (Blanco et al., 2018).

Es importante considerar que el VIH ataca el sistema inmune del portador y su relación es más compleja que con cualquier otra infección viral; afecta principalmente el conteo de las células linfocitarias T CD4⁺ (CCD4) y T CD8⁺ (CCD8) (Kaslow et al., 2005; Toro et al., 2008).

Así mismo, los biomarcadores CCD4, CCD8 y el número de copias detectables del ARN de VIH por mililitro de plasma, conocido como carga viral (CV), son los más usados para la evaluación de la progresión de la infección por VIH (Mellors et al., 1997; Gilks et al., 2006).

Por otra parte, el VHB es el agente causal de la Hepatitis B, que es una infección hepática. Las pruebas serológicas para el descarte del VHB son antígeno de superficie del VHB (HBsAg) que indica si la infección está activa y los anticuerpos contra el antígeno del núcleo del VHB (AntiHBc) que evidencia que la infección se resolvió y se estuvo en contacto con el virus (León, 2008).

La infección concomitante VIH/VHB, se origina principalmente, debido a que ambos virus comparten las mismas vías de transmisión; según la OMS (2017a), un 20 % de la población que vive con VIH padece Hepatitis B crónica. El impacto de la coinfección es especialmente importante en regiones con uso generalizado de TARGA, esto debido al riesgo de hepatotoxicidad, desarrollada por el tratamiento y el VHB (Hoffman et al., 2008).

Es preciso señalar, que el efecto de la infección por el VIH sobre la historia natural de las infecciones hepáticas, está bien documentado; se caracteriza por acelerar la replicación viral en el hígado, la progresión a hepatitis crónica y enfermedad hepática terminal, aumentando la mortalidad (Chun *et al.* 2012; Kouamé et al. 2018).

A pesar de lo expuesto con anterioridad, los estudios del impacto del VHB en la progresión del VIH han arrojado resultados contradictorios, algunos estudios indican que acelera la progresión de la enfermedad a la categoría conocida como Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA) y aumenta la mortalidad (Eskild et al., 1992; Ockenga et al., 1997; Chun et al., 2012).

Sin embargo, otras investigaciones no han encontrado evidencia del impacto del VHB en la respuesta inmunológica (CCD4) o virológica

(CV), de pacientes con VIH (Konopnicki et al., 2005; Nikolopoulos et al., 2009; & Georgescu, 2013).

Por otra parte, en el análisis y ajuste de modelos para estudiar la evolución de pacientes con VIH, se presentan algunos problemas metodológicos, entre ellos: la correlación en las medidas repetidas de los CCD4, CCD8 y CV, la 3 variabilidad interindividual e intraindividual que está presente en los pacientes, los datos faltantes con patrones monótonos y no monótonos. Los modelos de efectos mixtos son una herramienta de análisis flexible para este tipo de datos, dado que permiten ajustar una estructura de varianza covarianza y realizar las estimaciones en presencia de datos faltantes (Arnau, 2007; Jarrín, 2010), de modo, que han sido empleados para modelar diferentes aspectos asociados al VIH, como su progresión en pacientes alcohólicos (Hahn et al., 2018), con coinfección con hepatitis C, con enfermedad cardiovascular (Huiting et al., 2018; Huff et al., 2018), entre otras; en todos los casos, los modelos aportaron información de cómo los factores de riesgo impactaron en la progresión del virus.

Por consiguiente, los modelos pueden aportar información para entender la dinámica del comportamiento de los biomarcadores virológicos e inmunológicos para la evaluación del VIH, en presencia de coinfecciones en pacientes medicados o no.

El objetivo de este estudio fue plantear un análisis con modelos mixtos para evaluar si las variables demográficas: edad, género y la zona de residencia rural o urbana, además del estado inicial del CCD4 y los biomarcadores CCD4 y CCD8, influyen en la variabilidad de la CV como indicador de la progresión de la infección por VIH, en pacientes coinfectados por VHB y bajo un esquema de medicación con antirretrovirales de gran actividad.

MÉTODO

Muestra en estudio

Los datos utilizados se obtuvieron a partir de vistas minables de la base de datos del Laboratorio de Investigaciones Hormonales del Instituto Autónomo Hospital Universitario de los Andes, donde se almacena información de los pacientes con VIH, atendidos en el marco del programa nacional para pacientes con SIDA/ETS. En diciembre del año 2007, la base de datos almacenaba 45.915 registros, no todos de pacientes VIH positivos.

Las vistas minables fueron filtradas para generar información anónima de los pacientes, confirmados para VIH con las pruebas ELISA y Western blot, así como eliminar incongruencia en los datos y registros con sólo seguimiento de un año; quedando disponibles 1024 registros.

A partir de los registros filtrados, fue imputada una cohorte con las siguientes características: que los pacientes tuvieran más de 18 años, que se les hubiera realizado los análisis HBsAg y AntiHBc para el descarte de Hepatitis B, y no estuvieran más de 6 meses bajo esquema de medicación con antirretrovirales de gran actividad. En consecuencia, la cohorte se conformó por 115 pacientes que permanecieron en seguimiento desde enero del año 2007 hasta diciembre del 2013, de los cuales se registró la información sobre el género, la edad y la zona de residencia (rural y urbana), además de las medidas repetidas por paciente del CCD4, CCD8 y la CV.

Por su parte, la edad de la cohorte estaba en un rango entre 19 y 67 años. Existió una falta en el seguimiento de 5 pacientes por el desarrollo de SIDA y defunción (último registro de CCD4 < 120 células/mm³ y CV > 100.000 copias/ml), todos hombres, 3 con VIH/VHB (positivos para AgHBc), entre 24 y 42 años, 3 residentes en zona urbana y 2 en zona rural. También existió falta de seguimiento en 8 pacientes por causas desconocidas, 6 hombres y 2 mujeres. De todos los pacientes de la cohorte, un 11,03 %

abandonó el seguimiento y un 88,69 %, presenta por lo menos en alguna fecha, datos faltantes.

Además, el estado inicial del CCD4 es una variable considerada en algunos trabajos de investigación como indicador del comienzo de seguimiento tardío del paciente. Por tanto, se categorizo según las recomendaciones nacionales e internacionales para la medicación y la evaluación de las fases de la infección (República Bolivariana de Venezuela, 2008).

También, de los 115 pacientes, en el momento de su imputación 4 personas presentaban una severa inmunodepresión, con CCD4 menor a 50 células/mm³ y carga viral superior a 50 copias/ml, estos pacientes se mantuvieron en control hasta diciembre del año 2013, 2 de ellos con Hepatitis B crónica (positivos para HBsAg y

AntiHBc) y con evidencia de haber padecido Hepatitis B (positivos para AntiHBc).

Por otra parte, 16 pacientes presentaban CCD4 menores a 200 células/mm³, uno de los cuales falleció y otro abandonó el seguimiento; los 14 restantes estuvieron en control hasta diciembre del año 2013. Seguidamente, en la Tabla 1, se muestra el número de pacientes por género (G), grupo por edad, zona de residencia (ZR) y estado inicial del CCD4 (EI); se observa que existe mayor número de hombres (70,43 %) que de mujeres (20,56 %), existe un porcentaje general de coinfección con Hepatitis B del 23,46 % (todos positivos para AntiHBc y un 1,73 % también positivo para HBsAg), en mayor proporción pacientes que residen en zonas rurales.

Tabla 1. Descripción de la cohorte 2007 de pacientes con VIH atendidos en el IAHULA.

Género			No coinfectados VIH/VHB	coinfectados VIH/VHB
Femenino	Edad (Años)	18–59	32	2
	Zona de Residencia	Rural	19	2
		Urbana	13	0
	CCD4 inicial	≤ 50 células/mm ³	1	0
		50–200 células/mm ³	4	0
		201–500 células/mm ³	18	2
		500 células/mm ³	9	0
	Edad (Años)	18–69	54	27
Masculino	Zona de Residencia	Rural	34	14
		Urbana	22	11
	CCD4 inicial	≤ 50 células/mm ³	0	3
		50–200 células/mm ³	11	1
		201–500 células/mm ³	28	10
		500 células/mm ³	17	11

Además, en la distribución por edad, se muestra que el mayor porcentaje de hombres y mujeres tiene un rango de edad entre 18 y 40 años. El porcentaje más alto de pacientes (77,27 %) presentaban, al momento de su imputación en la cohorte, niveles de CCD4 > 350 células /mm³. Tanto por razones biológicas como estadísticas, se estandariza el uso del Log10 para la CV absoluta en copias/ml, con el _n de manejar la heterogeneidad y el efecto de valores atípicos (Konopnicki *et al.*, 2005), que están presente en esta variable, esto debido a que la técnica PCR (polymerase chain reaction), utilizada para la

obtención de los valores absolutos de este biomarcador, puede detectar entre 20 y 10.000.000 de copias de ARN de VIH por ml de sangre.

En la Figura 1, se muestra el comportamiento en el tiempo del Log10CV y CCD4 durante los 7 años de seguimiento en dos grupos de pacientes, reactivos para AgHBc y no reactivos, se observa al comienzo mayor variabilidad y al final se evidencia una disminución del Log10CV y aumento del CCD4 en ambos grupos.

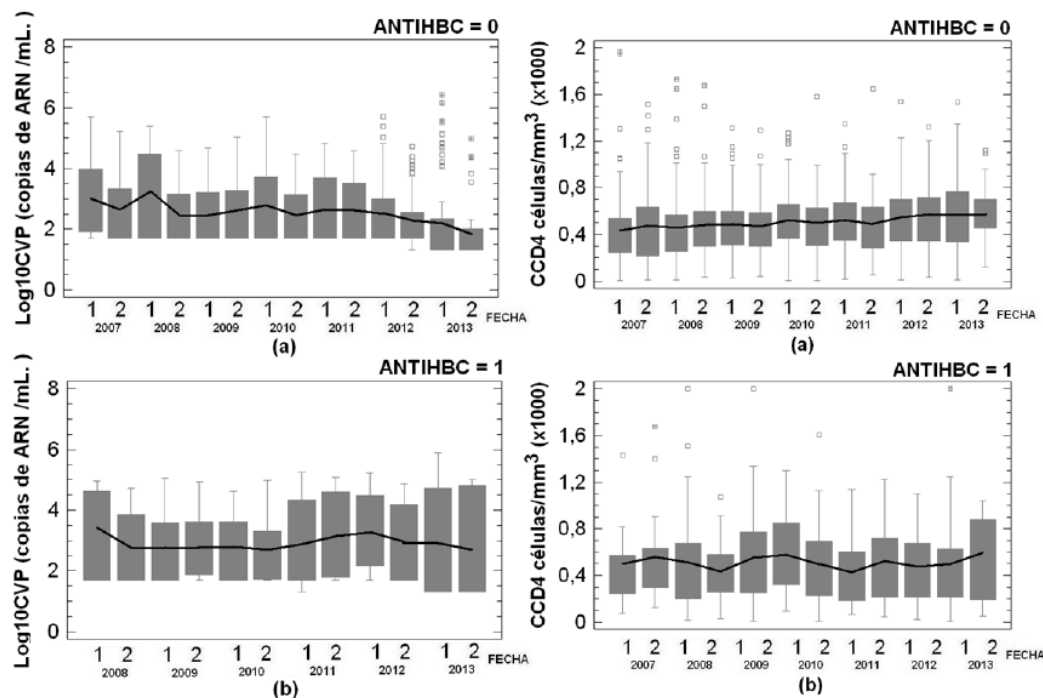


Figura 1. Comportamiento del Log10CV y CCD4 de pacientes reactivos y no reactivos para AgHBc.

Definición de variables

Para el análisis de los datos se seleccionó como variable respuesta el Log10CV, dado que es el biomarcador utilizado para evaluar la evolución de la enfermedad y la terapia con antirretrovirales, y como variables explicativas: género (G), edad (E) y zona de residencia (ZR), estado inicial (EI) del CCD4, CCD4, CCD8, la fecha de seguimiento (F) y el estado de coinfección o no con VHB, determinado por HBsAg (infección activa) y AgHBc (infección pasada).

Modelo planteado

Se ajustó el modelo (1), considerando que los pacientes tienen diferentes interceptos del Log10CV y diferentes pendientes de regresión; con los efectos individuales: género, edad, ZR, EI, fecha, HBsAg, AgHBc, CCD4, CCD8 y las interacciones fecha con HBsAg, AgHBc, CCD4 y CCD8.

Además, se establecieron las variables de la forma siguiente:

$\beta_0 - \beta_{13}$, son los coeficientes de regresión.

a_k , es el intercepto aleatorio del k -ésimo paciente, donde $a_k \sim N(0, \sigma_a^2)$.

b_k , es componente aleatorio del k -ésimo paciente, donde $b_k \sim N(0, \sigma_b^2)$.

$\text{Log}_{10}CV_{jk}$ representa el Log_{10} de la carga viral del k -ésimo paciente ($k = 1, \dots, n = 115$) en la j -ésima fecha.

EI_k , es el estado inicial del conteo de CCD4 del k -ésimo paciente.

ZR_k , indica la zona de residencia del k -ésimo paciente 0 zona rural, 1 zona urbana.

F_{jk} , es la j -ésima fecha del k -ésimo paciente.

$AgHBc_{jk}$, $HBsAg_{jk}$ indica si el k -ésimo paciente en la j -ésima fecha es positivo (1) o negativo (0) a las pruebas serológicas para descartar de la Hepatitis B.

$edad_{jk}$, es la edad del k -ésimo paciente en la j -ésima fecha.

$CCD4_{jk}$ y $CCD8_{jk}$, son el conteo de células CD4 y CD8 (células/mm³) del k -ésimo paciente en la j -ésima fecha.

$(F * AgHBc)_{jk}$, $(F * HBsAg)_{jk}$, es el efecto de la interacción fecha con las pruebas serológicas para el descartar de VHB del k -ésimo paciente en la j -ésima fecha.

$(F * CCD4)_{jk}$, $(F * CCD8)_{jk}$, es el efecto de la interacción fecha y CCD4 y CCD8 del k -ésimo paciente en la j -ésima fecha.

ϵ_{jk} , es el termino asociado al error del k -ésimo paciente en la j -ésima fecha, donde, $\epsilon_{jk} \sim N(0, R\sigma^2)$, con R , la matriz de covarianza a determinar.

La estimación de los parámetros se realizó con el método de máxima verosimilitud, considerando las estructuras de varianza-covarianza: no estructurada (UN), componentes de varianza (CV), simetría compuesta (CS), autorregresiva

de primer orden (AR(1)), autorregresiva de media móvil ARMA (1,1) y TOEPLITZ.

Para seleccionar cuál estructura de varianza covarianza ajustó mejor los datos, se utilizaron el Criterio de información de Akaike (AIC), el Criterio de información (BIC) y el Criterio de información de Akaike corregido (AICC) y el -2 Log de la verosimilitud (-2 Llog V), los cuales penalizan la complejidad, entre menor es el valor, el modelo es más parsimonioso.

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10}CP_{jk} = & (\beta_0 + a_k) + (\beta_1 + b_k)EI_k + \beta_2ZR_k + \beta_3G_k + \beta_4F_{jk} + \beta_5E_{jk} + \beta_6AgHBc_{jk} \\ & + \beta_7HBsAg_{jk} + \beta_8CCD8_{jk} + \beta_9CCD4_{jk} + \beta_{10}(F * AgHBc)_{jk} \\ (1) \quad & + \beta_{11}(F * HBsAg) + \beta_{12}(F * CCD4)_{jk} + \beta_{13}(F * CCD8)_{jk} + \epsilon_{jk} \end{aligned}$$

RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestran los estadísticos de bondad de ajuste para el modelo, donde el mejor ajuste fue con matriz UN. En la Tabla 3 se muestran las estimaciones del modelo ajustado con la matriz UN, donde no resultaron significativas para $p < 0,05$ las variables: género, HBsAg, AgHBc y las interacciones $F*HBsAg$ y $CCD8$; y resultaron significativas las variables: ZR, EI, fecha, edad, CCD4, CCD8, y las interacciones $F*AgHBc$ y $F*CCD4$.

Además, la covariable demográficas edad, presentó un estimador negativo, lo que implica que a menor edad existe mayor $\text{Log}_{10}CV$; y la ZR presenta un estimador positivo, es decir, para aquellos que viven en zonas rurales, el $\text{Log}_{10}CV$ es menor.

Por otra parte, las covariables asociadas al sistema inmunológico, EI, CCD4 y CCD8 resultaron significativas para explicar la variabilidad del $\text{Log}_{10}CV$, así como la fecha; los estimadores indican que entre más alto sean el EI del CCD4 y el CCD8, más elevado será el $\text{Log}_{10}CV$; al contrario ocurre con el CCD4 que

cuando disminuye aumenta el $\text{Log}_{10}CV$. Por el contrario, las covariables asociadas a la coinfección pasada o resuelta con VHB no resultaron significativas; pero sí la interacción con el tiempo ($F*AgHBc$), con un estimador negativo para el grupo que no presenta evidencia serológica de haber padecido Hepatitis B, lo que indica para este grupo, que en el tiempo, el valor del $\text{Log}_{10}CV$ es menor.

De igual forma, la interacción $F*CCD4$ fue significativa con una estimación negativa, indicando que en el tiempo a medida que aumenta el CCD4 disminuye el $\text{Log}_{10}CV$. Por otra parte, los valores de varianza para (1) indican que $\sigma_a^2 = 0,25$, $\sigma_b^2 = 0,019$, $\sigma_{ab}^2 = 0,0044$ y $\sigma^2 = 0,81$; para $p < 0,05$ la prueba de Wald indicó que todas son significativamente distintas de cero.

Por lo tanto, estos resultados muestran que la variación del $\text{Log}_{10}CV$ es de 0,2588 Log_{10} copias/ml y que los interceptos y pendientes son distintos en función de los pacientes y los efectos aleatorios de a_k y b_k no pueden considerarse independientes.

Tabla 2. Estadísticos de bondad de ajuste para la selección del modelo.

Estructura de varianza-covarianza	Estadísticos de bondad de ajuste			
	-2 Log V	AIC	AICC	BIC
No estructurada	3524,2	3554,2	3554,6	3595,4
Simetría compuesta	3569,4	3569,7	3605,1	3630,6
AR(1)	3577,2	3577,2	3608,4	3656,2
ARMA(1,1)	3577,2	3577,2	3608,4	3656,2
TOEPLITZ	3569,4	3569,7	3605,1	3630,6
Componentes de varianza	3569,4	3569,7	3605,1	3630,6

DISCUSIÓN

En la cohorte analizada el mayor porcentaje de personas infectadas fueron hombres en una relación de 2,38 hombres por cada mujer infectada. Esta tendencia está reportada en Venezuela y el mundo desde la aparición del virus; sin embargo, la causa de este comportamiento se ha estudiado con respecto a los grupos de prevalencia y la conducta asociada a los estigmas sobre el VIH, donde el mayor grupo de riesgo es el de hombres que tienen sexo con hombres (Gamarel *et al.*, 2018).

Según algunas proyecciones entre 1997 y el 2002 este grupo representaba el 25 % de la población con VIH en Venezuela; según la ONU (2010) este grupo representaba el 20,3 % en América Latina (García, 2004; República Bolivariana de Venezuela, 2009). Por otra parte, la prevalencia de Hepatitis B en la cohorte fue del 23,43 % con evidencia serológica de haber padecido la infección y 1,73 % con serología de padecer Hepatitis B crónica, con mayor incidencia en pacientes que residen en zonas rurales y en una relación de 12.5 hombres por mujer.

Debe señalarse, que en diferentes reportes, Venezuela es considerado un país con nivel de prevalencia intermedia (5-5 %), para Hepatitis B en zonas urbanas; con focos de alta endemicidad (> 8 %) en áreas rurales (Goncalves *et al.*, 2006; Machado *et al.*, 2010; ONUSIDA, 2014; Blanco *et al.*, 2018).

Por otro lado, la edad promedio de los pacientes en este estudio fue de 40 ± 10,13 años; información similar ha sido reportada con

poblaciones específicas de pacientes seropositivos en Venezuela, lo que implica que los pacientes se encuentran en un rango de edad fértil y de masa laboral activa.

Además, el registro de información de la cohorte conforma un conjunto de datos no balanceado, ya que en 91 pacientes existen datos faltantes en al menos una fecha de registro de CCD4 y CCD8. Este comportamiento ha sido documentado ampliamente a nivel mundial, donde el grado de incertidumbre dificulta la evaluación de los pacientes y efectividad del tratamiento.

Los modelos mixtos presentan la ventaja al considerar estos datos faltantes aleatorios y obtener estimaciones adecuadas por máxima verosimilitud, en contraste con otras técnicas que los ignoran proporcionando estimaciones deficientes o sesgadas (Rubín, 1976; Olaya & Díaz, 2006; Jarrín *et al.*, 2010; Huiting *et al.*, 2018).

Con respecto a la covariable edad, esta presentó un estimador negativo, lo que implica que a menor edad existe un aumento de la carga viral, comportamiento que puede ser explicado por la medicación, siendo un indicio de la efectividad del tratamiento, dado que su objetivo es evitar la replicación del virus.

Otro indicio de la efectividad del tratamiento, es que 20 pacientes, (17,39 % de la cohorte) presentaba inmunodepresión severa al momento de su imputación; 18 de ellos permanecieron 7 años en seguimiento y 8 de ellos presentaban en su último control carga viral < 20 copias/ml y un

aumento con respecto al primer control del CCD4 mayor a 400 células/mm³.

En lo concerniente a la covariable ZR, esta presentó un estimador negativo, para el grupo que vive en zonas rurales, es decir presentan menor Log10CV, a pesar de que en el estado Mérida las zonas rurales, en su mayoría, están caracterizadas por alta montaña y el centro de atención que aloja al programa SIDA/ETS se encuentra en la mayor zona urbana en la capital del estado, implicando para los pacientes mayor costo y tiempo.

Otros estudios, también, han encontrado una disminución en los biomarcadores en zonas rurales discutiendo las posibilidades de la descentralización de los recursos de atención (Monge *et al.*, 2012).

De igual forma, la covariable EI indica que entre más alto sea el CCD4 inicial del paciente aumenta el Log10CV. Algunas razones que pueden relacionarse con este comportamiento son: 85 pacientes presentaron en su primer control CCD4 > 200 células/mm³, pero sólo 6 pacientes de este grupo no presentan fallas en su control, comportamiento que es frecuente en pacientes en seguimiento por la infección del VIH. Se ha documentado que personas que presentan una conducta intermitente en el tratamiento y seguimiento de su evaluación clínica tiene mayores dificultades en la restauración del CCD4 (Moir *et al.*, 2008; Mosha *et al.*, 2013).

En cuanto a las covariables CCD4 y CCD8, estas describen el comportamiento inmunológico del paciente y sus estimaciones muestran que a medida que disminuyen el CCD4 aumenta el Log10CV, comportamiento inverso presentan los CCD8. Diferentes autores han discutido la relación entre las células T CD4+ y T CD8+ ante el aumento de las copias del ARN del VIH y las causas aún no están esclarecidas completamente; se conoce que el aumento de la CV produce un agotamiento de las T CD4+ y estimula la proliferación de las T CD8+, procesos que se acentúan en tiempo de aquí la significancia de la interacción fecha *CCD4 (Lima *et al.*, 2009).

La VIH/VHB activa o crónica no resultaron ser covariables significativas, pero sí la interacción con el tiempo (fecha*AgHBc); es decir, bajo el criterio de que todos los pacientes están bajo esquema de medicación, la coinfección no impide la supresión de la replicación viral del VIH, pero sí al transcurrir del tiempo este proceso se ve en mayor porcentaje en pacientes no coinfectados; otros estudios retrospectivos y de análisis de regresión multivariantes con cohortes de pacientes bajo esquema de medicación y sin medicación arrojaron el mismo resultado (Ockenga *et al.*, 1997; Goncalves *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

Los datos estudiados en esta investigación exponen el hecho de que la dinámica de la evolución del VIH es multifactorial, pero las variables que explicaron mejor el comportamiento virológico de la infección bajo esquema de medicación fueron los marcadores inmunológicos CCD4 y CCD8 y que la coinfección con Hepatitis B influye en su variación bajo el efecto del tiempo.

Este trabajo también pone de manifestó, la contribución de los modelos paramétricos en la extracción de información con los datos disponibles (a pesar de la heterogeneidad y los datos faltantes), aspectos que han sido discutidos en otras investigaciones sin embargo, debe considerarse que los modelos mixtos manejan los datos faltantes bajo el supuesto de que faltan al azar (MAR, Missing at Random), método que ha demostrado generar poco sesgo en las estimaciones; aunque los mecanismos de datos faltantes en estudios de cohortes con pacientes VIH positivos son un área activa de estudio (Timaure *et al.*, 2017).

REFERENCIAS

Albaladejo A. (2018). Contraceptive shortages mean Venezuela's people face a sexual health emergency. *BMJ, British Medical Journal*. Tomo 360:1-3.

- Araujo A., Guerra M., Tovar V. (2009). Prevalencia de infecciones de transmisión sexual en personas VIH/SIDA que solicitaron asistencia en el Centro de Atención a personas con enfermedades infecciosas. 2000-2005. *Acta Odont. Venez.* 47(2):1-20.
- Arbune M., C. (2013). Characteristics of Hepatitis B and Disease Evolution in HIV-Positive Paediatric Patients in Romania. *Balkan Med J.* 30(3):263-267.
- Arnau-Gras A. (2007). Estudios longitudinales de medidas repetidas. Modelos de diseño y análisis. *Avances en Medicina.* 5:9-26.
- Blanco R., Loureiro C., Villalba J., Sulbara Y., Maes M., De Waar J., Rangel H., Jaspe R.
- Pujol F. (2018). Decreasing of Hepatitis B and absence of Hepatitis C Virus infection in The Warao indigenous population of Venezuela. *PLoS ONE.* 13(5):e0197662.
- Bosh K., Coyle J., Hansen V., Kim E. (2018). HIV and viral hepatitis coinfection analysis using surveillance data from 15 US states and two cities. *Journal Epidemiology & Infection.* 146(7): 920-930.
- Chun H., Roediger M., Hullsiek K., Thio C., Agan B., Bradley W., Peel S., Jagodzinski L., Weintrob A., Ganesan A., Wortmann G., Crum-Cianone N., Maguire J., Landrum M. (2012). Hepatitis B virus negatively impacts HIV outcomes in HIV seroconverters. *J Infect Dis.* 205(2):185-93.
- D'Souza R., Foster G. (2004). Diagnosis and treatment of chronic hepatitis B. *J R Soc Med.* 97(7): 318-321.
- Eskild A., Magnus P., Petersen G., Sohlberg C., F., Kittelsen P., K. (1992). Hepatitis B antibodies in HIV-infected homosexual men are associated with more rapid progression to AIDS. *AIDS* 6(6):571-4.
- Ferreira M., Rangel A., Sánchez B., Muñoz JF. (1992). Perinatal prevalence of B hepatitis markers. *Arch Med Res.* 23(3):135-138.
- Gamarel K., Nelson K., Stephenson R., Santiago O., Chiaramonte D., Miller R. (2018). HIV Stigma and Delays in Regular HIV Testing Behaviors Among Sexually Active Young Gay, Bisexual, and Other Men Who Have Sex with Men and Transgender Women. *AIDS and Behavior.* 22(2):522-530.
- Gilks C., S., Ekpini R., Gove S., Perriens J., Souteyrand Y., Sutherland D., Vitoria M., Guerma T., De Cock K. (2006). The WHO public health approach to antiretroviral treatment against HIV in resource limited settings. *Lancet.* 368:505-10.
- Goncalves L., Barboza L., Albarrán B., Salmen S., Montes H., Hernández M., Berrueta L. (2006). Patrón de activación de linfocitos T en ausencia de respuesta protectora contra el virus de la Hepatitis B. *Revisión. Invest. Clín.* 47(S1):83-96.
- Hahn J., Cheng D., Emenyonu N., Lloyd C., Fatch R., Shade S., Ngabirano C., Adong J., Bryant K., Muyindike W., Samet J. (2018). Alcohol Use and HIV Disease Progression in an Antiretroviral Naive Cohort. *JAIDS Journal Acquired Immune Syndromes.* 77(5): 492-501.
- Harel O., Pellowski J., Kalichman S. (2012). Are missing importance of missing values in HIV prevention Randomized clinical trials? Review and Recommendations. *AIDS Behav.* 16(6):1382-1393.
- Hoffman C., Charalambous S., Martin D. Innes C., Churchyard G., Chaisson R., Grant A., Fielding K., Thio C. (2008). Hepatitis B virus infection and response to antiretroviral therapy (ART) in a South African ART Program. *Clin Infect Dis* 47:1479-85.
- Huff H., Merchant AT., Lonn E., Pullenayegum E., Smaill F., Smieja M. (2018). Vitamin D and progression of carotid intima-media thickness in VIH-positive Canadians. *Medicine.* 19(2):143-151.
- Huiling M., Villalobos C., St-Jean M., Eyawo O., Laverne M., Ti L., Hull M., Yip B., Wu L., Hogg R., Barrios R., Shoveller J., Montaner J., Lima V. (2018). The impact of HCV co-infection status on healthcare utilization among living with HIV in British Columbia, Canada: a cohort study. *BMC Health Services Research.* 18:319.
- Jarrín I., Geskus R., Pérez S., Del Amo, J. (2010). Principales métodos de análisis en estudios de cohortes de sujetos diagnosticados de infección por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). *Enferm Micro. Clin.* 28(05): 298-303.

- Kaslow R., Dorak T., Tang J. (2005). Influence of host genetic variation on susceptibility to HIV type 1 infection. *J Infect Dis.* 191(suppl 1): 68-77.
- Konopnicki D., Mocroft A., De Wit S., Antunes F., Ledergerber B., Katlama C., Zilmer K., Vella S., Kirk O., Lundgren JD., EuroSIDA Group. (2005). Hepatitis B and HIV: prevalence, AIDS progression, response to highly active antiretroviral and mortality in the EuroSIDA cohort. *AIDS.* 19(6): 593-601.
- Kouam_e G., Boyd A., Moh R., Badje A., Gabillard D., Ouattara E., Ntakpe J., Emieme A., Maylin S., Chekaraou M., Eholi_e S., Zoulim F., Lacombe K., Anglaret X., Danel C. (2018).
- Higher Mortality Despite Early Antiretroviral Therapy in Human Immunodeficiency Virus and Hepatitis B Virus (HBV) Coinfected Patients With HBV Replication. *Clinical Infectious Diseases*, 66(1):112-120
- León M. (2008). Confección de hepatitis B e infección por VIH. *Acta méd. Costarric.* 50(supl.3):50-53.
- Lima V., Fink V., Yip B., Hogg R., Harrigan P., Montaner J. (2009). Association Between HIV-1 RNA Level and CD4 Cell Count Among Untreated HIV-Infected Individuals. *Am J Public Health.* 99(S1):193-196.
- Machado I., Fortes M., Vargas B., Trómpiz A., López D., León R., Senior M., Dagher L., López C., Pestana E., Bacalao R., Garassini M. (2010). F in Venezuelan patients with hepatitis B. *Annals of Hepatology.* 9(2):172-176.
- Mellors J., Muñoz A., Giorgi J., Margolick J., Tassoni C., Gupta P., Kingsley L., Todd J., Saah A., Detels R., Phair J., Rinaldo C. (1997). Plasma viral load and CD4+ lymphocytes as prognostic markers of HIV-1 infection. *Ann Intern Med.* 126:946-954.
- Moir S., Malaspina M., Ho J., Wang W., DiPoto A., O'Shea M., Roby G., Mican J., Kottlil S., Chun C., Proschan M., Fauci S. (2008). Normalization of B Cell Counts and Subpopulations after Antiretroviral Therapy in Chronic HIV Disease. *J Infect Dis.* 197(4): 572-579.
- Molenberghs G., Kenward M. (2007). Missing Data in Clinical Studies. Wiley & Sons L.
- Monge S., Del Romero J., Rodríguez C., De Mendoza C., De Górgolas M., Cosín J., Dronda F., Pérez E., Peña J., Santos I., Rubio R., Del Amo, J. (2012). Factores sociodemográficos asociados a la progresión de la infección por VIH e impacto del TARGA en una cohorte de pacientes seroconvertidores en Madrid (1986-2009). *Enferm Infecc Microbiol Clin.* 30(3): 117-123.
- Mosha F., Muchunguzi V., Matee M., Sangeda R., Vercauteren J., Nsubuga P., Lyamuya E., Vandamme A. (2013). Gender differences in HIV disease progression and treatment outcomes among HIV patients one year after starting antiretroviral treatment (ART) in Dares, Tanzania. *BMC Public Health.* 13:38-42.
- Nikolopoulos G., Paraskevis D., Hatzitheodorou E., Moschidis Z., Sypsa V., Zavitsanos X., Kalapothaki V., Hatzakis A. (2009). Impact of hepatitis B virus on the progression of AIDS and mortality in HIV infected individuals: a cohort study and metaanalysis. *Clin Infect Dis.* 48(12):1763-71.
- Ockenga J., Tillmann HL., Trautwein C., Stoll M., Manns M., Schmidt R. (1997). Hepatitis B and C in HIV-infected patients. Prevalence and prognostic value. *J Hepatol.* 27:18-24.
- Olaya P., Díaz C. (2006). Correlación y concordancia de tres técnicas de cuantificación de carga viral del VIH disponibles en Colombia. *Biomédica.* 26(2): 302-308.
- Oliveira S., Merchán-Hamann E., Amorim LD. (2014). HIV/AIDS coinfection with the hepatitis B and C viruses in Brazil. *Cad. Saúde Pública.* 30(2):433-438.
- Organización Mundial de la Salud. (2017a). Hepatitis B. Disponible en: [http://www.who.int/Organizaci_on Mundial de la Salud.\(2017b\).](http://www.who.int/Organizaci_on_Mundial_de_la_Salud.(2017b).) VIH/SIDA. Disponible en: <http://www.who.int/hiv/es/>
- ONU. (2010). Datos fundamentales sobre la epidemia de VIH y los progresos realizados en las regiones y los países en 2010. Disponible en: <http://www.who.int/hiv/>
- ONUSIDA. (2014) Epidemia de VIH/SIDA en América Latina. Disponible en: <http://onusidalatina.org/>.

Red de Sociedades Científicas Médicas Venezolanas (2012). Alerta Epidemiológica Disponible en: <http://www.rscmv.org.ve>. No. 241.

ONUSIDA. (2018). HIV, Country Venezuela. Disponible en: <http://www.who.int/>. República Bolivariana de Venezuela. (2008).

Guía para el manejo del tratamiento antirretroviral de las personas que viven con

el VIH/SIDA en Venezuela (2009). 3ªed. República Bolivariana de Venezuela.

Anuario Estadístico del Ministerio del Poder Popular para la Salud de la República Bolivariana de Venezuela. Indicadores de redes de servicios y programas para la salud. (2009). Disponible en: <http://www.mpps.gob.ve>

CIENCIAS EXACTAS

CIENCIAS EXACTAS

PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE SUERO CONCENTRADO DE QUESO UTILIZANDO LA LEVADURA *Saccharomyces cerevisiae*ETHANOL PRODUCTION FROM CONCENTRATED CHEESE WHEY USING *Saccharomyces cerevisiae*

Autores:

Betancor, Rafael^{1,2}, Quintero, América¹, Trujillo, Antonio²¹Laboratorio de Fitoquímica, Decanato de Investigación, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela²Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, España

Corresponding Author: rbetancor@unet.edu.ve

RESUMEN

El suero de quesería, principal subproducto de la industria láctea, presenta alto potencial de contaminación verificado en términos de elevada demanda química y bioquímica de oxígeno. La obtención de etanol, a partir de lactosa presente en suero del queso, es una alternativa para su utilización y se puede promover por rutas químicas (hidratación catalítica del etileno) o biotecnológicas (fermentación). En este trabajo se evaluó la producción de etanol a partir de concentrado de lactosuero empleando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en cultivo por lote discontinuo. Se utilizaron sueros de quesos mozzarella y blanco fresco (Pasteurizadora Táchira, San Cristóbal, Venezuela), en una proporción de 85:15 (v/v) respectivamente, ideal para alcanzar condiciones óptimas de pH en el medio de fermentación. El lactosuero ultrafiltrado, hidrolizado y concentrado se caracterizó en términos de pH, azúcares reductores, cloruro de sodio y crioscopia; durante el proceso de fermentación, realizado durante 5 días, se tomaron muestras cada 24 horas evaluando etanol, azúcares reductores y pH. Los resultados revelan que los sueros se clasifican como dulces por su pH levemente ácido, el cual disminuyó luego de la concentración hasta valores óptimos para el crecimiento de la levadura; la hidrólisis de la lactosa fue adecuada (71 %); en la fermentación, los azúcares reductores disminuyeron (48 %), lo que indica que fueron utilizados como sustrato por la levadura para producción de biomasa, etanol y CO₂. La producción de etanol alcanzó su valor máximo a las 96 horas (56,38±0,30 g/L), la mayor productividad volumétrica (Q_p) (0,74±0,01 g/L h) y el mayor rendimiento de etanol (Y_{E/S}) (59,67±0,35 g_{etanol}/g_{lactosa}) se obtuvieron a las 48 horas. Las características físico-químicas del permeado cumplen los requerimientos como medio de fermentación para producción de etanol. Los valores de Y_{E/S} y Q_p son similares a los obtenidos por otros autores. Para concluir, existe una alta correlación de Pearson entre las variables estudiadas.

ABSTRACT

Cheese whey, the main by-product of the dairy industry, has a high verified contamination potential in terms of high chemical and biochemical oxygen demand. The obtaining of ethanol from lactose present in cheese whey is an alternative for its use, and it can be stimulated by chemical (catalytic hydration of ethylene) or biotechnological (fermentation) routes. This work evaluates the ethanol production from whey concentrate using the yeast *Saccharomyces cerevisiae* in culture by discontinuous batch. Serums from mozzarella and fresh white cheese (Pasteurizadora Táchira, San Cristóbal, Venezuela) were used, in an 85:15 (v/v) ratio respectively being ideal to achieve optimal pH conditions in the fermentation medium. The ultrafiltered, hydrolysed and concentrated whey was regarded in terms of pH, reducing sugars, sodium chloride and cryoscopy. Along the fermentation process, carried out for 5 days, samples were taken every 24 hours evaluating ethanol, reducing sugars and pH. The results indicated that whey are classified as sweet because of their slightly acidic pH which decreased after concentration until optimum values for the growth of the yeast; the hydrolysis of lactose was adequate (71%). During the fermentation process, reducing sugars decreased (48%), indicating that they were used as a substrate by the yeast for the production of biomass, ethanol and CO₂. Ethanol production reached its maximum value at 96 hours (56.38 ± 0.30 g / L), the highest volumetric productivity (Q_p) (0.74 ± 0.01 g / L h) and the highest yield of ethanol (Y_{E/S}) (59.67 ± 0.35 g_{etanol}/g_{lactose}) were obtained at 48 hours. The physical-chemical characteristics of the permeate meet the requirements as a means of fermentation for ethanol production. The values of Y_{E/S} and Q_p are similar to those obtained by other authors. Finally, there is a high Pearson correlation among the variables studied.

Palabras clave: Suero de quesería, producción de etanol, azúcares reductores.

Key words: Cheese whey, production of ethanol, reducing sugars

Recibido: 01/03/2018 Aprobado: 09/05/2018 Versión Final: 27/08/2018

INTRODUCCIÓN

El suero obtenido de la fabricación de quesos, principal subproducto de la industria láctea, presenta un alto potencial de contaminación verificado en términos de la elevada demanda bioquímica y química de oxígeno, cuyos valores se estiman entre 35-50 y 68-80 g/L, respectivamente (Carvalho *et al.*, 2013; Guimaraes *et al.*, 2010), la mayor parte de este subproducto es descargado a los cuerpos de agua y solo una pequeña fracción es usado por las industrias para producir compuestos con valor agregado (Hungaro *et al.*, 2013; Madureira *et al.*, 2013). Los sueros representan un enorme potencial para la industria láctea ya que en términos promedio contienen más de la mitad de los sólidos presentes en la leche, incluyendo cerca del 20 % de proteínas, la mayor parte de la lactosa, minerales (calcio, fósforo, sodio y magnesio) y vitaminas hidrosolubles (tiamina, ácido pantoténico, riboflavina, piridoxina, ácido nicotínico, cobalamina y ácido ascórbico) (Guerrero y Vera, 2010), lo que constituye una opción para su aprovechamiento, ya sea en la elaboración de otros productos alimenticios o la generación de fuentes de energía.

La composición nutricional del lactosuero puede variar dependiendo de las características de la leche utilizada, del tipo de queso producido y del proceso tecnológico empleado. Según estas particularidades, los sueros pueden clasificarse como: *dulce*, que se obtiene de la elaboración del queso mediante el uso de enzimas proteolíticas o cuajo que actúan sobre la caseína precipitándola a pH levemente ácido y bajo condiciones específicas de temperatura (15 a 50 °C) y *ácido* que se obtiene cuando se disminuye el pH de la leche (4,5 a 4,6) produciendo la precipitación de la caseína (Jovanovic *et al.*, 2005).

La producción de etanol a partir de la lactosa presente en el suero de la leche es una alternativa para su utilización industrial (Araujo *et al.* 2015; Christensen *et al.*, 2011) y se puede promover por rutas químicas (hidratación catalítica del etileno) o biotecnológicas (fermentación), con esta última se hace uso de la capacidad de los microorganismos para la obtención de etanol

sobre sustratos como la lactosa, xilosa y almidón. Las levaduras más utilizadas en el proceso de fermentación son del tipo *Candida pseudotropicalis*, *Escherichia coli*, *Kluyveromyces marxianus*, *K. fragilis*, *K. lactis*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis*. *Saccharomyces cerevisiae* es la más empleada en procesos industriales debido a que presenta una alta capacidad de fermentación, produce hasta 20 % (v/v) de etanol y crece rápidamente bajo condiciones anaeróbicas (Bai *et al.*, 2008); sin embargo, no fermenta la lactosa de manera directa ya que no produce la enzima β -galactosidasa que se encarga de la hidrólisis de la lactosa en glucosa y galactosa, que son los azúcares utilizados y fermentados eficientemente por *Saccharomyces cerevisiae* (Zou *et al.*, 2013). Diferentes metodologías han sido utilizadas para la obtención de etanol a partir del suero de leche, entre ellas, cultivos por lote alimentado con ciclos repetidos utilizando suero concentrado de leche (6 y 10 % m/v de lactosa) (Araujo *et al.*, 2015); fermentación de sueros desproteinizados con diferentes concentraciones de lactosa (5-15 % m/v) (Grba *et al.*, 2002); fermentación por lote discontinuo aplicado a una solución de suero de leche en polvo concentrado (15 % m/v) (Domínguez *et al.*, 2005). El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de etanol a partir de suero concentrado de queso utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en cultivo por lote discontinuo.

MÉTODO

Materia prima: Se utilizaron sueros de leche, proveniente de la producción de los quesos mozzarella y blanco fresco, proporcionados por la empresa Pasteurizadora Táchira, ubicada en San Cristóbal. Edo. Táchira, Venezuela.

Procesamiento de los sueros de leche: Con la finalidad de alcanzar las condiciones óptimas de pH en el medio de fermentación, se prepararon diferentes soluciones de suero, procedentes de la producción de los quesos mozzarella y blanco fresco, obteniéndose que la relación ideal es de 85:15 (v/v), respectivamente. Se prepararon entonces 40 L de solución de suero que corresponden a 34 L provenientes de la

producción de queso mozzarella y 6 L del queso fresco sometidos, posteriormente, a un proceso de ultrafiltración en un equipo marca GEA-NIRO (Wisconsin, EEUU), con membrana SD3838-0S03-S (PTI Advanced Filtration, Oxnard, CA, EEUU), a presión de 60 psi, logrando un permeado con una reducción de 67 % de las proteínas. Posteriormente, dicho permeado fue hidrolizado a 37 °C (valor óptimo para el inicio del proceso de hidrólisis) con la enzima β -galactosidasa, marca Lactozym® Pure 2600L (Novozyme, Jsvaerd, Dinamarca), en una proporción de 0,25 mL/L suero. Finalmente, se refrigeró para evitar la acidificación durante la hidrólisis, la cual se realizó durante 24 horas. Para evaluar el porcentaje de hidrólisis de la lactosa, se utilizó un Crioscopio marca Advanced (M-4250, Norwood, Estados Unidos), se determinó el punto crioscópico del permeado de suero ultrafiltrado antes de la adición de la enzima B-galactosidasa, crioscopía inicial (ci) y a las 24 horas, crioscopía final (cf). El porcentaje de hidrólisis se calculó utilizando la relación

$$\text{Hidrólisis (\%)} = 350,77 \times \text{cf} \frac{\text{ci}}{0,00285} \quad (1)$$

Fuente: Sanchez *et al* (2015).

El producto obtenido de la hidrólisis se concentró en un evaporador de cargas marca TMAI de 183 L (M-223, Bogotá, Colombia), a 93 °C hasta un porcentaje de sólidos totales y azúcares reductores óptimo para fermentación con levaduras, luego se filtró para separar la proteína precipitada por efecto de la temperatura, el concentrado obtenido se refrigeró a 4 °C hasta su uso como medio de fermentación.

Preparación del inóculo: 0,1 gramos de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* marca Levepan, fue diluida en 100 ml del permeado estéril, concentrado e hidrolizado, a una temperatura de hidratación de 25 °C (ambiente), con la finalidad de preparar una solución al 0,1 % (m/v).

Fermentación: Los ensayos fueron realizados por lote discontinuo cada 24 horas durante 120 horas (5 días), para lo cual se utilizaron 10

botellas de 200 mL de capacidad, esterilizadas en autoclave, procediendo al llenado de cada una de ellas con 200 mL de concentrado de permeado de suero inoculado con la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Las botellas fueron tapadas con una película plástica de polietileno de baja densidad y se ajustó cada una con tapa plástica. Luego fueron llevadas a cámara de incubación a una temperatura promedio de 32 °C $\pm$ 1.

Análisis físico químicos: Los sueros utilizados en la preparación del sustrato inicial y el medio de fermentación fueron analizados utilizando métodos oficiales en Venezuela, publicados por la comisión venezolana de normas industriales (COVENIN), según las siguientes variables físico-químicas,: pH (COVENIN 1315-79), azúcares reductores (COVENIN 3219-96), cloruros (COVENIN 369-82) y punto crioscópico (COVENIN 940-82).

Producción de etanol: Diariamente se utilizaron 200 mL del producto fermentado para ser destilado en un montaje conformado por una manta de calentamiento, sobre la que se colocó un matraz de destilación de 200 mL, acoplado a una columna fraccionada tipo vigreux, acople de vidrio de 3 puntos, termómetro de columna de alcohol de 120 °C, columna de condensación y matraces de 50 mL para recoger la muestra de condensado. La cantidad de etanol presente en el destilado se determinó utilizando un cromatógrafo de gases marca Thermo Finnigan, provisto con detector fotométrico de llama (FID), la columna utilizada fue Rtx-WAX de 30 m de longitud y 0,25 mm de diámetro interno. La concentración de etanol en las muestras se determinó aplicando un método de estándar interno desarrollado para este análisis.

pH: Se determinó con un pH metro marca Hanna modelo HI-2221 de sobremesa: cuenta con un electrodo y un sensor de temperatura que permite medir valores de pH en un rango de -2 a 16, temperatura de -20 a 120 °C y conductividad de $\pm$ 699 a $\pm$ 2000 mV.

Cinética de fermentación: Se calculó el rendimiento obtenido con base en la cantidad de

etanol producido por azúcares reductores consumidos ($Y_{E/S}$) y la productividad volumétrica (Q_p), que indica la cantidad de etanol producida por hora, según las siguientes ecuaciones:

$$Y_{E/S} = (E_f - E_i) / (AR_f - AR_i) \quad (\text{g}_{\text{etanol}} / \text{g}_{\text{lactosa}}) \quad (2)$$

$$Q_p = (E_f - E_i) / h \quad (\text{g} / \text{L h}) \quad (3)$$

Donde:

E_f : concentración final de etanol (g/L)

E_i : concentración inicial de etanol (g/L),

AR_f : concentración final azúcares reductores (g/L)

AR_i : concentración inicial azúcares reductores (g/L)

h: hora

Análisis estadístico:

Todos los estudios fueron realizados por duplicado y se utilizó el programa estadístico SPSS 13.0 de IBM, análisis de varianza y descriptivo. Así mismo se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson con la finalidad de medir el grado de relación de las variables analizadas.

RESULTADOS

Análisis fisicoquímicos en las etapas de elaboración del medio de fermentación.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos obtenidos en las diferentes etapas de elaboración del medio de fermentación se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos durante las etapas de elaboración del medio de fermentación

Análisis	SQB	SQM	MS	PU	PUH	PUHC
pH	6,30	5,8	5,8	5,8	5,8	4,80
Azúcares reductores totales (% m/v)	3,66	3,3	3,55	2,55	2,55	19,09
NaCl (g/L)	4,98	4,50	4,50	16,40	16,20	16,89
Crioscopía inicial (m°H)	0,00	0,00	0,00	-0,272	0,00	0,00
Crioscopía final (m°H)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,475	0,00
Hidrólisis de lactosa (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	71,18	0,00

SQB: Suero de queso blanco, SQM: suero de queso mozzarella, MS: mezcla sueros de queso blanco y mozzarella, PU: permeado ultrafiltrado, PUH: permeado ultrafiltrado hidrolizado, PUHC: permeado ultrafiltrado hidrolizado concentrado

Análisis químicos y cinéticos en la etapa de fermentación

En la Tabla 2 se muestran los resultados de los análisis químicos y cinéticos realizados cada 24 horas durante el proceso de fermentación:

Tabla 2. Resultados de análisis químicos y cinéticos durante la fermentación.

Análisis	Fermentación (horas)				
	0	24	48	72	96
Etanol (g /L)	0,00±0,00	14,2±0,42	35,45±0,44	46,07±0,27	59,67±0,35
Azúcares reductores % (m/v)	19,09±0,42	16,33±0,13	13,05±0,35	8,46±0,00	8,46±0,00
Q_p (g/ L h)	0,00±0,00	0,59±0,02	0,74±0,01	0,64±0,01	0,62±0,01
$Y_{E/S}$	0,00±0,00	0,46±0,01	0,56±0,05	0,42±0,00	0,54±0,00
pH	4,80±0,00	4,61±0,01	4,52±0,01	4,53±0,01	4,42±0,01

En la Tabla 3 se presenta el coeficiente de correlación de Pearson entre cada una de las variables medidas.

Tabla 3. Correlaciones de Pearson

	Hora	Etanol (g/L)	Azúcares reductores (g/L)	$Y_{E/S}$ (g etanol /g lactosa)	Q_p (g /L h)	pH
Hora	1	,962(**)	-0,975(**)	0,580(*)	0,475	-0,944(**)
Etanol (g/L)	0,962(**)	1	-0,970(**)	0,696(*)	0,622(*)	-0,950(**)
Azúcares reductores (g/L)	-0,975(**)	-0,970(**)	1	-0,592(*)	-0,540	0,919(**)
$Y_{E/S}$	0,580(*)	0,696(*)	-0,592(*)	1	0,965(**)	-0,799(**)
Q_p	0,475	0,622(*)	-0,540	0,965(**)	1	-0,701(*)
pH	-0,944(**)	-0,950(**)	0,919(**)	-0,799(**)	-0,701(*)	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral) *La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral)

DISCUSIÓN

Los análisis físico-químicos en la etapa de elaboración del medio de fermentación, cuyos resultados se indican en la Tabla 1, reflejan que los sueros de los quesos blanco y mozzarella se clasifican en la categoría de suero dulce, ya que fueron obtenidos a partir de coagulación enzimática y presentan pH levemente ácido, estos valores coinciden con los reportados por Koushki *et al* (2012) quienes clasificaron los sueros dulces como los obtenidos por coagulación enzimática con pH entre 5,1 a 6,6. Durante el proceso de mezcla, ultrafiltración e hidrólisis, el pH se mantuvo constante (5,8) e igual al del suero de queso mozzarella que es el que se encuentra en mayor proporción. En la etapa de concentración por evaporación el pH disminuyó hasta 4,7 debido al incremento de los sólidos totales, correspondiendo a un valor que se encuentra dentro de rango óptimo de crecimiento de la levadura (4,5 a 5,0) (Ariyanti y Hadiyanto, 2013; Colognesi *et al*, 2015); los resultados de pH durante las etapas de elaboración del medio de fermentación presentan la misma tendencia que los descritos por Araujo *et al* (2015). Con respecto a los azúcares reductores destaca un incremento significativo durante el proceso de concentración, lo que permitió obtener mayor cantidad de etanol en la fermentación, haciendo económicamente rentable el proceso de destilación. El cloruro de sodio en la etapa de concentración por evaporación presenta un resultado de 16,89 g/L, que corresponde a 0,298 moles/L; valores

superiores a 0,3 moles/L de NaCl afectan las reacciones metabólicas de las levaduras, ya que perturban el balance hidrofóbico-electrostático, influyendo negativamente en el funcionamiento proteínico (Wadskog y Alder, 2003), siendo el ion Na^+ más tóxico que el ion Cl^- , aun cuando se encuentren en bajas concentraciones, por lo cual la respuesta se centra en mantener una homeostasis adecuada del ion Na^+ . En cuanto al porcentaje de hidrólisis de lactosa, obtenido a partir de la crioscopia final e inicial (ecuación 1), indica que un 28,82 % de la lactosa no fue hidrolizada por la enzima β -galactosidasa.

Los resultados de los análisis químicos y cinéticos durante la fermentación mostrados en la Tabla 2, señalan que la mayor producción de etanol fue de $59,67 \pm 0,35$ g/L a las 96 horas de fermentación, valor superior al obtenido por Guimaraes *et al* (2010) que trabajó con suero concentrado en polvo con 15,00 % (p/v) de lactosa, utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Durante la fermentación, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* consumió el 67,84 % de los azúcares reductores presentes en el medio, al disminuir de 19,09 g/L al inicio a 6,14 g/L a las 120 horas de fermentación. La mayor productividad de etanol (determinado según la ecuación 3) fue de 0,74 g/L a las 48 horas de fermentación, resultado que es similar al obtenido por Dragone *et al* (2008) quien trabajó con sueros en polvo de quesería a diferentes concentraciones de lactosa; cabe destacar que el resultado de etanol en esta investigación es superior al obtenido por Guimaraes *et al* (2010).

Así mismo, los resultados obtenidos por Diniz *et al* (2014) con permeados de suero de queso fermentados por batch sin agitación y por Colognesi *et al* (2015) con soluciones de suero de queso en polvo con 15 % de lactosa en semi-batch, muestran que la productividad de etanol fue mayor que los alcanzados en el presente trabajo. Con respecto al rendimiento de etanol ($Y_{E/S}$) en esta investigación (determinado según la ecuación 2), es más alto que los reportados por Dragone *et al* (2014) y Araujo *et al* (2015) quienes evaluaron la producción de etanol a partir de *Kluyveromyces marxianus* y *fragilis* usando lactosuero como sustrato previamente desproteinizado. Durante la fermentación se obtuvieron valores de pH similares a los reportados por Koudhki *et al* (2012) y Araujo *et al* (2015). Valores de pH entre 4,7 y 5,7 favorecen el desarrollo de levaduras (Diniz *et al* 2014).

Respecto a los coeficientes de correlación de Pearson, mostrados en la Tabla 3, los resultados demuestran que existe una alta correlación entre cada una de las variables medidas y, principalmente, entre el etanol y los azúcares reductores; así mismo, para el tiempo de fermentación (hora) también se observa alta correlación con el etanol y los azúcares reductores.

CONCLUSIONES

Las características físico-químicas del permeado hidrolizado, ultrafiltrado y concentrado, obtenido de la mezcla de sueros de quesos blanco y mozzarella, cumplen con los requerimientos necesarios para ser utilizado como medio de fermentación en la producción de etanol.

El proceso aplicado, utilizando como medio de fermentación el suero concentrado de quesos blanco y mozzarella y la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en cultivo por lote en discontinuo, dio como resultado la obtención de etanol, cuya mayor concentración se obtuvo a las 96 horas, con valores superiores a los reportados en otros estudios en los que también se utilizó la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

El bioproceso con suero concentrado mostró valores de rendimiento y productividad volumétrica similares a los obtenidos por otros autores que han trabajado con suero de quesería y lactosa como sustrato en pruebas de fermentación, utilizando levaduras productoras de etanol.

Existe una alta correlación entre cada una de las variables estudiadas, especialmente entre la producción de etanol y el consumo de azúcares reductores.

REFERENCIAS

- Araujo, K., Romero, A., Chirinos, P., Paéz, G., Mármol, Z., Rincón, M. (2015). Producción de etanol a partir de suero de leche en cultivo por lote alimentado con ciclos repetidos. *Interciencia*. 40(5):305-310.
- Ariyanti, D., Hadiyanto, H. (2013). Ethanol production from whey by *kluyveromyces marxianus* in batch fermentation System. Kinetics parameters estimation. *Bulletin of chemical reaction engineering & catalysis*. 7(30):179-194.
- Bai, F. (2007). Process oscillations in continuous ethanol fermentation with *Saccharomyces cerevisiae*. Tesis Doctoral. Universidad de Waterloo, Ontario, Canadá.
- Carvalho, F., Prazeres, A.R., Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater. Characterization and treatments. *Science of the Total Environment-Journal*. 445:385-396.
- Christensen, A., Kádár, Z., Oleskowicz-Popiel, P., Thomsen, M. (2011). Production of bioethanol from organic whey using *Kluyveromyces marxianus*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 28:151-177
- Colognesi, G., Dos Santos, L., Gómez, C. (2015). Ethanol production of *Saccharomyces fragilis* IZ 275 using cheese whey powder solution. *Agrociencia*. 49:291-298.
- COVENIN. (1979). Norma venezolana N° 1315-79. Determinación de pH. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Fondonorma. Caracas, Venezuela.
- COVENIN. (1996). Norma venezolana N° 3219-96. Determinación de azúcares reductores.

- Comisión Venezolana de Normas Industriales. Fondonorma. Caracas, Venezuela.
- COVENIN. (1982). Norma venezolana N° 369-82. Determinación de cloruros. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Fondonorma. Caracas, Venezuela.
- COVENIN. (1982). Norma venezolana N° 040-82. Punto crioscópico. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Fondonorma. Caracas, Venezuela.
- Diniz, R., Rodriguez, M., Fietto, L., Passos, F., Silveira, W. (2014). Optimizing and validating the production of ethanol from cheese whey permeate by *kluveromyces marxianus* UFV-3. Biocatalysis and agricultural Biotechnology, 3: 111-117.
- Domínguez, L., Lima, N., Teixeira, J. (2005). Alcohol production from cheese whey permeate using genetically modified flocculent yeast cells. Biotechnology Bioengineering. 72:507-514.
- Dragone, G., Mussatto, S., Almeida e Silva, J., Teixeira, J. (2011). Optimal fermentation conditions for maximizing the ethanol production by *Kluyveromyces fragilis* from cheese whey powder. Biomass and Bioenergy. 35:1977-1982.
- Guerrero, C., Vera C. (2010). Síntesis de Galactooligo-sacáridos con β -galactosidasa de *Aspergillus oryzae*. Tesis Doctoral. Departamento de Biocatálisis, Escuela de Ingeniería Bioquímica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Guimaraes, M.R., Texeira, J.A., Domingues, L. (2010). Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorization of cheese whey. Biotechnology Advances. 28:75-384
- Grba, S., Tomas, V.S., Stanzer, D., Vahcic, N., Skrlin, A. (2002). Selection of yeast strain *Kluyveromyces marxianus* for alcohol and biomass production on whey. Chemical and biochemical engineering and quarterly. 16:13-16.
- Hungaro, H. M., Calil, N. O., Ferreira, A., Chandel, A., Silva, S. (2013). Fermentative production of ribonucleotides from whey by *Kluyveromyces marxianus*: Effect of temperature and pH. Journal food science technology. 50: 958-964.
- Jovanovic, S., Barac, M., Macej, J. (2005). Whey proteins – properties and possibilities of application. Mljekarstvo. 55 (3): 215-233.
- Koushki, M., Jafari, M., Azizi, M. (2012). Compararison of ethanol production from cheese whey permeate by two yeasts strains. Jorunal of Food Sciences and Technology. 49(5): 614 -619.
- Madureira, A., Soares, J., Amorim, M., Tavares, T., Gomes, A., Pintado, M., Malcata, F. (2013). Bioactivity of probiotic whey cheese: Characterization of the content of peptides and organic acids. Journal of the science of food and agriculture. 93:1458-1465.
- Sánchez, J., Rosales, M., Bustamante, F. (2015). Modelo de hidrólisis de lactosa para fermentación láctica en una base prebiótica y simbiótica. Revista Tecnológica ESPOL. 28(3):53-68
- Tavares, T., Gomez, A., Pintado, M., Malcata, F. (2013). Bioactivity of probiotic whey cheese: Characterization of the content of peptides and organic acids. Journal of the science of food and agriculture. 93:1458-1465.
- Wadskog, I., Adler, L. (2003). Ion homeostasis in *Saccharomyces cerevisiae* under NaCl stress. Topics in Current Genetics. 1:201-440.
- Zou, J., Guo, X., Shen, T., Dong, J., Zhang, C., Xiao, D. (2013). Construction of lactose-consuming *Saccharomyces cerevisiae* for lactose fermentation into ethanol fuel. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 40:353-363.

CIENCIAS EXACTAS

EFECTO DEL FENOL ÁCIDO Y BÁSICO EN LA PURIFICACIÓN DE PROTEÍNAS APOLARES DEL SUELO

ACID AND BASIC PHENOL EFFECT ON THE ISOLATION OF NONPOLAR SOIL PROTEINS

Autores:

Abreu, Érika; Almarza, Jorge; Ruiz, Claudia; Camargo, Danny; Linares, Clemente; Camargo, Daniela

Laboratorio de Investigación en Biotecnología y Química de Polímeros. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela

Corresponding Author: claudia.ruiz@unet.edu.ve

RESUMEN

El suelo desempeña un papel fundamental en la producción alimentaria por ser la base de la agricultura y el medio en que crecen las plantas. Este recurso está constituido por microorganismos que contribuyen a la formación de materia orgánica e incrementan la estabilidad de los agregados, factor que determina la calidad del suelo y beneficia la productividad agrícola. Las proteínas del suelo, conocidas como glomalinas o GRSP (*Glomalin-related soil proteins*), son secretadas por hongos micorrícicos arbusculares “glomerales” y posiblemente por otros microorganismos, y actúan como agentes cementantes de los agregados. Debido a su función, se ha estudiado su potencial como bioindicadores de fertilidad del suelo, para lo cual se han propuesto diferentes sistemas de purificación basados en el uso de soluciones buffer, NaOH y solventes orgánicos como el fenol. En este trabajo se comparó el efecto del fenol ácido (pH 4) y básico (pH 8) para purificar proteínas apolares de seis suelos ubicados en las unidades académicas “La Tuquerena” y “La Primavera”, pertenecientes a la Universidad Nacional Experimental del Táchira (Venezuela). Las proteínas se cuantificaron con el método de Bradford y se visualizaron mediante geles de poliacrilamida (SDS-PAGE). En las extracciones con los solventes en los niveles de pH evaluados, se purificaron cantidades importantes de proteínas apolares reactivas al Bradford y se evidenció la importancia de un segundo ciclo de extracción para obtener una concentración de proteínas mayor que con solo el primer ciclo. Por otra parte, no hubo diferencias notorias entre los tratamientos al comparar las concentraciones totales obtenidas de las muestras de suelo. Se sugiere realizar dos ciclos de extracción con fenol ácido para el proceso de extracción de proteínas, por tener mayor estabilidad en el tiempo. Adicionalmente, experimentos complementarios de purificación mediante el sistema NaOH/H₂O evidenciaron la existencia de grupos proteicos con distintas polaridades.

ABSTRACT

Soil plays a key role in food production because it is the base of agriculture and the space where plants grow. This resource is formed by microorganisms that take part in the organic soil formation and in the increase of soil stability, which establishes soil quality and benefits agricultural productivity. Soil proteins, known as “glomalins” or GRSP (*Glomalin-related Soil Proteins*) are secreted by arbuscular mycorrhizal fungi “Glomerales” and possibly, by other microorganisms acting as soil aggregates cementing agents. Because of their function, it has been studied their potential as soil fertility bioindicators, for which different isolation systems have been proposed based on the use of buffer and NaOH solutions and organic solvents like phenol. In this work we compared the effect of acid (pH 4) and basic phenol (pH 8) to isolate nonpolar proteins from six soils samples located in the Academic Units “La Tuquerena” y “La Primavera” of UNET. Proteins were quantified by Bradford and visualized by polyacrylamide gels (SDS-PAGE). In each extraction at the analyzed pHs, important quantities of Bradford-reactive soil nonpolar proteins were obtained and it could be noticed the importance of a second extraction cycle for obtaining a higher protein yield than the first cycle. There were no significant differences between the two treatments when comparing the concentrations for the soil samples that were analyzed. On the basis of these results, we suggest performing two extraction cycles with acid phenol for isolating soil proteins. Furthermore, complementary experiments like the NaOH/H₂O system were applied, and showed the presence of protein groups with different polarities.

Palabras clave: GRSP, purificación, fenol, pH, proteínas apolares

Key words: GRSP, isolation, phenol, pH, nonpolar proteins

Recibido: 26/03/2018 Aprobado: 19/06/2018 Versión Final: 27/08/2018

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema complejo en el que se desarrollan fenómenos físicos, químicos y microbiológicos esenciales para la vida en el planeta (Mogollón, 2014). Es un recurso natural en el que existe una población muy compleja y activa de microorganismos que descomponen no solo residuos animales y vegetales, sino también materiales inorgánicos (Blasco, 1970). Además, dichos microorganismos realizan tareas importantes en los ciclos de nutrientes como carbono, nitrógeno, fósforo y azufre (Bastida *et al.*, 2009).

Por otra parte, la calidad del suelo integra componentes y procesos biológicos, químicos y físicos interconectados con el paisaje circundante (Lozano *et al.*, 2005). Las técnicas inadecuadas de laboreo afectan la micro-ecología del suelo y sus propiedades físicas y químicas, y disminuyen también la materia orgánica en las tierras cultivables, hasta llegar en algunos casos a su total degradación, con incidencia en la calidad del suelo (Mogollón, 2014). Debido a esto, recientemente ha surgido el interés por estudiar la metaproteómica del suelo como herramienta para la comprensión de la función y el papel de los miembros de la comunidad microbiana en la remediación de suelos (Bastida *et al.*, 2009).

Los microorganismos del suelo juegan un papel clave en la biogeoquímica terrestre. Un ejemplo muy estudiado es el de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), que forman relaciones simbióticas con las raíces de las plantas (Dai *et al.*, 2013). Las hifas extrarradicales de los HMA producen una proteína llamada *glomalina*, de naturaleza recalcitrante, insoluble en agua (apolar o hidrofóbica), estable en el tiempo, y que puede durar en los suelos de 7 a 42 años según las condiciones ambientales, el ecosistema y el manejo agrícola (Wright y Upadhyaya, 1996). Cabe destacar que el término *glomalina* se define sobre la base de su extracción con citrato de sodio, utilizando autoclave, y su reacción con el anticuerpo monoclonal MAb32B11 (Wright *et al.*, 1996). En un principio, se planteó la hipótesis de que la

glomalina era una proteína específica, lo cual dio lugar a una definición imprecisa (Wright *et al.*, 1996). Como consecuencia de esto, se propuso una nueva terminología que denomina a las proteínas del suelo como GRSP (*Glomalin-related soil protein* ‘proteínas del suelo relacionadas a glomalinas’), para indicar que no hay una relación clara entre las llamadas glomalinas y los otros grupos proteicos presentes en el suelo (Rillig, 2004).

Las GRSP actúan como agente cementante; por ello favorecen la formación de agregados y mejoran la estructura del suelo, que es la condición más favorable para el crecimiento de las plantas. Tienen una influencia beneficiosa sobre el estado hídrico del suelo y la dinámica de los nutrientes, lo que permite reducir la pérdida de nutrientes a través de la erosión y escorrentía superficial (Morell *et al.*, 2009). La presencia de agregados estables mejora la productividad de los ecosistemas al incrementar la aireación de los mismos, el drenaje, la actividad microbiológica, el secuestro de CO₂ y la estabilidad de la materia orgánica lábil (Lovelock *et al.*, 2004; King, 2011).

Los estudios bioquímicos de estas proteínas son relevantes puesto que ellas pueden considerarse como parámetros biológicos relacionados con la calidad del suelo. Sin embargo, los métodos existentes para su extracción y purificación son muy laboriosos, debido al uso intensivo de autoclave y el prolongado tiempo de espera para obtener los resultados requeridos (Wright y Upadhyaya, 1996). Más recientemente, se han propuesto métodos alternos que emplean reactivos como NaOH y fenol; sin embargo, los tiempos de extracción resultan mayores. Esto implica una demora para casos en los que conocer el indicador de fertilidad del suelo sea primordial para iniciar o no un proyecto de cultivo.

En tal sentido, el presente trabajo se planteó como objetivo evaluar el efecto del fenol ácido y del fenol básico al aplicar un método rápido de purificación de proteínas tipo GRSP estrictamente apolares.

MÉTODO

Toma de muestras de suelo

Seis muestras de suelo de manejo contrastante se colectaron en dos unidades de producción del estado Táchira (Venezuela), pertenecientes a la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET): Unidad Académica “La Tuquerena”, ubicada en Rubio, municipio Junín; y Unidad Académica “La Primavera”, en el sector Monte Carmelo, municipio Andrés Bello.

Los ecosistemas correspondientes a bosque A y cacao se colectaron en la Unidad Académica “La Tuquerena”, la cual presenta las siguientes características: topografía accidentada, con pendiente variable de 15 a más de 40 %, suelo con texturas medias, moderadamente profundos, de pH ácido y afloramientos rocosos locales (Jaén, s/f). Por otra parte, los ecosistemas correspondientes a bosque B, barbecho, vega de río y bosque Riviera se muestrearon en la Unidad Académica “La Primavera”, la cual cuenta con las siguientes características: topografía moderadamente profunda, textura media, con mayor proporción de arenas, pH ácido (UNET, 2011)

Para la recolección de las muestras, se realizó un recorrido en cada área de muestreo, en forma de M o W, escogiendo un punto cada diez metros, en cada uno de los cuales se construyó un triángulo y se tomaron muestras representativas a una profundidad de entre 0 y 10 cm, en cada uno de los vértices, para luego formar una muestra compuesta. Todas las muestras se almacenaron a una temperatura de -20 °C hasta el momento de llevar a cabo los análisis respectivos.

Destilación del fenol

Se tomaron aproximadamente 500 g de fenol cristalizado (MERCK) y se colocaron en baño de María a 60 °C para disolverlo. Se instaló un sistema de destilación simple para llevar a cabo la separación del fenol de sus impurezas comerciales. El sólido se destiló dos veces para obtener un fenol bidestilado.

Método para equilibrar el fenol ácido y alcalino

Fenol ácido: se tomó un volumen de fenol bidestilado y se colocó en baño de María a 65 °C. Se agregó un volumen igual de buffer citrato de pH 4; se mezcló, agitó y dejó en reposo hasta que se separaron ambas fases. Posteriormente, se retiró la fase acuosa y se midió el pH. Este proceso se repitió hasta verificar que la solución se encontrara a pH 4. Finalmente, se agregó un volumen igual de solución buffer citrato y se almacenó en la nevera.

Fenol básico: se tomó un volumen de fenol bidestilado y se agregó en un tubo de centrifuga de 50 mL junto con un volumen igual de buffer Tris a 0,5 M pH 8 (MERCK); la mezcla se agitó vigorosamente. Posteriormente, se dejó en reposo hasta que se separaran ambas fases y se retiró la fase acuosa. Se agregó un volumen igual de buffer-Tris 0,1 M, pH 8 (MERCK) y se agitó vigorosamente, luego se dejó en reposo hasta que se separaran ambas fases para retirar la fase acuosa. Esto se repitió hasta alcanzar el pH 8. Luego se pesó 0,1 % del agente antioxidante 8-hidroxiquinolina, se agregó al fenol previamente calentado a 65 °C y se agitó. A continuación, se agregó un volumen igual de buffer Tris 0,1 M pH 8. Se cubrió el envase con papel aluminio y se almacenó a 4 °C.

Purificación de proteínas apolares tipo GRSP

Se pesaron 10 muestras compuestas de 120 mg de suelo en tubos de 1,5 mL. Para el primer ciclo de extracción, cada muestra se resuspendió en 1 mL de NaOH (0,1 M, MERCK) y luego se centrifugó a 14.000 x *g* por un minuto a temperatura ambiente. Se realizaron 2 lavados más con NaOH y, posteriormente, se realizaron dos lavados con 1 mL de agua milli-Q. En cada lavado las muestras se centrifugaron bajo las condiciones anteriores. Se descartó la fase acuosa y se agregaron 500 µL del solvente orgánico (fenol ácido o alcalino) a las muestras de suelo. Las muestras se homogeneizaron con un vortex por 3 minutos y se incubaron por 30 minutos a temperatura ambiente; luego, se agitaron en el vortex y se centrifugaron a 14.000

x g por un minuto. Se extrajo el solvente orgánico de cada muestra y se colocó en un tubo de 1,5 mL. La extracción con el solvente se repitió dos veces. Los tratamientos se llevaron a una estufa con vacío por un tiempo de 3 horas y a una temperatura igual a 107 °C, es decir, sin llegar al punto de ebullición correspondiente a dicho solvente (180 °C), esto con el fin de evitar alteraciones en las moléculas proteicas que pudieran influir en la concentración esperada, y se dejaron hasta la sequedad. Se resuspendieron posteriormente con 1 mL de buffer citrato 0,1 M pH 8,0. Finalmente, se midió la concentración de las proteínas mediante el método Bradford (1976).

Separación por SDS-PAGE

Se preparó un gel discontinuo de 1 mm de espesor. El gel de apilamiento se preparó a 4 % y el gel de resolución a 12 %. La electroforesis se llevó a cabo en un equipo mini-PROTEAN (Bio-Rad). Las concentraciones de las soluciones empleadas para preparar los geles fueron: acrilamida 40 % y Bis-acrilamida 2 % (BIO-RAD), Tris 0,5 M pH 6,6 y 1,5 M pH 8,8 (MERCK), dodecil sulfato sodio (SDS) 10 % (PROMEGA), persulfato de amonio 10 % (IQE) y TEMED (tetrametilendiamida, MERCK).

Se cargaron cada una de las muestras proteicas en el gel luego de calentamiento en termobañó a 95 °C por 8 minutos, enfriamiento en una cava de refrigeración durante 10 minutos y aplicación de 50 µL del agente reductor β-mercaptoetanol (HiMedia) a cada muestra. Los parámetros de la corrida electroforética fueron 200 voltios, 180 miliamperios durante 90 minutos. Luego de la corrida electroforética, los geles se tiñeron con azul de Coomassie R-250 y con nitrato de plata a 0,2 %.

Para la tinción con azul de Coomassie R-250, inicialmente se realizaron 3 lavados con agua destilada. Luego, se agregó la solución fijadora (metanol a 50 %, RIEDEL-DE HÄEN, ácido acético a 7 %, MERCK) por 15 min, se extrajo la misma y se añadió la solución de tinción (50 mg de Coomassie Brilliant Blue R-250, BIOSHOP, 40 mL de etanol, RIEDEL-DE HÄEN, 10 mL de

ácido acético glacial, RIEDEL-DE HÄEN, y 50 mL de agua destilada), hasta cubrir el gel. Se dejó en agitación por 1 hora con la ayuda de la plancha de agitación hasta que se observaron las bandas. Finalmente, se agregó la solución de desteñir (40 mL de etanol, 10 mL de ácido acético glacial y 50 mL de agua destilada) hasta no observar trazas del colorante en el gel.

Para la tinción con nitrato de plata, se hicieron 3 lavados con agua destilada para eliminar cualquier residuo de las soluciones anteriormente usadas. Posteriormente, se realizaron 3 lavados con etanol a 35 % por 20 min cada uno. Se hizo un lavado con tiosulfato de sodio a 0,02% (SCHARLAU) por 3 min y seguidamente 3 lavados con agua milli-Q por 5 min para retirar completamente la solución. Después se agregó la solución de AgNO₃ a 0,2 % (FISCHER SCIENTIFIC) por 25 min y se dejó en agitación. Se hicieron 3 lavados con agua milli-Q por 2 min y se añadió la solución de carbonato de sodio a 6 % (IQE), la cual se dejó actuar hasta que se hicieran visibles las bandas deseadas. Inmediatamente se retiró la solución con el fin de evitar la oxidación del gel. Para culminar, se lavó el gel en una solución de metanol a 50 % y ácido acético a 12 %. Los geles se almacenaron en una solución de metanol a 10 % y ácido acético a 1 %.

Análisis estadístico

Se usó un diseño completamente aleatorizado con 2 factores: suelos y buffers; 6 niveles para suelos y 2 niveles para buffer (ácido y alcalino); con 12 tratamientos y 7 repeticiones para un total de 84 unidades experimentales. La variable concentración de proteínas del suelo se evaluó a través de análisis de varianza (ANOVA). Con ello se determinó la eficacia de los buffers estudiados como extractantes de proteínas en los seis tipos de suelo y la interacción entre los factores suelo-buffer sobre las variables a medir. Para la comparación de medias se usó el test de Tukey.

RESULTADOS

La figura 1 muestra la proporción de proteínas extraídas en cada tipo de suelo al realizar los dos ciclos de extracción con el solvente orgánico fenol a pH 4. Los resultados correspondientes a los lavados con fenol alcalino se expresan en la figura 2. La comparación de los rendimientos

proteicos en términos de proteínas totales se presenta en la tabla 1. Finalmente, los perfiles proteicos obtenidos mediante la separación de proteínas por SDS-PAGE se muestran en la figura 3, correspondiendo estos a la extracción con fenol ácido.

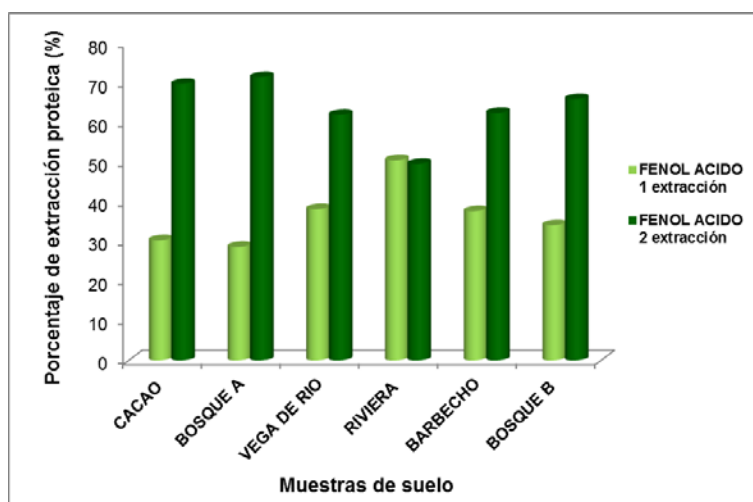


Figura 1. Proteínas totales extraídas con fenol ácido en seis tipos de suelo.

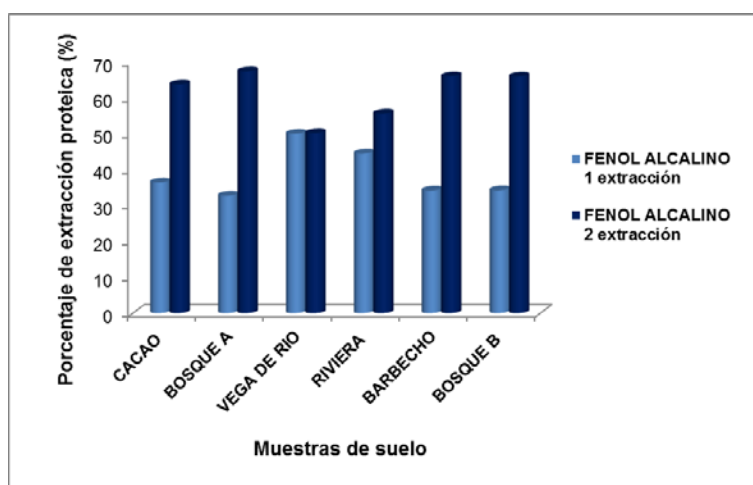


Figura 2. Proteínas totales extraídas con fenol básico en seis tipos de suelo.

Tabla 1. Valores de proteínas apolares totales (mg P. g⁻¹ suelo), obtenidas con los tratamientos con fenol ácido y alcalino en las diferentes muestras de suelo (n=10)

Tipos de suelo	Proteínas totales de los suelos (mg P.g ⁻¹ suelo) ± DE	
	Fenol ácido (pH 4)	Fenol alcalino (pH 8)
Cacao	23,54 ± 1,04	31,71 ± 11,31
Bosque A	34,71 ± 2,16	24,54 ± 14,23
Vega de río	30,79 ± 1,86	41,04 ± 13,30
Bosque Riviera	22,03 ± 1,14	32,97 ± 10,39
Barbecho	28,14 ± 1,96	23,35 ± 16,51
Bosque B	29,57 ± 1,75	21,22 ± 13,69

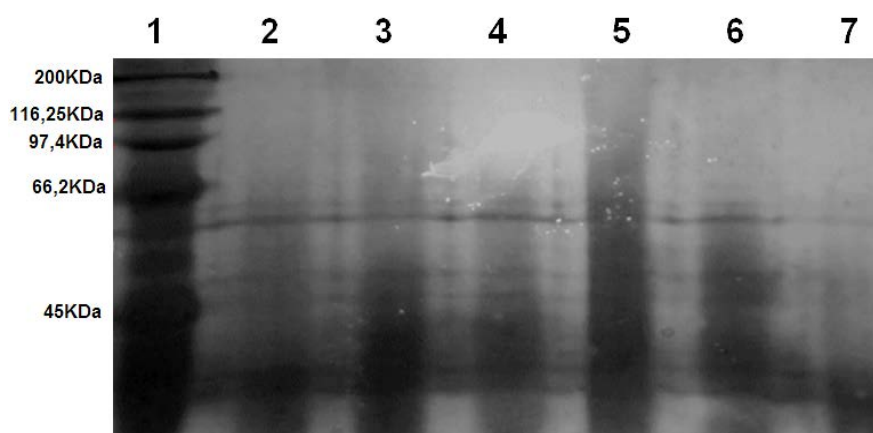


Figura 3. Visualización de proteínas apolares en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE), cargados con las muestras de suelo tratadas con fenol ácido. Orden de los pozos: 1) marcador de peso molecular; 2) bosque B; 3) barbecho; 4) cacao; 5) bosque Riviera; 6) bosque A; 7) vega de río.

DISCUSIÓN

Purificación y cuantificación de proteínas apolares tipo GRSP

La metodología aplicada en este estudio para la purificación y cuantificación de las proteínas apolares del suelo surgió a partir de los experimentos realizados en esta unidad de investigación por Almarza (2013), quien comparó el rendimiento proteico obtenido al extraer proteínas apolares con los solventes orgánicos hexano, cloroformo y fenol ácido, y observó los rendimientos más altos en este último, como suele ocurrir en la extracción de proteínas en las distintas áreas de la bioquímica y biología molecular (Keiblinger *et al.*, 2012; Benndorf *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2003).

Los lavados con NaOH y agua realizados previamente a las extracciones con fenol tuvieron el objetivo de separar y descartar las proteínas polares que pudieran co-extraerse y también para solubilizar y separar los ácidos húmicos de las proteínas (Nichols, 2003). El uso de NaOH ha sido descrito previamente por Camargo (2012), quien razona que el mecanismo puede ocurrir por la ionización de las cadenas laterales de un grupo de proteínas que a pH alcalino tendrían sus grupos carboxilos D y E, y los fenólicos “Y” desprotonados, lo que ayudaría a aumentar su solubilidad en soluciones acuosas. Por otra parte, la separación de fases con fenol y agua destilada se hizo con la intención de conseguir rendimientos más altos de proteínas apolares en la fase orgánica y facilitar la extracción de sustancias húmicas en la fase acuosa, como lo reportan Benndorf *et al.* (2007).

En la purificación de proteínas realizada con el tratamiento de fenol ácido (Figura 1), se logra observar que la mayor cantidad de proteínas que reaccionan a Bradford se obtienen con el segundo lavado en comparación con el primero, lo que indica la importancia de realizar este segundo lavado, el cual contribuye a solubilizar mejor las proteínas presentes en las muestras de suelo. Esto podría deberse a que al entrar en contacto las muestras de suelo con el solvente y resuspenderlas con agitación, lograron disgregarse y facilitar su extracción, lo que concuerda con lo reportado por Almarza (2013). Adicionalmente, el uso del fenol en combinación con otros compuestos, para protocolos de extracción, purificación y cuantificación de proteínas apolares, pareciera tener un efecto favorable sobre los resultados obtenidos de concentración de proteínas (Keiblinger *et al.*, 2012).

En el caso de las extracciones realizadas con el fenol alcalino (Figura 2), se observa un comportamiento similar al obtenido con el tratamiento anterior; es decir, es primordial realizar dos lavados con el solvente, para lograr mayor solubilidad de proteínas reactivas al Bradford.

Al observar los promedios de los rendimientos de las proteínas apolares totales, se observa que los dos tratamientos aplicados presentan rendimientos considerables, y ello reafirma la efectividad de dicho solvente al momento de extraer proteínas apolares del suelo. Por otra parte, el ANOVA realizado muestra que entre los dos tratamientos no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,4034$) en términos de rendimientos proteicos obtenidos para cada suelo estudiado, lo que sugiere que ambos son eficientes, en concordancia con lo reportado en estudios anteriores que utilizan este solvente (Benndorf *et al.*, 2007; Almarza, 2013). En este punto es necesario destacar que, al momento de equilibrar el fenol con la ayuda de ambos tampones, se observó que el fenol equilibrado en pH ácido es más estable en el tiempo en cuanto a su oxidación aparente por cambio de coloración, cuando se compara con el fenol equilibrado en buffer alcalino.

Los valores de concentración de proteínas apolares obtenidos del suelo en el presente trabajo son muy bajos en comparación con la cantidad de proteínas polares existentes en el mismo, como se evidencia en la investigación realizada por Quiñonez (2015), quien obtuvo altas concentraciones de proteínas polares, lo que cuestiona el carácter hidrofóbico descrito para estas (Wright y Upadhyaya, 1996; Wright y Upadhyaya, 1998; Wright *et al.*, 2006; Janos *et al.*, 2008). Retomando el mecanismo molecular propuesto por Camargo (2012), Almarza (2013) y Quiñonez (2015), y basándose en el principio universal de solubilidad “igual disuelve igual”, el grupo de proteínas que se encuentra en mayor proporción dentro de este *pool* se podría categorizar como proteínas solubles con características polares, y esto indica una posible sobreestimación de las denominadas proteínas apolares descritas ampliamente en la literatura (Wright y Upadhyaya, 1996; Wright y Upadhyaya, 1998; Wright *et al.*, 2006; Janos *et al.*, 2008).

Caracterización de los perfiles proteicos (SDS-PAGE)

Las proteínas apolares obtenidas mediante la extracción con el tratamiento de fenol ácido, considerado como el más práctico en términos de estabilidad del solvente ante oxidación, fueron corridas en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE). Se lograron observar bandas muy tenues (Figura 3), con un peso molecular que varió entre 50 y 55 KDa aproximadamente. Wright *et al.* (1996) reportaron bandas de 67 a 94 kDa, mientras que Bolliger *et al.* (2008) reportaron bandas similares entre los 60 y 90 kD. A pesar de las diferencias en cuanto a masa molecular, este resultado sugiere que dichas bandas sí corresponderían a proteínas apolares presentes en los suelos analizados, lo que a su vez sería el primer reporte de un gel SDS-PAGE que muestra bandas de proteínas realmente con características apolares de solubilidad.

La sutil coloración que adquirieron las bandas obtenidas podría ser producto de la baja concentración de los extractos proteicos obtenidos, y ello apoya la hipótesis planteada en

esta unidad de investigación, que propone que las proteínas existentes en el suelo no son grupos fundamentalmente hidrofóbicos, como ha sido aceptado por la comunidad científica del área, sino que también existe un grupo de proteínas polares en cantidades importantes que no han sido consideradas hasta el momento, a pesar de las implicaciones agronómicas que pudieran ejercer en cuanto a la calidad integral de los suelos, además de la importancia biotecnológica que implicaría conocer un nuevo grupo de proteínas que pudieran modular la calidad de un suelo.

CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir que ambos tratamientos de fenol (pH 4 y pH 8) tienen la misma eficiencia para extraer proteínas apolares del suelo, resultando importante la realización de un segundo ciclo de extracción con este solvente. Sin embargo, se sugiere el uso del fenol ácido por la estabilidad que presenta en el tiempo frente a la oxidación en comparación con el fenol alcalino. Por otra parte, el NaOH permitió descartar las proteínas polares y sustancias húmicas presentes en las muestras de suelo, y llevó a deducir que los perfiles proteicos obtenidos corresponden muy probablemente a proteínas estrictamente apolares.

REFERENCIAS

- Almarza, J. (2013). Desarrollo de un Sistema de purificación de proteínas polares y apolares del suelo con la ayuda de solventes orgánicos e inorgánicos. Trabajo de Ascenso. San Cristóbal: UNET.
- Bastida, F., Moreno J., Nicolás, C., Hernández, T., García, C. (2009). Soil metaproteomics: a review of an emerging environmental science. Significance, methodology and perspectives. *European Journal of Soil Science* 60(6): 845 – 859.
- Benndorf, D., Balcke, G., Harms, H., von Bergen, M. (2007). Functional metaproteome analysis of protein extracts from contaminated soil and groundwater. *The ISME Journal* 1(3): 224–234.
- Blasco, M. (1970). Curso de microbiología de suelos. Turrialba: Biblioteca Orton IICA / CATIE.
- Bolliger A., Nalla, A., Magid, J., de Neergaard, A., Nalla, A., Bøg-Hansen, T. (2008). Re-examining the glomalin-purity of glomalin-related soil protein fractions through immunochemical, lectin-affinity and soil labeling experiments. *Soil Biology & Biochemistry* 40(4): 887–893.
- Camargo, D. (2012). Optimización de un método para la extracción y purificación de proteínas del suelo y su evaluación en ecosistemas de manejo contrastante en la Unidad Académica “La Tuquerena”. Tesis de pregrado. San Cristóbal: UNET.
- Dai, J., Hu, J., Lin, X., Yang, A., Wang, R., Zhang, J., Wong, MH. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi diversity, external mycelium length, and glomalin-related soil protein content in response to long-term fertilizer management. *Journal of Soils and Sediments*. 13(1): 1–11.
- Jaén, A. (s/f). Datos generales del municipio Junín. Desde Rubio. Disponible en: <http://desderubio.com/nuestro-municipio/datos-generales-del-municipio-junin/>
- Janos, D., Garamszegi, S., Beltran, B. (2008). Glomalin extraction and measurement. *Soil Biology & Biochemistry*. 40(3): 728-739
- Keiblinger, K., Wilhartitz, I., Schneider, T., Roschitzki, B., Schmid, E., Eberl, L., Riedel, K., Zechmeister-Boltenstern, S. (2012). Soil metaproteomics – Comparative evaluation of protein extraction protocols. *Soil Biology & Biochemistry*. 54(15): 14–24.
- King, G. (2011). Enhancing soil carbon storage for carbon remediation: potential contributions and constraints by microbes. *Trends in Microbiology*. 19(2): 75-84.
- Lovelock, C., Wright, S., Clark, D., Ruess, R. (2004). Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *Journal of Ecology*. 92(2): 278-287.
- Lozano, Z., Hernández, R., Ojeda, A. (2005). Manual de métodos para la evaluación de la

- calidad física, química y biológica de los suelos. Caracas: UCV.
- Mogollón, J. (2014). Efecto del uso del vermicompost para la biorremediación de suelos salino-sódicos del estado Falcón. Trabajo de grado. Barquisimeto: Universidad de Yacambú.
- Morell, F., Hernández, A., Borges, Y., Marentes, F. (2009). La actividad de los hongos micorrízicos arbusculares en la estructura del suelo. *Cultivos Tropicales*. 30(4): 25-31.
- Nichols, K. (2003). Characterization of glomalin, a glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungi. Tesis Doctoral. Maryland: University of Maryland.
- Quiñonez, M. (2015). Efecto de los lavados con NaOH/H₂O en la purificación de proteínas polares en muestras de suelos de manejo contrastante. Tesis Pregrado. San Cristóbal: UNET.
- Rillig, M. (2004). Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*. 84(4): 355–363.
- UNET (Universidad Nacional Experimental del Táchira). (2011). Unidades de producción. Disponible en: <http://www.unet.edu.ve/institucion/unidades-de-produccion/la-primavera.html>
- Wang, W., Scali, M., Vignani, R., Spadafora, A., Sensi, E., Mazzuca, S. (2003). Protein extraction for two dimensional electrophoresis from olive leaf, a plant tissue containing high levels of interfering compounds. *Electrophoresis*. 24(14): 2369-2375.
- Wright, S., Franke-Snyder, M., Morton, J., Upadhyaya, A. (1996). Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plant and soil*. 181(2): 193-203.
- Wright, S., Nichols, K., Schmidt, W. (2006). Comparison of efficacy of three extractants to solubilize glomaline on hyphae and in soil. *Chemosphere*. 64(7): 1219–1224.
- Wright, S., Upadhyaya, A. (1996). Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science*. 161(9): 575–586.
- Wright, S., Upadhyaya, A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*. 198(1): 97–107.

CIENCIAS EXACTAS

ESTUDIO TEÓRICO DE LA BIODISPONIBILIDAD Y RECONOCIMIENTO MOLECULAR ENTRE METABOLITOS SECUNDARIOS DE *Euphorbia hirta* L. Y α,β -TUBULINATHEORETICAL STUDY OF THE BIOAVAILABILITY AND MOLECULAR RECOGNITION BETWEEN SECONDARY METABOLITES OF *Euphorbia hirta* L. AND α,β -TUBULIN

Autores:

Marcano, Emildo^{1,3}; Sánchez, Ysbelia^{2,3}; Canelón, Yerinson³¹Departamento de Química. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela.²Laboratorio de Investigaciones Genéticas. Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), Venezuela.³Laboratorio de Química Computacional. Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), Venezuela.

Corresponding Author: emarcano@unet.edu.ve

RESUMEN

Se reporta el análisis de biodisponibilidad para cinco metabolitos secundarios (di y triterpenos), provenientes de *Euphorbia hirta* L., con significativa actividad anticancerígena. Adicionalmente, se presenta el análisis de similitud molecular de cada metabolito con Taxol y Colchicina, dos conocidos referentes citotóxicos, y los modos de interacción a través del docking molecular entre cada terpeno y la zona de acción para la Colchicina en la α,β -tubulina. La geometría molecular de cada estructura fue optimizada con métodos de funcional de la densidad a nivel CAM-B3LYP/6-31+G (d,p) implementados en GAMESS. Los cálculos de biodisponibilidad fueron realizados usando los algoritmos incorporados en el software Cheminformatics Molinspiration. Por su parte, el docking molecular se realizó usando la interfase gráfica del software VegaZZ y el algoritmo genético lamarckiano incorporado en AutoDock Vina. Los resultados muestran que las estructuras estudiadas pueden presentar una buena permeabilidad a través de la membrana celular, al cumplir con la "regla de 5" de Lipinski, a saber: $\log P < 5$, masa molecular < 500 , sitios aceptores para puentes de hidrógeno < 10 , sitios donadores para puentes de hidrógeno < 5 y un volumen molecular < 500 . La similitud molecular fue evaluada promediando los parámetros geométricos (3D-Shape) y potencial electrostático (ESP). Los resultados muestran que las estructuras estudiadas tendrían un modo de acción acorde con el exhibido por la Colchicina, con un promedio de similitud entre 0,722 y 0,739. Esta última idea es reforzada por los resultados para el docking molecular con el sitio activo de la Colchicina en la α,β -tubulina, destacándose la interacción de las moléculas estudiadas con los siguientes residuos aminoácidos: CYS-241, LEU-245, LYS-254, LEU-255, ASN-258, LYS-352, con una energía libre de interacción promedio de -8,7 Kcal/mol.

ABSTRACT

We report the bioavailability analysis for five secondary metabolites (di and triterpenes) with significant anticancer activity, from *Euphorbia hirta* L. Moreover, the molecular similarity analysis of each metabolite is presented with Taxol and colchicine, two known cytotoxic referents. The mode of interaction through molecular docking between each terpene and the zone of action for Colchicine in α,β -tubulin also is presented. The molecular geometry for each structure was optimized with functional density methods at the CAM-B3LYP/6-31+G(d,p) level implemented in GAMESS. The bioavailability calculations were performed using the algorithms incorporated in the cheminformatics software Molinspiration. On the other hand, molecular docking was carried out using the graphic interface of the VegaZZ software and the Lamarckian genetic algorithm incorporated in AutoDock Vina. The results show that the structures studied lead a good permeability through the cell membrane, by complying with Lipinski's "rule of 5"; namely: $\log P < 5$, molecular weight < 500 , acceptor sites for hydrogen bonds < 10 , donor sites for hydrogen bonds < 5 and a molecular volume < 500 . Molecular similarity was evaluated by averaging geometric parameters (3D-Shape) and electrostatic potential (ESP). Results show that the structures studied would have a mode of action related to the Colchicine, with average similarity between 0.722 and 0.739. This last idea is reinforced by the results for molecular docking with the active site of Colchicine in α,β -tubulin, highlighting the interaction of the molecules studied with the amino acid residues: CYS-241, LEU-245, LYS-254, LEU-255, ASN-258, LYS-352, with an average interaction-free energy of -8.7 Kcal/mol.

Palabras clave: α,β -tubulina, Colchicina, *Euphorbia hirta* L., terpenos, docking molecular.

Key words: α,β -tubulin, molecular similarity, terpenes, molecular docking.

INTRODUCCIÓN

Los microtúbulos son polímeros esenciales del citoesqueleto en todas las células eucariotas, estos regulan varias funciones a nivel celular como el transporte del material al interior de la membrana celular, movimiento de organelos y vesículas, así como el proceso de división celular (Tuszinsky *et al.*, 2004). Los microtúbulos están compuestos, principalmente, por α,β -tubulinas, heterodímeros formados mediante enlaces no covalentes de los correspondientes monómeros. Las funciones celulares son altamente dependientes de la dinámica de los microtúbulos. Cualquier molécula que perturbe dicha dinámica, ha de propiciar el bloqueo de los procesos de división celular, no sólo en aquellas células normales, sino también en células tumorales. El diseño racional de moléculas con interacción en diferentes sitios de la α,β -tubulina ha cobrado gran importancia en los últimos años (Naik *et al.*, 2011; Vilanova *et al.*, 2014; Laurin *et al.*, 2015). Los compuestos interactuantes con la tubulina se clasifican según el sitio de interacción, según sea en la α o β -tubulina. Dos de los compuestos más importantes y de referencia para el diseño de nuevos compuestos anticancerígenos son el Taxol y la Colchicina. El Taxol (Paclitaxel, extraído de *Taxus brevifolia*, Tejo del Pacífico) bloquea el ciclo tumoral al limitar la separación del dímero de α,β -tubulina (Wani y Horwitz, 2014). Su sitio de acción específico implica la interacción con la parte β -tubulínica destacando los aminoácidos Pro360-Arg369-Gli370-Leu371, entre otros (Lowe *et al.*, 2001). Por su parte, la colchicina (extraída de *Colchicum autumnale*) afecta, adicionalmente, la agregación de los microtúbulos por interacción en la interface entre las fracciones monoméricas α y β , destacándose la interacción con Val181 y Lys352 (Bhattacharyya *et al.*, 2008).

Euphorbia hirta L. (Lecherito, Boquera, Tripa de pollo) es una hierba erecta o decumbente de 40 a 60 cm de largo, con hojas simples, opuestas, con manchas rojas. La inflorescencia en el fruto tiene forma de cápsula y posee látex blanco. Es una especie encontrada en gran parte del territorio venezolano, incluyendo la región andina (Carmona *et al.*, 2008). En años recientes, los metabolitos secundarios provenientes del género *Euphorbia* se han destacado como potenciales compuestos para el diseño de drogas con distintos blancos moleculares (Shi *et al.*, 2008), destacando, la actividad anticancerígena del factor diterpenoide L713283, cuya interacción y acción sobre la α,β -tubulina son similares a aquellas del Taxol. Igualmente, para *Euphorbia hirta* L., se han encontrado diterpenos (Yan *et al.*, 2011) y triterpenos con significativa acción citotóxica en líneas celulares de interés, tales como HCT 116 y A549, las cuales se encuentran asociadas con diversos tipos de carcinomas (Ragasa y Cornelio, 2013). Para las estructuras consideradas en estos y otros trabajos, los modos de interacción a nivel molecular de los metabolitos estudiados con la α,β -tubulina no han sido reportados. Así, el presente trabajo tiene como objetivo un estudio computacional sobre el reconocimiento molecular de las estructuras mostradas en la Figura 1 con α,β -tubulinas. Con este fin, se discute la biodisponibilidad de cada metabolito para contribuir con su posible desarrollo como agente terapéutico. De igual forma, se analiza la similitud molecular con Taxol y Colchicina con la finalidad de definir el posible modo de acción de cada estructura y la localización del sitio de interacción con la α,β -tubulina. Finalmente, mediante protocolos de docking, métodos de dinámica molecular y análisis de modos normales, se infieren los modos y energías de interacción asociadas con el complejo ligando-proteína.

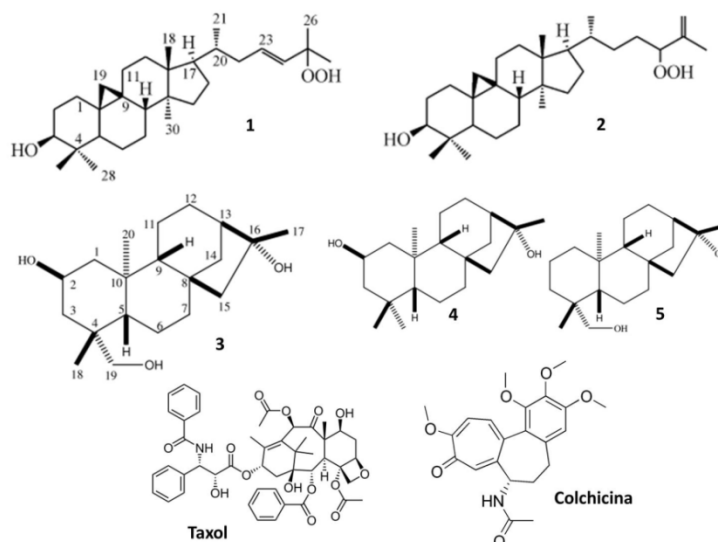


Figura 1. Modelo estructural de las moléculas estudiadas en este trabajo.

MÉTODO

Similitud molecular

El principio de similitud molecular establece que las moléculas con estructura o fragmentos similares tienden a tener propiedades químicas similares (Bender y Glen, 2004). Esta observación puede ser cuantificada a partir del análisis de diversas bases de datos (Eckert y Bajorath, 2007). En este trabajo, Taxol y Colchicina (Figura 1) son utilizadas como referencia para el estudio de similitud molecular de los terpenoides asociados con *Euphorbia hirta* L. La optimización geométrica de todos los ligandos se obtuvo con métodos de funcional de la densidad a nivel CAM-B3LYP/6-31+G (d,p), utilizando el software GAMESS (Schmidt *et al.*, 1993). Sobre las geometrías obtenidas se realizó el cálculo de similitud molecular de cada triterpeno con Taxol y Colchicina, usando el software ShaEP. Este lleva a cabo una superposición de cuerpo rígido en 3D de las moléculas involucradas a través de un algoritmo de similitud (Vainio *et al.*, 2009). Adicionalmente, se obtiene una relación entre los potenciales electrostáticos (ESP) de las moléculas comparadas (Shin *et al.*, 2015). En ambos casos, la escala reportada va desde 0 hasta 1, donde 0 implica la no similitud y 1 implica la misma molécula.

Preparación de la tubulina y docking molecular

La estructura modelo de α,β -tubulina (Figura 2) fue generada a partir de la estructura cristalográfica ID: 1SA0 (complejo tubulina-colchicina), con resolución de 3,5 Å; extraída del Protein Data Bank (PDB) (Lowe *et al.*, 2001). El modelo consiste en un par de cadenas A (427 residuos, ARG/2-VAL-437) y B (419 residuos, ARG-2/ALA-438) (Naik *et al.*, 2011). Los átomos de hidrógenos terminales fueron añadidos. Todas las moléculas de agua, la colchicina y otras estructuras no relevantes fueron removidas utilizando el software VEGAZZ (Pedretti *et al.*, 2004). Las cargas atómicas fueron asignadas usando el método Gasteiger-Marsili (Gasteiger y Marsili, 1980). El experimento de docking molecular entre los ligandos y la proteína fue realizado con Auto Dock.Vina Tools. La caja para el docking tuvo un tamaño de 26,0 Å³, y las coordenadas cartesianas para el sitio de enlace ligando-proteína fueron x (-0,151), y(-0,025) y z (0,034). Todas las simulaciones se hicieron con AutoDock-Vina (Trott y Olson, 2010). La colchicina, originalmente co-cristalizada, fue “re-dockeada” como protocolo de validación (Figura 2).

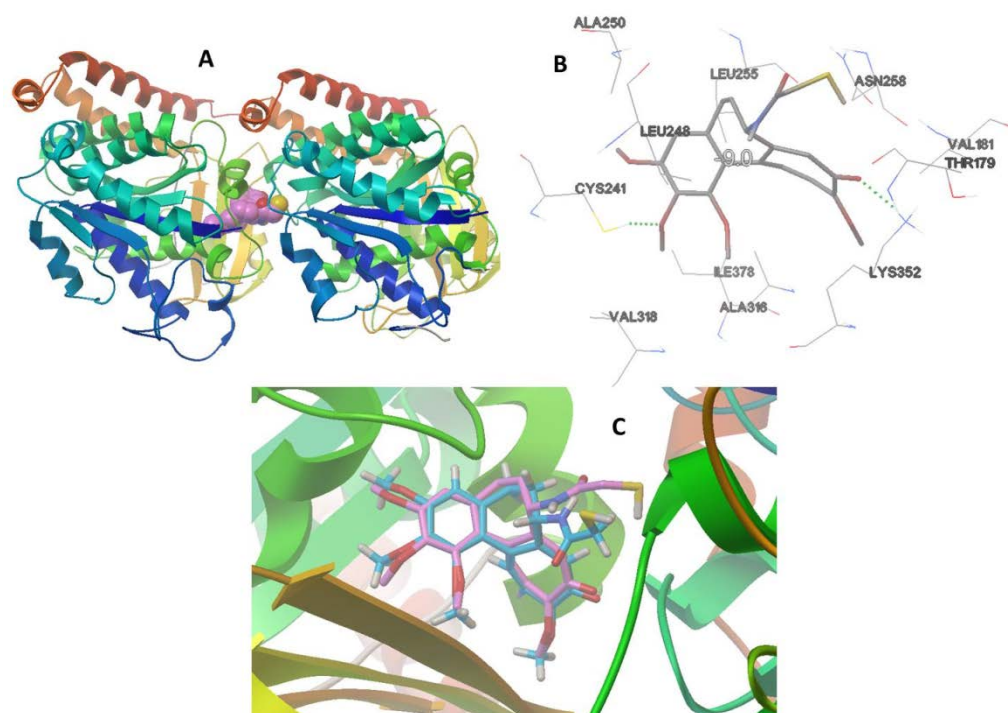


Figura 2. A) Representación estructural de la α,β -tubulina (New Cartoon) acomplejada con Colchicina (VDW). B) Sitio de enlace de la Colchicina, destacando los aminoácidos que interactúan. C) “Re-docking” para validación. Se observa buena coincidencia entre la colchicina, de la estructura cristalográfica, con aquella modelada y “dockeada” en el sitio de interacción. Este hecho evalúa de forma positiva el protocolo de docking usado en el trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Similitud molecular

El análisis de similitud molecular entre las estructuras estudiadas, el Taxol y la Colchicina se muestra en la Tabla 1. Todos los triterpenos estudiados presentan un valor promedio mayor a 0,665 para el 3D-shape con la Colchicina, lo cual evidencia similitud geométrica con dicha estructura. Las moléculas 1 y 2 muestran un suave decrecimiento en los valores de 3D-shape atribuible a la presencia de un ciclopentano, el cual no se encuentra en la Colchicina. Igualmente, los valores para el ESP son altos (0,773 en promedio), lo que implica una significativa similitud entre los potenciales electrostáticos. Este hecho puede estar

relacionado con la presencia de los grupos $-\text{OH}$, así como también a la sustitución del grupo $-\text{COOH}$ (moléculas 1 y 2). Con respecto al Taxol, los valores de 3D-shape son más bajos que para la Colchicina; sin embargo, se mantienen valores altos de ESP. A partir del promedio total entre 3D-shape y ESP, se concluye que los triterpenos estudiados tienen mayor similitud molecular con la Colchicina, esto permite inferir que el modo de acción de estos metabolitos debe estar en consonancia con esta estructura. En relación con el Taxol, los triterpenos estudiados muestran poca similitud geométrica, lo cual se evidencia en un 3D-Shape promedio de 0,533; relacionado con diferencias en las cantidades de anillos presentes en las estructuras.

Tabla 1. Resultados de similitud molecular.

Molécula	Taxol			Colchicina		
	3D-shape	ESP	AVERAGE	3D-Shape	ESP	AVERAGE
1	0,538	0,696	0,617	0,622	0,790	0,706
2	0,566	0,731	0,649	0,625	0,771	0,698
3	0,524	0,718	0,621	0,697	0,747	0,722
4	0,527	0,690	0,608	0,697	0,782	0,739
5	0,509	0,737	0,623	0,685	0,782	0,739

Análisis de biodisponibilidad

La biodisponibilidad se refiere a la rapidez y grado de absorción de un fármaco desde el sitio de administración hasta su ingreso al sistema sanguíneo y posterior interacción con la fracción lipídica de la membrana celular y con el medio acuoso del citoplasma (Remko, 2009). La “regla de 5” de Linpinski se usa tradicionalmente para calificar la biodisponibilidad de una estructura molecular. De esta forma, sistemas con buena penetrabilidad de membrana deben exhibir $\text{LogP} < 5$, masa molecular < 500 , átomos de $-H$ aceptores para puentes de hidrógeno < 10 , átomos de $-H$ donadores para puentes de hidrógeno < 5 , volumen molecular < 500 (Lipinski *et al.*, 1997). La Tabla 2 muestra los parámetros de Linpinski, calculados para los terpenos de la Figura 1. La estructura 1 posee un coeficiente de partición octanol-agua superior a

5 indicando bajo grado de lipofilicidad; desde el punto de vista fármaco-cinético, es de esperarse una baja absorción y distribución a través del material graso. Por tanto, este valor de LogP rompe la regla de Linpinski. El metabolito 2 también rompe con la regla del coeficiente de partición octanol-agua, posee una estructura muy similar a la del metabolito 1 y se refleja en los valores de área superficial polar accesible al solvente (PSA); sin embargo, 1 y 2 poseen una biodisponibilidad adecuada al cumplir con los demás parámetros de Linpinski. Los metabolitos 3, 4 y 5 son biodisponibles de acuerdo a la “regla de 5”. El metabolito 3 tiene el menor coeficiente de partición, por lo que se clasifica como una estructura lipofílica; y una mayor área superficial polar accesible al disolvente para una mejor interacción con medios polares.

Tabla 2. Parámetro de biodisponibilidad de las moléculas estudiadas. LogP (coeficiente de partición octanol-agua), TPSA (Superficie Polar Accesible al solvente), nátomos (números de átomos), MW (masa molecular), nON (aceptores de puentes de hidrógenos), nOHNH (donadores de puentes de hidrógenos), volumen (volumen molecular).

Metabolitos	miLogP	TPSA	nátomos	MW	nON	nOHNH	Volumen
1	7,29	49,69	34	472,75	3	2	494,20
2	7,42	49,69	34	472,75	3	2	495,08
3	2,86	60,68	23	322,49	3	3	327,55
4	4,03	40,46	22	306,49	2	2	319,29
5	4,01	40,46	22	306,49	2	2	319,50

Docking Molecular y análisis de modos normales

La Tabla 3 muestra la mejor energía de interacción derivada de los experimentos de docking molecular para los terpenos de la Figura 1. En cada molécula, se obtuvieron nueve modos de interacción y se seleccionó aquel con

mayor estabilidad energética en el sitio de acción de la Colchicina. En general, los cinco metabolitos ofrecen una significativa interacción con el sitio activo de la α,β -tubulina, con energías que van desde $-8,0$ Kcal/mol hasta $-10,1$ Kcal/mol, las cuales son comparables y mejores que aquella exhibida por la colchicina ($-8,0$ Kcal/mol).

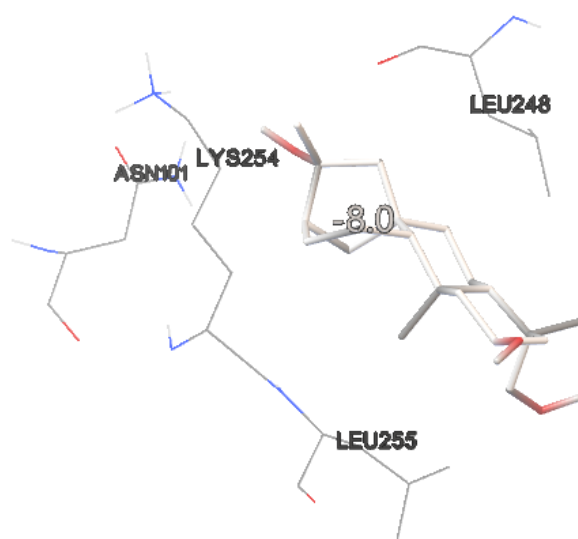


Figura 3. Modo de interacción de α,β -tubulina con la molécula 3 (-10 Kcal/mol).

La estructura 3 presenta la mejor energía de interacción (-10,1 Kcal/mol), destacando los aminoácidos Leu-248, Leu-255, Lys-254 y Asn-101. La Figura 3 muestra estos modos de interacción para la molécula 3, la cual tiene la mayor estabilidad de interacción, la mejor similitud con la Colchicina y la mejor biodisponibilidad. Estos resultados están en concordancia con otros trabajos (Ranjan *et al.*, 2017).

Para este complejo ligando-proteína se realizó un cálculo de dinámica molecular de equilibrio. Este protocolo consistió en 5000 pasos de optimización geométrica con gradiente conjugado, seguido de 1 ns de calentamiento y, finalmente, 1 ns de dinámica molecular de equilibrio. El mismo protocolo fue ejecutado para el complejo con Colchicina y con la α,β -tubulina aislada, a modo de comparación.

Tabla 3. Energías de afinidad ligando/ α,β -tubulina

Ligando	Afinidad de enlace (Kcal/mol)
3	- 10,1
4	- 9,8
5	- 9,8

Con la estructura obtenida en la dinámica molecular, se realizó un análisis de modos normales (NMA), ya que caracteriza las posibles deformaciones que puede sufrir la proteína, debido a la presencia de los distintos ligandos (Hati y Bhattacharyya, 2016). Dos resultados son discutidos en esta parte: los desplazamientos atómicos para la región proteica de interés y la magnitud y sentido de los modos de vibración en los complejos estudiados. La zona de interés discutida está localizada entre los aminoácidos 200 y 400, donde se sitúa el sitio de interacción de la Colchicina según la estructura

cristalográfica con ID: 1SA0 reportado por el Protein Data Bank. La Figura 4 muestra las zonas de mayor desplazamiento atómico para la α,β -tubulina aislada y para los complejos con Colchicina y con el triterpeno 3. En general, la presencia de la molécula 3 (al igual que la Colchicina) atenúa la flexibilidad de la α,β -tubulina en la zona de interés, con excepción del modo 10, el cual se activa con la presencia del triterpeno (Figura 4), mientras, la flexibilidad aumenta en las regiones exteriores del complejo. De hecho, se destaca la presencia de picos en el intervalo 400-600. El incremento en la

flexibilidad en la zona externa de la tubulina implica una disminución en la estabilidad de la proteína debido a la presencia de la molécula 3, esto tendría como efecto la promoción de la depolimerización de la tubulina, disminuyendo la formación de microtúbulos. De estas ideas se desprende la posible actividad anticancerígena de los compuestos estudiados, en particular, de la molécula 3. Para reforzar estas ideas, la Figura 5 muestra el modo 7 para la α,β -tubulina sola y acompañada con la Colchicina y la molécula 3. Es conocido que a baja concentración, la presencia de la Colchicina en la interfase tubulínica tiende a inhibir el crecimiento de los

microtúbulos, mientras que a altas concentraciones, se promueve la depolimerización de los mismos (Ravelli *et al.*, 2004). Como se observa en la Figura 5, la presencia de la molécula 3 introduce un aumento significativo en la flexibilidad de la zona externa de la tubulina (mayor que en el caso de la Colchicina), lo cual hace inferir un efecto de promoción en la depolimerización de los microtúbulos. Estos resultados orientan el uso de los terpenoides de la Figura 1 como agentes citotóxicos.

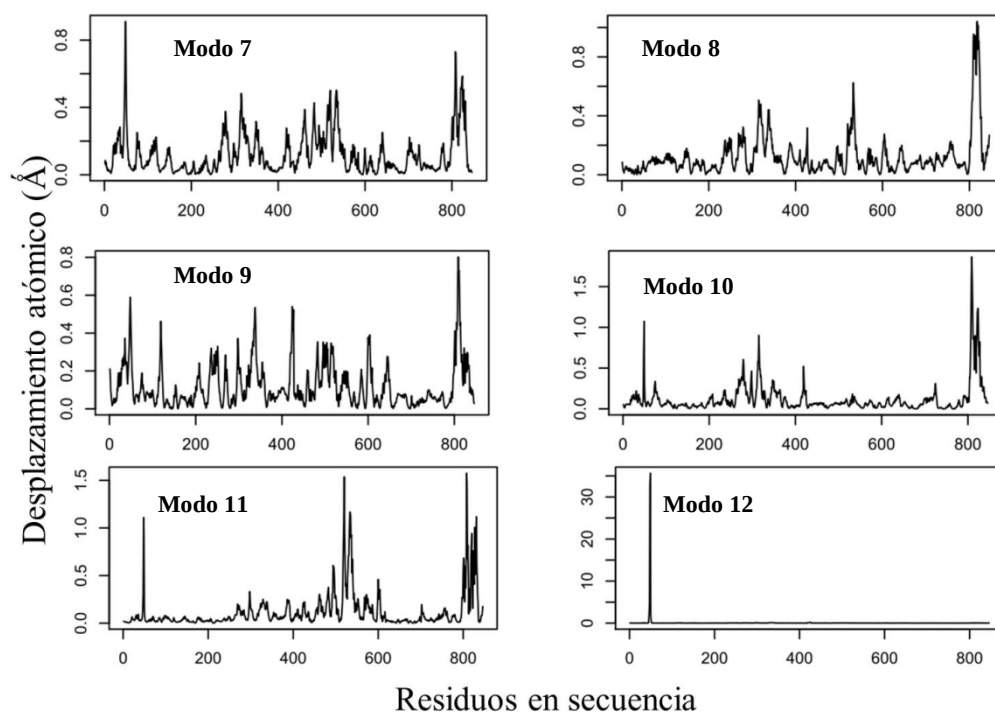


Figura 4. Análisis de modos normales para la α,β -tubulina, acompañada con la molécula 3.

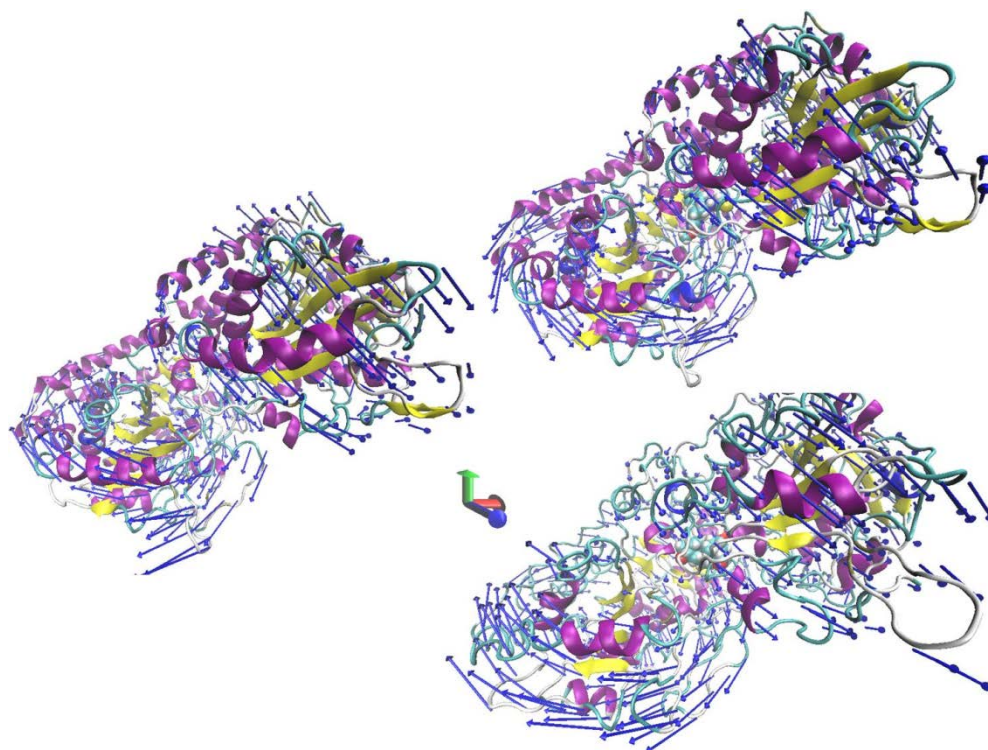


Figura 5. Representación de modos normales para la α,β -tubulina, acomplejada con la molécula 3.

CONCLUSIONES

Se reporta un estudio computacional sobre la biodisponibilidad, similitud molecular con Taxol y Colchicina y el docking molecular con la α,β -tubulina para triterpenos extraídos como metabolitos secundarios de *Euphorbia hirta* L., los cuales han demostrado actividad anticancerígena de forma experimental. De los cinco triterpenos estudiados, la estructura 3 muestra la mejor energía de interacción con la α,β -tubulina. Así mismo, su biodisponibilidad está avalada por la “regla de 5” de Linpinski; por tanto, el metabolito 3 presenta un coeficiente de partición inferior al resto de las estructuras y un área superficial polar accesible mayor. De igual forma, el metabolito 3 posee tres átomos polares, lo que implica una mejor interacción con medios polares, como el material hidrofóbico de la membrana celular. La similitud de las moléculas estudiadas con la Colchicina es mayor a aquella presentada por el Taxol, esto conduce a inferir que su modo de acción ha de ser similar a este compuesto. En tal sentido, el análisis de modos normales mostró que la presencia de la molécula

3 en la interfase α,β -tubulinica introduce un aumento en la flexibilidad de la zona externa de la proteína (mayor que en el caso de la Colchicina), lo que dejaría una promoción en la depolimerización de los microtúbulos.

REFERENCIAS

- Bender, A., Glen, R. C. (2004). Molecular similarity: a key technique in molecular informatics. *Org. Biomol. Chem.*, 2, 3204-3218.
- Bhattacharyya, B., Panda, D., Gupta, S., Banerjee, M. (2008). Anti-Mitotic Activity of Colchicine and the Structural Basis for Its Interaction with Tubulin. *Medicinal Research Reviews*, 28, 155-183.
- Carmona, A. J., Gil, R., & Rodríguez, M. C. (2008). Descripción taxonómica, morfológica y etnobotánica de 26 hierbas comunes que crecen en la ciudad de Mérida- Venezuela. *Boletín Antropológico*, 26, 1325-2610.
- Eckert, H., Bajorath, J. (2007). Molecular similarity analysis in virtual screening: foundations, limitations and novel

- approaches. *Drug Discovery Today*, 12, 225-233.
- Gasteiger, J., Marsili, M. (1980). Iterative partial equalization of orbital electronegativity—a rapid access to atomic charges. *Tetrahedron*, 36, 3219-3228.
- Hati, S., Bhattacharyya, S. (2016). Incorporating Modeling and Simulations in Undergraduate Biophysical Chemistry: Course to Promote Understanding of Structure-Dynamics-Function Relationships in Proteins. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 44, 140-159.
- Laurin, Y., Savarin, P., Robert, C. H., Takahashi, M., Eyer, J., Prevost, C. (2015). Investigating the Structural Variability and Binding Modes of the Glioma Targeting NFL-TBS.40–63 Peptide on Tubulin. *Biochemistry*, 54, 3660–3669.
- Lipinski, C. A., Lombardo, F., Dominy, B. W., Feeney, P. J. (1997). Experimental and computational approaches to estimate solubility and permeability in drug discovery and development settings. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 15, 3-25.
- Lowe, J., Li, H., Downing, K. H., Nogales, E. (2001). Refined Structure of α -Tubulin at 3.5 Å Resolution. *Journal of Molecular Biology*, 313, 1045–1057.
- Naik, P. K., Santoshi, S., Rai, A., Joshi, H. C. (2011). Molecular modeling and competition binding study of Br-noscapine and colchicine provides insight into noscapinoid-tubulin binding site. *J Mol Graph Model*, 27, 947–955.
- Pedretti, A., Villa, L., Vistoli, G. (2004). Vega - An Open Platform To Develop Chemo-Bio-Informatics Applications, Using Plug-In Architecture and Script Programming. *J Comput Aided Mol Des*, 18, 167-173 .
- Ragasa, C. Y., Cornelio, K. B. (2013). Triterpenes from *Euphorbia hirta* and their cytotoxicity . *Chinese Journal of Natural Medicines*, 11, 0528–0533.
- Ranjan, P., Kumar, S. P., Kari, V., Jha, P. C. (2017). Exploration of interaction zones of β -tubulin colchicine binding domain of helminths and binding mechanism of anthelmintics. *Computational Biology and Chemistry*, 68, 78-91.
- Ravelli, R. B., Gigant, B., Curmi, P. A., Jourdain, I., Lachkar, S., Sobel, A. (2004). Insight into tubulin regulation from a complex with colchicine and a stathmin-like domain. *Nature*, 428, 198-202.
- Remko, M. (2009). Theoretical study of molecular structure, pK_a, lipophilicity, solubility, absorption, and polar surface area of some hypoglycemic agents. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 897, 73-82.
- Schmidt, M. W., Baldrige, K. K., Boatz, J. A., Elbert, S. T., Gordon, M. S., Jensen, J. H. (1993). General Atomic and Molecular Electronic Structure System. *Comput. Chem.*, 14, 1347-1363.
- Shi, Q.-W., Su, X.-H., Hiromasa, K. (2008). Chemical and Pharmacological Research of the Plants in Genus *Euphorbia*. *Chemical Review*, 108, 4295–4327.
- Shin, W.-H., Xiaolei, Z., Bures, M., Kihara, D. (2015). Three-Dimensional Compound Comparison Methods and Their Application in Drug Discovery. *Molecules*, 20, 12841-12862.
- Trott, O., Olson, A. J. (2010). AutoDock Vina: Improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of Computational Chemistry*, 31, 455-461.
- Tuszynski, J. A., Brown, J. A., Crawford, E., Carpenter, E. J., Nip, M. A., Dixon, J. M. (2004). Molecular Dynamics Simulations of Tubulin. Structure and calculations of electrostatic properties of microtubules. *Mathematical and Computer Modelling*, 41, 1055-1070 .
- Vainio, M. J., Puranen, J. S., Johnson, M. S. (2009). ShaEP: molecular overlay based on shape and electrostatic potential. *J Chem Inf Model.*, 49, 492-502.
- Vilanova, C., Díaz-Oltra, S., Murga, J., Falomir, E., Carda, M., Redondo-Horcajo, M., (2014). Design and Synthesis of Pironetin Analogue/Colchicine Hybrids and Study of Their Cytotoxic Activity and Mechanisms of Interaction with Tubulin. *Journal of Medicinal Chemistry*, 57, 10391–10403.
- Wani, M. C., Horwitz, S. B. (2014). Nature as a remarkable chemist: a personal story of the

discovery and development of Taxol. *Anti-Cancer Drugs*, 25, 482–487.

Yan, S., Ye, D., Yi, W., Yan, Z., Pu, Z., Du, X., (2011). Ent-Kaurane Diterpenoids from

Euphorbia hirta. *Record of Natural Products*, 5, 247-251.

CIENCIAS EXACTAS

ÍNDICE EPT COMO BIOINDICADOR DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO TORBES, TÁCHIRA, VENEZUELA

EPT INDEX AS A BIOMARKER FOR WATER QUALITY OF TORBES RIVER HIGH STREAMS IN THE STATE OF TÁCHIRA, VENEZUELA

Autores:

Perruolo, Gustavo; Chacón, Andrés; Tovar, William

Universidad Nacional Experimental del Táchira. Decanato de Investigación. Centro de estudios de vectores de enfermedades CEVE.

Corresponding Author: gustavoperruolo@yahoo.es

RESUMEN

El índice biológico EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) es un análisis realizado mediante la utilización de tres órdenes de macroinvertebrados, indicadores de buena calidad de agua debido a su alta sensibilidad a la contaminación. Se obtuvo contando el número de taxones de estos órdenes presentes en la muestra. El valor obtenido se comparó en una tabla de calidad de agua. Este índice fue aplicado a los macroinvertebrados recolectados en cuatro estaciones: Páramo El Zumbador nascente Guárico (A), El Zumbador (B), La Encantada (C) y puente Monte Carmelo comunidad Juana Ramírez "La Avanzadora" (D) de la subcuenca alta del río Torbes en los municipios andinos José María Vargas y Andrés Bello del estado Táchira, al occidente de Venezuela, realizado entre los meses de septiembre a diciembre de 2017, utilizando una red de mano con malla de 500 µm. y apertura de 30 cm. Se capturó un total de 1156 ejemplares de los tres órdenes, que fueron contados, preservados en etanol 70 % e identificados en familias mediante claves taxonómicas. El índice EPT dio 11 para la estación "A" (sin impacto), la "B" con 1 (severamente impactada) y "C", "D" obtuvieron 5 (con una calidad del agua moderadamente impactada).

ABSTRACT

The biological index used in this study as EPT (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) is the result of the analysis carried out through the use of these three orders of Macroinvertebrates which are seen as good indicators for water quality due to its high sensitivity to pollution. It was obtained counting the number of taxa of these orders existing in the sample. The value obtained was compared in a table for water quality. This index was applied to the macroinvertebrates collected in four different stations: Páramo El Zumbador nascent Guárico (A), El Zumbador (B), La Encantada (C) Monte Carmelo bridge in the community of Juana Ramírez "La Avanzadora" and (D) in Torbes River streams located in the Andean municipalities José María Vargas and Andrés Bello in the State of Táchira, Western Venezuela. This was developed during the months of September to December 2017, using a hand-made net with 500 µm mesh network and opening of 30 cm. The whole captured was 1156 specimens belonging to these three orders which were counted, preserved in ethanol 70% and identified by families using taxonomic keys. An EPT index of 11 for the station "A" (no impact), 1 for "B" (severely impacted) and 5 for "C", "D" (with water quality moderately impacted). N-258, LYS-352, with an average interaction-free energy of -8.7 Kcal/mol.

Palabras clave: : Bioindicadores, EPT, Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, río, andes, Venezuela.

Key words: : Bioindicators, EPT, Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera, River, Andes, Venezuela

INTRODUCCIÓN

La caótica situación de algunos de los más importantes ríos ha aumentado el interés por conocer los factores que influyen en su dinámica, es por esto que el empleo de distintas herramientas metodológicas permitiría realizar un diagnóstico general del estado de estas cuencas (Springer, 2010).

La gran diversidad de factores que influyen sobre la dinámica del recurso hídrico hace insuficiente la evaluación basada en los parámetros fisicoquímicos tales como temperatura máxima y mínima del agua, pH, dureza total, oxígeno disuelto, alcalinidad, velocidad y caudal del cauce, ya que impiden tener una visión global de la calidad del agua en los ríos pues, al ser puntuales, no muestran los impactos causados en los ecosistemas acuáticos a lo largo del tiempo (Roldán, 2003).

El uso de organismos en la evaluación de la calidad de agua ha sido ampliamente utilizado; sin embargo, de todos los grupos considerados en los monitoreos biológicos de las aguas continentales, los macroinvertebrados acuáticos son los más recomendados; esto se debe a que ofrecen numerosas ventajas en estudios de impacto urbano (Segnini, 2003).

Los macroinvertebrados se han convertido, paulatinamente, en una herramienta práctica para la determinación de la calidad biológica. Esto se ha podido lograr gracias a la capacidad que tienen estos organismos de mantener una estrecha relación con las condiciones del entorno, es decir, son sensibles a pequeñas alteraciones de los parámetros fisicoquímicos del agua representado en la disminución o aumento de la diversidad en un punto de muestreo. (Segnini, 2003; Gamboa *et al.*, 2008).

En la región andina venezolana solo se han realizado estudios de los macroinvertebrados acuáticos en diversos ríos del estado Mérida, tales como, Mucujún (Rincón, 1995), Mucuy y Albarregas (Chacón y Segnini, 1996), Albarregas (Durant y Arellano, 1998; Vega y Durant, 2000), La Picón (Pérez y Segnini, 2005).

El Táchira es un estado rico en recursos hídricos, cuenta con un número importante de cuencas hidrográficas que abastecen los acueductos municipales y surten el agua para actividades agrícolas, ganaderas, y recreativas de la región (Martínez 2000; Zambrano *et al.*, 2010).

Dada la importancia del río Torbes para la región (Martínez, 2000), el presente estudio se enfocó en evaluar, desde el punto de vista biológico, la calidad del agua de la subcuenca alta utilizando el índice EPT, con el objeto de generar una información básica para estudios taxonómicos y ecológicos de diversos grupos de macroinvertebrados bioindicadores, pertenecientes a los órdenes *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera* (Alonso y Camargo, 2005).

Esta información serviría para desarrollar estudios encaminados al análisis integral de la calidad del agua, que permitan implementar acciones de preservación y monitoreo de este ecosistema acuático.

Además, este estudio permitirá crear una base de datos de la biodiversidad acuática de macroinvertebrados en la cuenca alta del río Torbes. Al mismo tiempo, se iniciará una colección de las especies recolectadas que servirán como base fundamental para conocer la composición de las comunidades acuáticas de macroinvertebrados.

MÉTODO

Área de estudio

La cuenca del Torbes presenta una forma alargada siguiendo el curso del río principal. Posee una orientación NE-SW hasta la altura de Táriba y de ahí hasta la confluencia con el río Quinimarí, su orientación es N-S (Torres, 1993).

La zona estudiada está comprendida entre 2614 y 1083 m de altitud, se caracteriza por las fuertes pendientes, la cobertura compuesta por pastos naturales y algunos relictos de bosques que ofrecen adecuada protección. En esta, la actividad económica principal es la ganadería de

leche y los cultivos de hortalizas, flores, caña de azúcar, maíz y frutales que utilizan cantidades importantes de biocidas y abono orgánico (gallinazo). En esta zona se genera un alto volumen de sedimentos a causa de las fuertes pendientes y, en algunos sectores, por el uso inadecuado del suelo.

La subcuenca alta del río Torbes fue seleccionada dada la ubicación estratégica de su cauce que abastece de agua a zonas agrícolas y ganaderas de los municipios Andrés Bello y José María Vargas del estado Táchira (Martínez, 2000). Además, esta región posee potencial agroecoturístico y fue declarada zona protectora río Torbes y alrededores con siglas ZP-54, según decreto No 105 por el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas

(República de Venezuela, 1974), con el propósito de proteger la cuenca del Río Torbes, motivado a que los recursos hidráulicos constituyen un factor de primordial importancia para el desarrollo socio-económico de la zona y para mantener el equilibrio ecológico de la misma.

Índice biológico

El EPT se obtuvo de la suma del número de taxones (familias) de los órdenes *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera* presentes en la muestra. El valor obtenido se comparó en una tabla de calidad de agua. (Klemm *et al.*, 1990) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de calidad de agua según el índice EPT.

Índice EPT	Calidad del agua
>10	Sin impacto
6 – 10	Levemente impactado
2 – 5	Moderadamente impactado
0 – 1	Severamente impactado

Fuente: Klemm *et al.*, 1990

El índice brinda resultados más precisos porque mide la presencia y ausencia de familias catalogadas como sensibles a la contaminación del agua y su relación con el total de la población de macroinvertebrados colectados. Según Roldán (2003) la determinación de la calidad del agua está en relación con la proporción y abundancia en que estos grupos se encuentren representados en la comunidad.

Para expresar en términos porcentuales el grado de semejanza entre las comunidades estudiadas en las cuatro estaciones, se utilizó el índice de similitud de Sorensen (Morales y Pino de Morales, 1995). Este índice otorga más importancia a la doble presencia (familias comunes en ambas comunidades) que a la doble ausencia (familias faltantes en ambas comunidades).

Recolección de macroinvertebrados

Se empleó una red de mano con malla de 500 μm . y apertura de 30 cm para recolectar en diferentes micro-hábitat, en un tramo del río a muestrear de 10 metros (Hanson *et al.*, 2010; Ramírez, 2010) y en cuatro estaciones sobre el río Torbes: Páramo El Zumbador (Naciente Guárico) (A), El Zumbador (B), Puente en La Encantada (C) y Puente en la carretera hacia Monte Carmelo (comunidad Juana Ramírez “La Avanzadora”) (D) (Figura 1).

La temperatura del agua se midió en cada estación de colecta utilizando un termómetro de mercurio.

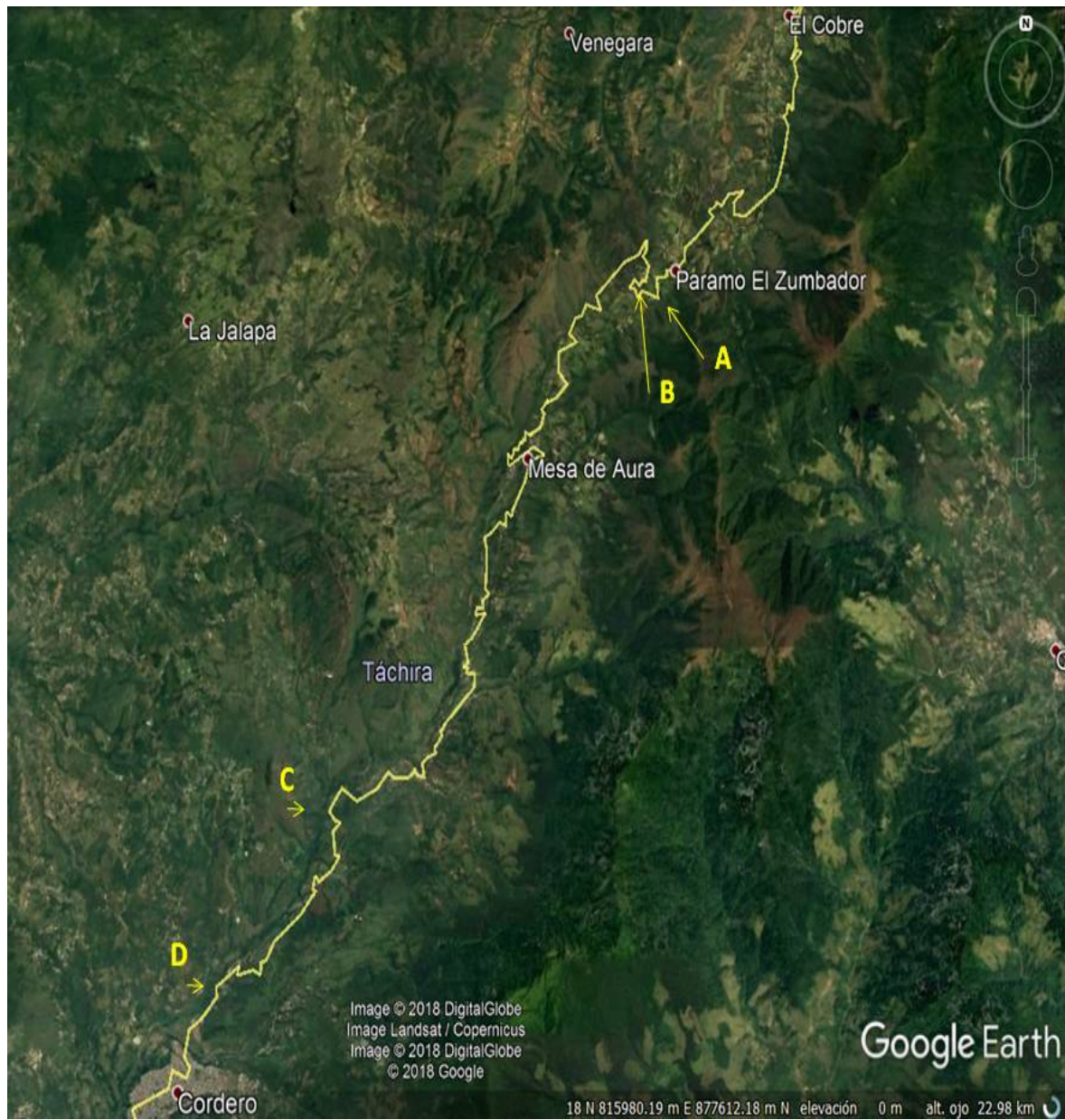


Figura 1. Mapa de ubicación de las estaciones de recolecta sobre la subcuenca alta del río Torbes: “A” Páramo El Zumbador naciente Guárico, “B” El Zumbador, “C” La Encantada y “D” Monte Carmelo. Táchira, Venezuela.

Los ejemplares colectados se llevaron al laboratorio del Centro de estudios de Vectores de Enfermedades de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (CEVE-UNET). Para la identificación de *Ephemeroptera* se utilizaron las claves de Chacón y Segnini (1996), Flowers (2010), Medina y Pérez (2012), Serrano y Zepada (2010); mientras que para *Plecoptera*

Gutiérrez-Fonseca (2012) y Springer (2006, 2012) para *Trichoptera*.

Los organismos se preservaron en etanol 70 %. Los ejemplares identificados fueron depositados en el museo entomológico del CEVE-UNET.

RESULTADOS

Características de las estaciones visitadas

Estación “A” Páramo El Zumbador, naciente Guárico

Altitud 2614 m. Temperatura del agua 10 °C. El cauce está formado por rocas pequeñas a mediano tamaño, con rápidos y remansos en el trayecto y el fondo presenta arena gruesa y rocas de pequeño tamaño. El bosque de galería está formado por vegetación primaria poco alterada. El terreno circundante es rocoso y arenoso y presenta gravilla y hojarasca. La zona de vida predominante es Bosque Premontano (Ewel *et al.*, 1976). No presenta turbiedad y no existe intervención agrícola, ganadera o antrópica.

Estación “B” El Zumbador

Altitud 2410 m. Temperatura del agua 13 °C. Cauce con rocas de mediano tamaño, presencia de remanso en el trayecto, el fondo está formado por arena fina producto del arrastre generado por la erosión en las zonas altas, así como también existe depósitos de sedimentos en el fondo con hojarasca, musgo y algas abundantes.

Terreno: rocoso y arenoso. En este tramo el caudal disminuye considerablemente debido a la extracción para parcelas agrícolas. El bosque de galería presenta vegetación primaria muy alterada. Zona de vida: Bosque Premontano. Turbiedad: media-alta. El grado de intervención es alto formado por desechos de origen antropogénico (contaminación: doméstica, agrícola y pecuaria formada por desechos urbanos, fertilizantes, entre otros).

Estación “C” Puente La Encantada

Altitud 1370 m. Temperatura del agua 18 °C. Cauce con abundantes rocas de gran tamaño con presencia de rápidos y remansos en el trayecto y el fondo es arena gruesa con pequeñas zonas de cascadas, gravilla, rocas en corrientes rápidas y zonas de salpicaduras. El terreno que rodea la zona es rocoso y presenta un bosque de galería con vegetación primaria alterada, raíces,

helechos y troncos en las riberas. La zona de vida es Bosque premontano. Presenta una turbiedad baja y un grado de intervención media formado, principalmente, por actividad pecuaria, doméstica y agrícola.

Estación “D” Puente Monte Carmelo bajando por la comunidad Juana Ramírez “La Avanzadora”

Altitud: 1047m. Temperatura del agua 20 °C. El cauce está formado por rocas en su mayoría de tamaño pequeño y mediano, el terreno tiene características de suelo arcilloso con áreas rocosas y arenosas. El bosque de galería tiene la vegetación alterada y cultivos de pasto. La zona de vida predominante es el bosque húmedo tropical. La turbiedad es media y el grado de intervención es alto, sumándose la doméstica, agrícola y pecuaria en gran cantidad.

El orden más abundante colectado fue *Trichoptera* con siete familias, entre las cuales se destacan: *Hydropsychiidae* y *Leptoceridae* en tres estaciones. En el orden *Ephemeroptera* se capturaron tres familias donde la más abundante fue *Baetidae*. En relación con el orden *Plecoptera* solo se observó la familia *Perlidae* en la estación A (Tabla 2).

El índice EPT contribuyó a determinar que la estación (A) (Páramo el Zumbador naciente Guárico) no presenta impacto de contaminación que afecte las comunidades de las familias de estos órdenes, por ende, la calidad del agua para su protección y desarrollo es adecuada.

Mientras que las estaciones Puente La Encantada (C) y Puente Monte Carmelo (carretera Comunidad Juana Ramírez La Avanzadora) (D) son moderadamente impactadas, por lo que el número de familias de los órdenes EPT es relativamente bajo.

Con respecto a la estación (B) El Zumbador se encuentra severamente impactada, ya que tiene el número más bajo de familias.

Utilizando el índice de similitud de Sorensen se pudo demostrar que la comunidad de la estación

(A) es similar a la (B) en un 16 %, (A) con respecto a (C) y (D) es de 62 %, mientras que

(B) con (C) y (D) es de 20 %.

TABLA 2. EPT, calidad del agua, (Órdenes, familias) de los macroinvertebrados recolectados en las cuatro estaciones de la subcuenca alta del río Torbes, Táchira, Venezuela. 2017.

ORDEN	FAMILIA	Estación A	Estación B	Estación C	Estación D
Trichoptera	Hydropsychidae	X	-	X	X
	Leptoceridae	X	-	X	X
	Glossosomatidae	X	-	-	-
	Hidrobiosidae	X	-	-	-
	Calamoceratidae	X	-	-	-
	Odontoceridae	X	-	-	-
	Polycentropodidae	X	-	-	-
Ephemeroptera	Baetidae	X	X	X	X
	Leptophebiidae	X	-	X	X
	Tricorythidae	X	-	X	X
Plecoptera	Perlidae	X	-	-	-
EPT		11	1	5	5
Calidad del agua		Sin impacto	Severamente impactada	Moderadamente impactada	Moderadamente impactada

DISCUSIÓN

Según el resultado del índice EPT, la calidad del agua de las cuatro estaciones presenta diferencias, siendo la estación “A” la de mayor calidad; posiblemente, esto se debe a que esta estación es la única donde la vegetación ribereña está compuesta por bosque. Diversos autores mencionan en sus trabajos la importancia del bosque ribereño como área de amortiguamiento tras los impactos que pueden tener la agricultura y la ganadería sobre la calidad de agua en la cuenca y en la estabilización del suelo de las quebradas (Robins y Caín, 2002; Vásquez y Reinoso, 2012).

Investigadores como Roldán (2003) y Domínguez y Fernández (2009) indican que la temperatura del agua es uno de los factores determinantes en la distribución de estos organismos. En este trabajo se encontró que los valores más bajos en temperatura del agua se presentaron en las estaciones “A” (10 °C) y “B” (13 °C) en donde se obtuvo la mayor diferencia entre las estaciones. Esto demuestra que los valores más altos de riqueza y abundancia de macroinvertebrados de los órdenes *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera* van a depender de otros factores tales como la

contaminación agrícola, pecuaria y antrópica que es la que predomina en la estación “B”.

Roldán (2003), Plafkin *et al.* (1989) y Barbour *et al.* (1999) señalan que los taxones EPT son muy sensibles a la contaminación, por lo cual su presencia abundante en la estación (A) Páramo El Zumbador (Naciente Guárico) en el río Torbes sugiere que se encuentra en un estado de buena calidad (sin impacto), lo que convierte a esta naciente en apta para su utilización como referencia.

La estación “A” Páramo El Zumbador (Naciente Guárico) a pesar de que es un cuerpo de agua relativamente pequeño y tributario del río Torbes, registró la mayor diversidad de organismos. Es probable que se deba a que posee abundante vegetación, presencia de rocas, troncos y hojarasca que permiten establecer un hábitat ideal para los organismos (Vásquez y Reinoso, 2012).

El orden *Trichoptera*, presentó una abundancia relevante (siete familias) en la cuenca del río Torbes. Dentro de este orden las familias *Hydropsychidae* y *Leptoceridae* fueron las más capturadas, seguramente porque poseen la capacidad para sobrevivir en diferentes tipos de hábitats que le ofrezcan el sustrato necesario

como rocas, piedras, hojas, arena y grava. Estos organismos pueden tolerar aguas con un poco de perturbación (Roldán, 2003), cualidad que posiblemente les permitió a estas familias tener mayor presencia en la cuenca alta del río Torbes. Estos resultados coinciden con los realizados por Vásquez *et al.* (2010).

Con respecto al orden *Ephemeroptera* Vega y Durant (2000) y Segnini *et al.* (2003) señalan que es el más abundante en todo el territorio venezolano, lo que concuerda con los hallazgos en esta investigación.

Pérez y Segnini (2005), estudiando la variación estacional de efemerópteros en un río altiandino tropical, indican que la familia *Baetidae* es la más abundante en todos los cambios estacionales relacionados con la precipitación, lo que refleja que esta familia encontrada en todas las estaciones de muestreo en el río Torbes es resistente a estos cambios climáticos.

Durant y Arellano (1998) en las cuencas de los ríos Albarregas y Pedraza en el estado Mérida, Venezuela capturan ejemplares de diversas familias de *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*; también aseveran que en las partes altas de los ríos Albarregas y Pedraza capturaron 9 familias, lo que manifiesta una condición levemente impactada. En la zona baja del río Albarregas colectan 1 familia definiendo a este cauce como severamente impactado.

El índice de bioevaluación EPT brindó resultados más precisos porque mide la presencia o ausencia de familias catalogadas como sensibles a la contaminación del agua y su relación con el total de población de macroinvertebrados colectados. Según Roldán (1999) la determinación de la calidad del agua está en relación con la proporción y abundancia con que estos grupos se encuentren representados en la comunidad.

CONCLUSIONES

El índice EPT expresó su importancia en el monitoreo de la calidad del agua en la cuenca alta del río Torbes, porque señaló, sin duda

alguna, la calidad biológica de las aguas en las estaciones estudiadas.

Este índice es una excelente herramienta, de fácil determinación y de muy bajo costo para ser empleada en la evaluación del deterioro ambiental de un ecosistema acuático debido a contaminante. Esto es fundamental en la Venezuela de hoy, donde los recursos para evaluaciones de calidad de agua son escasos y difíciles de conseguir.

Aunque la temperatura del agua es uno de los factores ambientales determinante en la distribución de estos órdenes de insectos, se demostró que hay otros elementos perturbadores que influyen en las poblaciones de los taxones estudiados, tales como la contaminación agrícola, pecuaria y antrópica.

Las estaciones sobre el río Torbes evaluadas se pueden clasificar en tres grupos puesto que presenta tres índices EPT diferentes. Estos índices se caracterizan mediante su condición ecológica del agua como bueno, malo e intermedios, respectivamente.

REFERENCIAS

- Alonso, A y Camargo, J. A. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. Disponible en <http://www.Revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=133>.
- Barbour, M.T. J. Gerritsen, Snyder, B.D. y Stribling, J.B. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Chacón, M y Segnini, S. (1996). Reconocimiento taxonómico de las náyades del orden *Ephemeroptera* en la deriva de dos ríos de alta montaña en el estado Mérida, Venezuela. Bol. Entomol. Venez. N.S. 11 (2), pp. 103-122.

- Domínguez, E. y Fernández, H.R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, pp. 656.
- Durant, P y Arellano, E. (1998). Calidad del agua del río Albarregas. Mérida, Venezuela y su condición para el consumo humano a partir del año dos mil. Grupo de Ecología animal Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, pp. 64.
- Ewel, J; Madriz, A y Tosi, J. (1976). Zonas de vida de Venezuela. Memorias explicativas sobre el mapa ecológico. Ministerio de agricultura y cría. Edición del Fondo nacional de investigaciones agropecuarias. Caracas, Venezuela, pp. 270.
- Flowers, R.W. (2010). Ephemeroptera. En: Springer, M., Hanson, P. & A. Ramírez. Macroinvertebrados dulceacuícolas de Costa Rica. Vol. I. Revista Biología Tropical Suppl.
- Gamboa, M., Reyes, R y Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. Bol. Malariol y Sal Amb XLVIII (2), pp.109- 120.
- Gutiérrez-Fonseca, P.E. (2012). *Plecoptera*. Universidad de Costa Rica, Escuela de Biología. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid
- Hanson, P., Springer, M y Ramírez, A. (2010). Capítulo 1. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos, Rev. Biol. Trop, 58 (4), 3-37. Disponible en: <http://rbt.biologia.ucr.ac.cr/attachments/suppls/sup58-4-macroinvertebrados/05-Hanson-Introduccion.pdf>.
- Klemm, D. J., Lewis, P. A., Fulk, F. y La-Zorchak, J. M. (1990). Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA/600 /4-90 /030. U S. Environmental Protection Agency. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Cincinnati, Ohio 45268.
- Martínez, L. (2000). Una evaluación de tierras y un enfoque prospectivo en los Andes venezolanos Táchira – Venezuela En regisrement Scientifique Nro. 968. Symposium Nro. 35. Disponible en: <http://nates.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp35/968-t.pdf>.
- Medina, B. A y Pérez, B.Y. (2012). Presencia de ThraulodesUlmer 1920 (Ephemeroptera :Leptophlebiidae) en Micro hábitats de los ríos Cabriales y Cupira del Estado Carabobo, Venezuela. FARAUTE Ciens. y Tec.7(1), pp. 23-31.
- Morales G y Pino de Morales L. (1995). Parasitometría. Ed. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela., pp. 254.
- Pérez, B y Segnini, S. (2005). Variación espacial de la composición y diversidad de géneros de *Ephemeroptera* (Insecta) en un río tropical altandino. ENTOMOTROPICA 20(1), pp. 49-57.
- Plafkin, J., Barbour, M.,Porter, K., Gross,S y Hughes, R. (1989). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers.Benthic Macroinvertebrates and Fish.USA.Washington, D.C. Environmental Protection Agency; Office of Water; pp. 20.
- Ramírez, A. (2010). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica. Capítulo 2. Métodos de recolección. Rev. Biol. Trop 58 (supl.4), pp. 41-50.Disponible en: <http://rbt.biologia.ucr.ac.cr/attachments/suppls/sup58-4-macroinvertebrados/06-Ramirez-Metodos.pdf>.
- República Bolivariana de Venezuela. Ministerio P.P. para el Ecosocialismo y Aguas. Decreto N° 105 - Declaratoria de la Zona Protectora - Río Torbes y alrededores. (1974). Disponible en: [diversidad biológica. minamb. gob.ve/ áreas/ ficha/277/](http://diversidad.biológica.minamb.gob.ve/areas/ficha/277/)
- Rincón, J. E. (1995). Evaluación preliminar de la calidad de las aguas del río Mucujún Mérida utilizando los macroinvertebrados bénticos. Investigaciones Científicas 1(1), pp. 33-46.
- Robins, J.D. y Cain, J.R. (2002). The past and present condition of the Marsh Creek watershed. Natural Heritage Institute, Berkeley, pp. 71.
- Roldán, G. A. (1999). Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. XXIII (88), pp. 375-387.
- Roldán, G. A. (2003). Los macroinvertebraos y su valor como indicadores de la calidad del

- agua. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 23(88), pp. 375-387.
- Segnini, S. (2003). El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de os cuerpos de agua corriente. Ecotrópico. 16, pp. 45-63.
- Segnini, S., Chacón, M y Domínguez, E. Efemerópteros. (2003). In: Biodiversidad en Venezuela (Aguilera M., Azocar A. & González E. Eds.), pp. 326-339. CONICIT - Fundación Polar. Caracas. Venezuela.
- Serrano, L y Zepada, A. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden *Ephemeroptera* en El Salvador. En: Springer, M., Sermeño Chicas, J.M. & Vásquez Acosta, D. (eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador, pp. 29.
- Springer, M. (2006). Clave taxonómica para las larvas del orden *Trichoptera* de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 54, (Suppl. 1), pp. 273-286.
- Springer, M. (2012). *Trichoptera*. Rev. Biol. Trop, 58 (Suppl. 4), pp. 151-198. Disponible en: <http://rbt.biologia.ucr.ac.cr/attachments/suppls/sup58-4-macroinvertebrados/11-Springer-Trichoptera.pdf>
- Torres, L. (1993). Análisis Regional de Intensidad, Duración, Frecuencia en la Cuenca del Río Torbes. Trabajo especial de grado Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Geografía. Mérida – Venezuela, pp. 92.
- Vásquez, J., Ramírez, F., Reinoso, G y Guevara, G. (2010). Distribución espacial y temporal de los Tricópteros inmaduros en la cuenca del río Totare (Tolima-Colombia). Caldasia 32(1), pp. 129-148.
- Vásquez, J y Reinoso, G. (2012). Estructura de la fauna bética en corrientes de los Andes colombianos. Revista Colombiana de Entomología 38 (2), pp. 351-358.
- Vega, M y Durant, P. (2000). Fenología de efemerópteros y su relación con la calidad de agua del río Albarregas, Mérida, Venezuela. Rev. Ecol. Lat. Am. 7 (3), pp. 19-27.
- Zambrano, Z., González, J., Guerra, F y Gómez, H. (2010). Reducción de bosques caso: margen derecha de la cuenca del río Torbes, edo. Táchira. Venezuela. Geoenseñanza 15 (1), pp. 75-96.

CIENCIAS EXACTAS

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LA ESPECTROFOTOMETRÍA MONITOREANDO LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL EN UN REACTOR ANAERÓBICO

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE SPECTROPHOTOMETRY'S USE THROUGH THE MONITORING OF RESIDUAL WATER QUALITY IN AN ANAEROBIC REACTOR

Autores:

Duarte, Orlando¹; Sánchez, Lenis²; Cárdenas, Marcos²; Cantão, Mauricio¹; Possetti, Gustavo³; Aisse, Miguel¹

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil

²Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), Venezuela

³Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), Brasil

Corresponding Author: lenis.sanchez@unet.edu.ve

RESUMEN

El tratamiento y análisis de las aguas residuales aún carece de significativos avances; actualmente, nuevos proyectos están siendo desarrollados para ampliar las técnicas de muestreo y análisis. Los instrumentos online se están utilizando por sus ventajas en la transmisión y almacenamiento de datos en tiempo real. La espectrofotometría es el método de análisis óptico más usado en las investigaciones biológicas y físico-químicas. El potencial de uso del espectro completo en la región ultravioleta ha sido investigado para estimar valores de parámetros tales como DQO y DBO_{5,20} en aguas residuales. Las longitudes de onda utilizadas varían de 200 a 400 nm para la región ultravioleta y entre 400 a 800 nm en la región visible. El trabajo describió las principales ventajas y desventajas encontradas en el monitoreo en una PTAR anaerobia con UASB en el sur de Brasil, con espectrofotometría, usando un sistema de medición marca s::can, modelo Carbolyser; los parámetros evaluados fueron la demanda química de oxígeno total (DQO), filtrada (DQOf) y sólidos suspendidos totales (SST). El tiempo de medición de las lecturas fue de tres meses de manera continua. Se utilizó estadística descriptiva y gráficos para el análisis de los resultados. Como principales ventajas se destacaron: disminución de campañas de muestreo, recolección y análisis de muestras para llevar al laboratorio, disminución de reactivos contaminantes, capacidad de proporcionar informaciones del orden de una medición por minuto y su aplicación directamente *in situ*. Como principales desventajas se encontraron: elevados costos de adquisición del equipo y telemetría asociada a la transmisión de datos, necesidad de mantenimiento adaptado a las condiciones del local. Sin embargo, el monitoreo con el uso del sistema s::can será extendido sólo si son asequibles, fiables y capaces de producir datos de calidad. Se considera que la espectrofotometría puede ser aplicada luego de corregir algunos desvíos operacionales.

ABSTRACT

The treatment and analysis of waste water still lacks of meaningful progress; currently, new projects are being developed to expand sampling and analysis techniques. Online instruments are being used for their advantages in the transmission and storage of data in real time. Spectrophotometry is the most common used method for optical analysis in biological and physico-chemical researches. The potential use of the full spectrum in the ultraviolet region has been investigated to estimate parameter values such as COD and BOD_{5,20} in wastewater. The wavelengths used range from 200 to 400 nm for the ultraviolet region and between 400 to 800 nm in the visible region. The work described the main advantages and disadvantages found in the monitoring of an anaerobic PTAR with UASB in the south of Brazil, with spectrophotometry, using a s::can brand measurement system, Carbolyser model, being the parameters evaluated: the chemical demand of total oxygen (COD), filtered (CODF) and total suspended solids (TSS). The measurement time of the readings was three consecutive months. Descriptive statistics and graphics were used to analyze the results. The main advantages are the reduction of sampling campaigns, the collection and analysis of samples to be taken to the laboratory, the reduction of contaminant reagents, the ability to provide information on the order of one measurement per minute and its application directly on site. The main disadvantages are the high acquisition costs of the equipment and telemetry associated with the transmission of data, the need for maintenance adapted to the conditions of the premises. However, monitoring with the use of the s::can system will be extended only if they are affordable, reliable and capable of producing quality data. It is considered that spectrophotometry can be applied after correcting some operational deviations.

Palabras clave: : Demanda Química de Oxígeno (DQO), Espectrofotometría, Monitoreo Online, Reactores UASB, Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Key words: Chemical Oxygen Demand (COD), Spectrometry, Online Monitoring, UASB Reactors, Total Suspended Solids (TSS).

INTRODUCCIÓN

Entre las principales características presentes en las aguas residuales y que pueden utilizarse para conocer su grado de contaminación y eficiencia de depuración (Roa, 2005) pueden citarse a las sustancias químicas. Estas se encuentran presentes en sólidos en suspensión y disueltos, las cuales pueden ser orgánicas e inorgánicas (Butler *et al*, 2011).

Dentro de los parámetros químicos se encuentra la demanda química de oxígeno (DQO). Este es un parámetro de gran importancia porque es una medida de la cantidad de sustancias disueltas o en suspensión, susceptibles de ser oxidadas por medios químicos en una muestra líquida; además, provee información sobre la eficiencia del sistema de tratamiento utilizado (Brito *et al.*, 2014).

Otro parámetro que se puede determinar y analizar es la DQO filtrada, en la que la muestra fluye a través de papeles con poros de 0,45 μm . El líquido filtrado es sometido al análisis estandarizado de la DQO, necesitando los mismos equipos y reactivos (Torres, 2013).

La depuración de las aguas residuales se basa en los procesos que de manera natural ocurren en la autpurificación de los cuerpos de agua. A través de operaciones físicas y procesos químicos y biológicos, una planta de tratamiento busca disminuir la presencia de material sólido, patógenos y sustancias tóxicas del agua residual que, si no son removidos, ocasionan daños ambientales y afectaciones sanitarias (Roa, 2005).

Los procesos biológicos para el tratamiento de efluentes líquidos, dependiendo de las exigencias de oxígeno molecular, se pueden clasificar en aerobios, anaerobios y facultativos (Torres, 2012). Los anaerobios presentan algunas ventajas con respecto a los otros: en muchos de ellos no es necesaria la sedimentación primaria, operan en un rango de temperatura predominante en zonas tropicales, menor generación de lodos, bajos costos y producción de metano (compuesto

con alto poder calorífico, el cual puede ser utilizado) (Romero, 2004; Roa, 2005; Torres 2012). De hecho, estos procesos son reconocidos con mayor auge como alternativa viable para el saneamiento de los efluentes residuales, siendo sostenibles y adecuados para las naciones en vías de desarrollo (Gandarillas, *et al.*, 2017).

Existen varias opciones tecnológicas para el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales. En Brasil ha tomado auge la construcción de reactores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) (Torres, 2012), los cuales también reciben del nombre de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) o procesos ascensional de manto de lodos anaerobio (PAMLA) (Romero, 2004).

A pesar de lo anterior, pareciera que en América Latina el muestreo y tratamiento de aguas residuales todavía carecen de avances significativos (WSP, 2007). Los procesos convencionales de toma de muestras en aguas, específicamente su conservación y transporte, deben tener cuidados de esterilización de los recipientes, uso de equipos de protección personal, almacenamiento a bajas temperaturas, entre otros. Asimismo, los procedimientos estandarizados para la determinación de parámetros como la DQO, son susceptibles a errores humanos, dependen del uso de químicos, generan residuos peligrosos y pueden presentar varias interferencias (APHA, AWWA y WEF, 2012). Todo ello contribuye a altos costos y duración en su realización.

Brasil no escapa de esa realidad, pero nuevos proyectos están siendo desarrollados en los últimos años para ampliar tanto la cobertura de depuración, como las técnicas de muestreo y de análisis; procedimientos y equipos novedosos están siendo evaluados, con lo cual se busca mejorar la eficiencia operacional en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

La medición de la absorbancia en múltiples longitudes de onda (espectro) para el monitoreo y control de procesos, tiene una amplia aplicación en industrias químicas, farmacéuticas,

alimentarias, textiles, entre otras (Baures *et al.*, 2007; Ojeda *et al.*, 2009). El potencial de uso del espectro completo en la longitud UV ha sido investigado para estimar valores de carbono orgánico total (COT), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_{5,20}) en aguas residuales (Thomas *et al.*, 1997). La espectrometría en longitudes ultravioleta y visible (UV-Vis) permite la obtención de información de extrema relevancia (Van del Broeke *et al.*, 2006). Es una técnica rápida y simple, usada para la evaluación de aguas residuales (Thomas *et al.*, 2005).

La naturaleza química y la concentración de los componentes disueltos absorbentes junto con las características físicas y la concentración de material heterogéneo, son los dos fenómenos responsables de la forma del espectro de UV-Visible en una muestra de agua. Por consiguiente, la espectroscopia directa implica dos fenómenos principales: el mecanismo de absorción química, que se explica por la ley de Beer-Lambert y el efecto de dispersión y su difusión asociada a la presencia de sólidos suspendidos y coloidales (Thomas *et al.*, 1996).

Los compuestos orgánicos (oxidables) de origen antropogénico y natural contienen grupos cromóforos (conjunto de átomos de una molécula responsable de su color), los cuales pueden ser detectados por espectrofotometría UV-Visible (Thomas *et al.*, 1996).

Recientemente, han sido objeto de estudio nuevos sensores para mejorar la confiabilidad y uso de la espectrofotométrica *online*, por ejemplo, el uso de espectrómetros sumergidos en alcantarillas para fines investigativos (OTHU, 2009; Hulsman, 2011), además de un reciente seguimiento de aguas residuales en tuberías de drenajes urbanos (Brito *et al.*, 2014). Como una desventaja de estos equipos se puede entender el elevado costo.

El presente trabajo evaluó el uso de la técnica espectrofotométrica mediante una sonda marca s::can en el reactor anaerobio de flujo ascendente

(UASB) de una estación de tratamiento de aguas residuales domésticas, siendo los parámetros evaluados la demanda química de oxígeno y los sólidos suspendidos totales. Asimismo, permitió establecer las ventajas y desventajas que presentaba el uso del equipo utilizado.

La estación de tratamiento de aguas residuales donde se desarrolló la evaluación se localiza en el sur de Brasil, específicamente en el estado de Paraná, se encuentra en operación desde el año 2002 y, actualmente, depura un caudal medio de 320 L/s. El sistema está compuesto por el tratamiento preliminar (rejillas de 20 mm y rejillas 3 mm mecanizadas, con desarenador y canaleta parshall), dispone de seis reactores tipo UASB, con capacidad nominal de 70 L/cada uno (420 L/s en total) y luego pasa por lagunas aerobias. El efluente es transferido a un cuerpo de agua situado en la cuenca del río Iguazú.

MÉTODO

Para el logro de los objetivos propuestos, se utilizó un enfoque cuantitativo, bajo una metodología de campo.

El sistema de medición online de demanda química de oxígeno (DQO) empleado, es de marca s::can, modelo Carbolyser (Figura 1). Está compuesto por una sonda y una unidad controladora que mide concentraciones entre 100 y 1200 mg DQO/L, además de DQO filtrada (DQOf) y sólidos suspendidos totales (SST), usando como técnica la espectrometría UV/VIS. La medición es hecha por medio de la diferencia de intensidad de la luz UV emitida por la lámpara, la cual se encuentra dentro de la ventana de la sonda y llega al detector después de pasar por la muestra. El instrumento fue instalado dentro de la PTAR y se calibró en función de las condiciones específicas de la planta. El líquido residual es bombeado desde una caja de distribución en la entrada de los reactores hasta el lugar del sistema de medición (Figura 1).

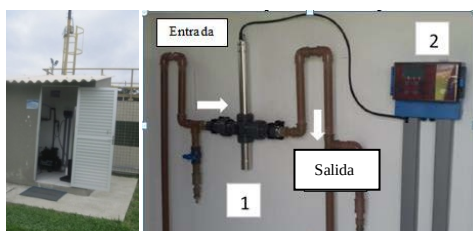


Figura 1. Esquema de la instalación de la sonda de DQO: (1) Sonda Carbolyser (espectrofotómetro), (2) Display controlador del equipo.

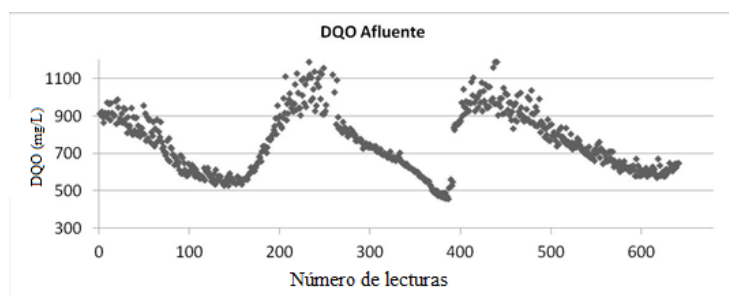
Las mediciones del equipo se ejecutaron cada 60 segundos (se muestra en el *display* de la sonda). Se empleó un sistema de telemetría con señal GPRS. Los datos fueron transmitidos por el módulo de comunicación cada cinco minutos y se almacenan en un banco de datos online (www.komvex-scada.com).

Se realizó un seguimiento de 72 horas continuas (15 al 17/02/2017) de la DQO, DQOf y SST. Se presentan gráficos que describen el comportamiento de las variables estudiadas. Asimismo, durante 120 días (diciembre 2016, enero y febrero 2017) se monitoreó la data transmitida desde la planta de tratamiento hasta la página web (www.komvex-scada.com), donde fueron archivados los parámetros monitoreados; algunos de los datos son presentados en este documento. Al final, se discuten las ventajas y desventajas de la técnica, basados en los valores de la sonda durante los meses de medición.

RESULTADOS

Se realizaron más de 600 mediciones con frecuencia de cinco minutos durante 72 horas de estudio. El comportamiento de dichas mediciones con el sistema UV/VIS fue el siguiente: la media de los valores resultó 622 mg/L de DQO, con una desviación estándar de 73,9 mg/L; en el caso de la DQOf la media fue $206,04 \pm 59,9$ mg/L; para los SST se midieron $251 \pm 10,6$ mg/L en promedio.

Adicionalmente, fue posible visualizar los patrones y variaciones de los parámetros estudiados. En la curva característica de la DQO afluente a la estación (Figura 2a), se percibió un patrón para los tres días, donde se observan picos y mínimos. Para la DQO filtrada (Figura 2b) y SST (Figura 2c) en la entrada a la estación, se mantiene un comportamiento muy similar a la DQO.



(a)

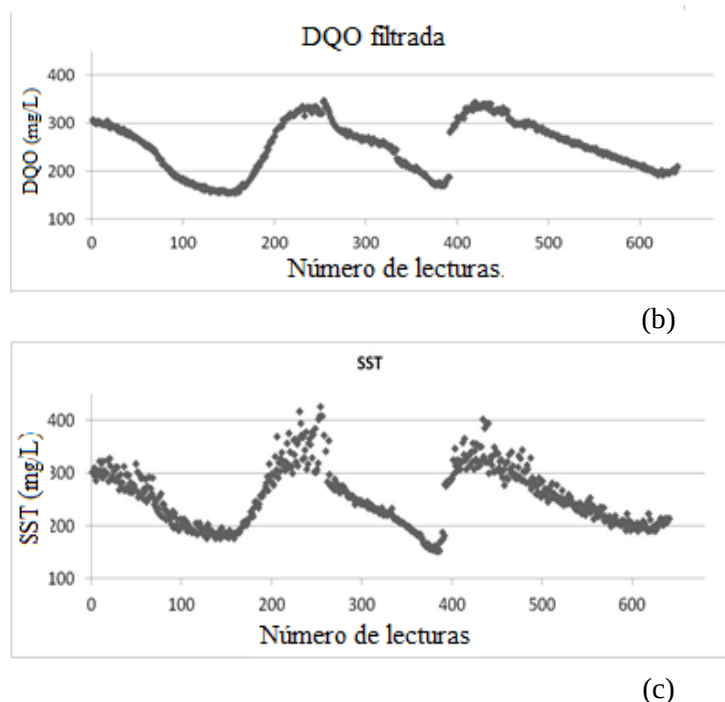


Figura 2. Seguimiento de 72 horas de la DQO, DQOf y SST con mediciones en intervalos de cinco minutos realizadas con el sistema de medición en estudio.

Otro comportamiento observado fue la estabilización de las lecturas. La Figura 3 muestra una curva característica para dicha regulación luego de un evento que afectara su medición (limpieza, obstrucción, problemas eléctricos, arranques, entre otros). Después de la novena lectura el equipo estabiliza su medición

si la variable estudiada se mantiene dentro de un rango normal.

Por otra parte, al ampliarse la visualización de las mediciones de sólidos suspendidos totales para cuatro días (Figura 4), se observa que la curva mantiene un comportamiento horario casi idéntico por día.

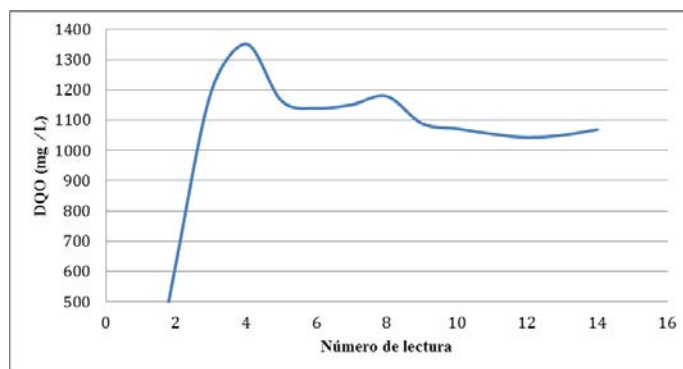


Figura 3. Curva de estabilización de DQO.

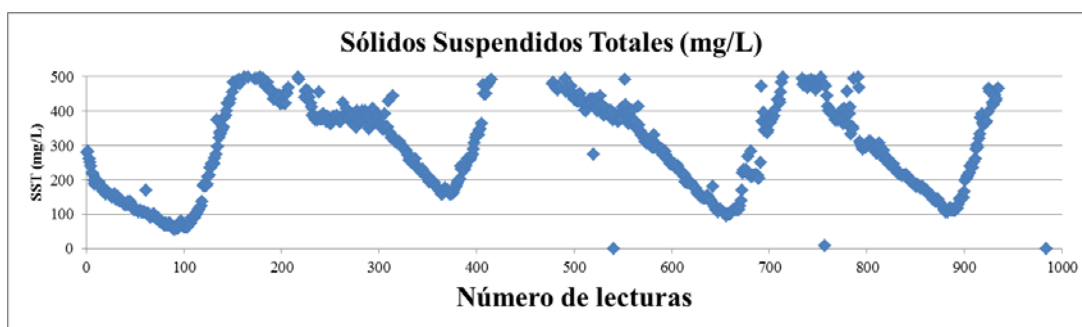


Figura 4. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales en cuatro días de mediciones.

Dentro de los inconvenientes observados en el funcionamiento del equipo, se destaca la acumulación de depósitos de sólidos en la válvula de retención ubicada en la conducción

hacia la sonda y la ventana de medición (Figura 5), los cuales pueden producir un incremento en los valores reportados o lecturas de cero (Figura 6).



Figura 5. Depósitos de sólidos que se acumulan en a) válvula de retención y b) ventana de medición de la sonda.

Los equipos contienen un sistema de autolimpieza con aire comprimido, utilizando una presión de 3 a 5 bar (Gruber *et al.*, 2006) y libre de aceite, grasas y partículas. Para Langengrabre *et al.* (2004), Gruber *et al.* (2006) y Brito *et al.* (2014) el sistema de limpieza con

aire previene la formación y acumulación de una película de sólidos. Durante el presente estudio se verificó que la presión de 5 bar no era suficiente para eliminar la película de sólidos formada, entorpeciendo la medición y confiabilidad de los datos.

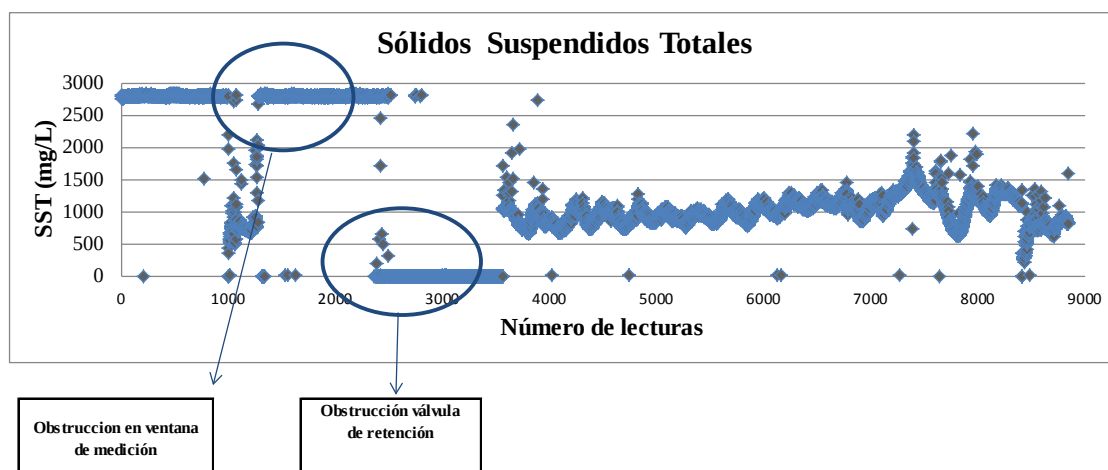


Figura 6. Ejemplo clásico de cómo respondía la sonda durante los problemas de obstrucción de la ventana de medición y la válvula de retención.

Se aplicó un procedimiento de limpieza de la sonda adaptado a la realidad de la estación anaerobia: limpieza manual dos o tres veces por semana haciendo uso de agua tibia, jabón y cepillos especiales, asimismo se realizó el

procedimiento de mantenimiento utilizando el *display*. Después de ello se identificaron cambios y mejoras en las lecturas registradas por el equipo (Figura 7).

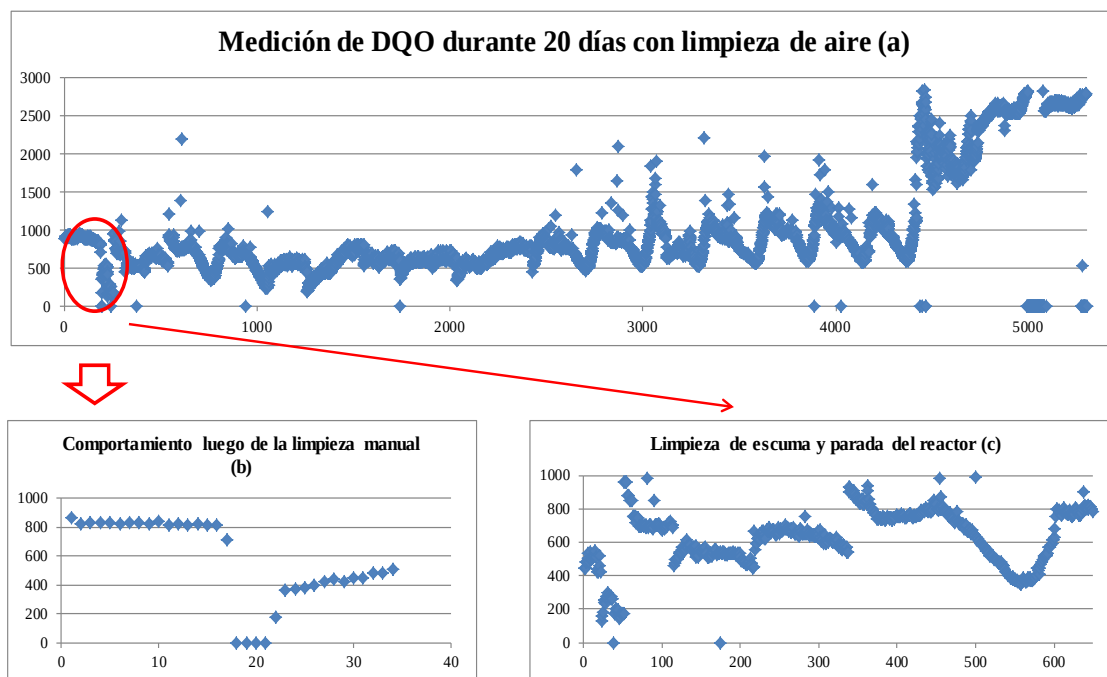


Figura 7. En la gráfica a) se observa una serie de mediciones sin limpieza manual de la sonda trabajando solo la autolimpieza con aire comprimido, b) disminución de los valores medidos luego de una limpieza manual, c) se observan niveles o escalones a medida que transcurre las limpiezas operacionales de espuma o parada de reactores.

DISCUSIÓN

Los resultados mencionados de DQO, DQOf y SST están entre los valores reportados por Aisse, *et al.* (2002). El promedio de materia orgánica químicamente oxidable (DQO) fue similar al reportado en aguas residuales domésticas (612,97 mg/L) por Rivera (2017). En cuanto a la curva obtenida con los datos de DQO (Figura 2a), este comportamiento es característico de la población estudiada debido al uso y consumo del agua en determinados horarios, tal como lo reportan Metcalf & Eddy, Inc. (2003) y equivalente a las variaciones encontradas por Pinto (2015). Asimismo, el patrón de la DQOf (Figura 2b) y SST (Figura 2c) guardan relación con la variación de la DQO, debido a que los sólidos son un importante medio de carga orgánica (Metcalf & Eddy, Inc., 2003). La concentración promedio de SST obtenida es

común para aguas residuales domésticas (Romero, 2004).

La comparación de los valores de la sonda y las pruebas estandarizadas de laboratorio ya han sido reportadas (Duarte *et al.*, 2017).

Ventajas del uso del equipo

a) Análisis de laboratorio. El procedimiento tradicional de control de la calidad de aguas residuales se basa en el muestreo (puntual o compuesto), conservación y almacenamiento de la muestras a baja temperatura, transporte y posterior análisis de laboratorio (APHA *et al.*, 2012). Por su parte, el equipo de medición es capaz de determinar cada cinco minutos los valores, disminuyendo casi a cero la necesidad de inversión y espacio para análisis de

laboratorio, costos en transporte, conservación y almacenamiento. Es importante destacar que la sonda no pretende eliminar por completo los análisis, ya que la legislación establece una frecuencia mínima de DQO y SST y recomiendan seguir procedimientos estándar a nivel mundial (NBR, 24512, 2012). No obstante, una disminución de los análisis trae como consecuencia menor horas/hombre y reducción del uso de materiales y consumo de reactivos.

La DQO varía en función de las características de las materias presentes en las aguas, de sus proporciones, sus posibilidades de oxidación y de otras variables (APHA *et al.*, 2012). Es por esto que la reproductividad de los resultados ofrece disminución de errores de origen humano, al ser hechos siempre por el equipo.

b) Materiales de construcción. El sistema de medición está hecho en acero inoxidable, el cual es un material resistente y robusto. Esto es claramente una ventaja porque exige poca sustitución de piezas y componentes del equipo.

c) Control y vigilancia. La sonda muestra estabilización de sus lecturas luego de algún evento que las hiciera variar imprevistamente (Figura 3). Esto permite tener confiabilidad de los datos en un corto periodo de tiempo, posterior a la ocurrencia de alguna eventualidad (obstrucción, fallas eléctricas, cambios de los flujos medidos, entre otros).

Por otra parte, el sistema, al tener valores *online*, permite evaluar los cambios y establecer una vigilancia operativa sobre la carga orgánica de entrada en la estación, ya que estas fluctuaciones proporcionan datos que ayudan a responder rápidamente en la PTAR a cambios en la constitución del agua residual.

Al respecto, en la Figura 4 se evidenció el comportamiento cíclico que determinadas variables tienen dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas, tal como lo señalan Metcalf & Eddy, Inc. (2003) y, adicionalmente, permiten prever en determinadas horas del día acciones de operación y control en

la PTAR, con las cuales se buscaría garantizar el funcionamiento y eficiencia del sistema, incluso en momentos de valores mínimos o máximos en los constituyentes del agua. Si bien no son los mismos valores de la Figura 2c porque son días distintos, se visualiza una curva casi idéntica pero con lecturas máximas y mínimas diferentes; esto puede explicarse por los factores que afectan variaciones en los usos del agua, tal como los señalan Metcalf & Eddy, Inc. (2003): temperatura, precipitaciones, infiltraciones, días con desarrollo de actividades de mayor consumo de agua (lavar ropa), variaciones estacionales (sequía, lluvia, vacaciones).

d) Impacto ambiental. La preservación, transporte y almacenamiento convencional de las muestras del agua residual y análisis de los parámetros estudiados en la PTAR, siguen las especificaciones detalladas de APHA *et al.* (2012). La metodología usada para la determinación de la DQO se apoya en el uso del dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) como oxidante, con transferencia de las muestras para un frasco de digestión a 150 °C durante dos horas. La lectura de la absorbancia es hecha a 620 nm. Para los SST, igualmente se sigue el Standard Methods (APHA *et al.*, 2012).

El análisis de DQO genera residuos peligrosos y tóxicos, que en contacto con la piel pueden producir quemaduras y son residuos cancerígenos (Hendrickson *et al.*, 1984; EPA, 2008). La frecuencia de análisis en la estación suele ser tres veces por semana y por triplicado, cuestión que agrava la disposición final de los residuos líquidos y costos involucrados. A pesar de que se debe mantener la realización de pruebas con métodos estandarizados, el uso de la sonda puede disminuir la frecuencia de aquellas, lo cual ocasionaría mínima generación y gestión de residuos.

Desventajas

a) Aspectos operacionales. La instalación del sistema fue hecha siguiendo todas las especificaciones del fabricante, respetando las variables eléctricas, mecánicas y de

automatización. Luego de la instalación, el principal problema fue mantener el flujo permanente y continuo dentro de la ventana de medición de la sonda. Esto se presentó, principalmente, cuando existieron fenómenos bruscos que alteraron la composición de la matriz del agua residual, como limpieza de espuma (capa de sólidos flotantes que se aloja en la parte superior y salida del efluente) de los reactores, recepción de lodo de fosa séptica, entre otros.

El tamaño de la ventana de medición es de 2 mm y frecuentemente es afectada por acumulación de sólidos (Figura 5). Durante el desarrollo del estudio este inconveniente fue recurrente por las constantes obstrucciones y taponamiento en las tuberías que conducen el agua residual hasta la sonda, las cuales originaron máximos valores cuando había acumulación de sólidos en la ventana de medición o datos con magnitud cero en los momentos de obstrucción en la válvula de retención (Figura 6). Como contrapartida a este hecho, se aumentó la frecuencia de limpieza manual de todas las válvulas de retención y el mantenimiento de la bomba.

Asimismo, como las características de las aguas residuales domésticas pueden variar dependiendo del lugar y afectar la operación y funcionamiento de los equipos, es conveniente proceder a una calibración local y actividades de limpieza para mejorar la calidad de los datos (Figura 7). Se requiere personal que se encargue de dichas actividades.

Por otra parte, su instalación y uso puede no ser factible en sistemas de depuración pequeños, donde no se cuente con personal y mecanismos permanentes de seguridad, por cuanto existe el riesgo de vandalismo.

b) Costos. Finalmente, también se presenta como desventaja el costo del equipo, el cual puede estar alrededor de 38.880 \$ en Brasil (Duarte *et al.*, 2018). Este valor económico puede ser elevado para sistemas de tratamiento de aguas residuales que no cuenten con recursos asignados para mejorar su monitoreo y operación. No obstante, según Duarte *et al.*

(2018), existe la posibilidad de la viabilidad económica del sistema de medición.

CONCLUSIONES

Se evaluó el uso de un equipo que utiliza la técnica espectrofotométrica en un PTAR, constituyéndose un avance para el monitoreo *in situ* y en tiempo real. Asimismo, a la luz del trabajo realizado, se describieron las principales ventajas de esta técnica: materiales de construcción utilizados en los equipos de medición, menores impactos ambientales por la disminución de los análisis de laboratorio, mayor control y vigilancia del proceso de la PTAR. Como desventajas se encontraron: mantenimiento periódico que garantice la correcta operación del sistema de medición.

REFERENCIAS

- Aisse, M., Lobato, M., Jürgense, D., Ademas, P. (2002). Tratamiento de Efluentes de Reactores Anaeróbios. (Treatment of Anaerobic Effluents with Discharge of Aerobic Sludgeto the UASB Reactor). VII Tallery Simposio Latino Americano sobre Digestión Anaerobia. Mérida, México.
- APHA, AWWA, WEF. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT – NBR ISO 24512 (2012). Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto — Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de água e para a avaliação dos serviços de água potável. Rio de Janeiro.
- Baures, E., Helias, E., Junqua, T. (2007). Fast characterization of non-domestic load in urban wastewater networks by UV spectrophotometry. Journal of Environmental Monitoring. Vol. 9. p. 959-965.
- Brito, R., Pinheiro, H., Ferreira, F., Matos, J., Lourenço, N. (2014). In situ UV-Vis spectroscopy to estimate COD and TSS in wastewater drainage systems. Urban Water Journal, Vol. 11.
- Butler, D., Davies, J. (2011). Urban drainage Practical selection of SVM parameters and

- noise estimation for SVM regression. *Neural networks*, 17(1), p. 113–126.
- Duarte, O., Cantão, M., Possetti, G., Aisse, M. (2018). Avaliação Econômica do Uso do Sistema de Medição Online da Demanda Química de Oxigênio e Sólidos Suspensos Totais, aplicado em uma Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico. [Ponencia aprobada] XXXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Guayaquil-Ecuador.
- Duarte, O., Lisboa, A., Cantão, M., Possetti, G., Aisse, M. (2017). Medição in situ e em tempo real da demanda química de oxigênio em una estação de tratamento anaeróbio de esgoto. 29 ° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- EPA, E-CFR. (2008). Electronic Code of Federal Regulations, Title 40: Protection of Environment. Part268—Land Disposal Restrictions.
- Gandarillas, V., Saavedra, O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017). Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores UASB en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa. *Investigación & Desarrollo*, 1(17), p. 83-98. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312017000100008&lng=es&tlng=es.
- Gruber, G., Bertrand-Krajewski, J., De Bénédittis, J., Hochedlinger, M., Lettl, W. (2006). Practical aspects, experiences and strategies by using UV/VIS sensors for long-term sewer monitoring. *Water Practice & Technology*. Vol. 1.
- Hendrickson, K. J., Benjamin, M. M., Ferguson J. F., Goebel, L. (1984). Removal of Silver and Mercury from Spent COD Test Solutions. *Journal Water Pollution Control Federation*. Vol. 56, No. 5, p. 468-473.
- Hulsmann, A. (2011). Prepared. D3.1.3 A common protocol for sensor testing. Disponible en: <http://www.preparedfp7.eu/prepared-publications>. p. 39.
- Langergraber, G., Gupta, J. K., Pressl, a, Hofstaedter, F., Lettl, W., Weingartner, A., Fleischmann, N. (2004). On-line monitoring for control of a pilot-scale sequencing batch reactor using a submersible UV/VIS spectrometer. *Water science and technology*. Vol. 50(10), 73–80.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: treatment and reuse*, cuarta edición, New York.
- Ojeda, C., Sánchez, F. (2009). Process analytical chemistry. Applications of ultraviolet/visible spectrometry in environmental analysis. An overview. *Applied Spectroscopy Reviews*. Vol. 44, p. 245 265.
- OTHU. (2009). Rapport d'activités scientifique 2006/2008. Fédération d'équipes de recherche, OTHU - Observatoire de terrain en hydrologie urbaine. INSA, BRGM, CEMAGREF, ECL, ENTPE.
- Pinto, R. (2015). Funcionamiento y evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Parroquia San Pedro del Río, municipio Ayacucho, estado Táchira. Proyecto especial de grado. Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- Rivera, Z. (2017). Determinación de los valores de coeficiente de retorno y aporte unitario en términos de materia orgánica, sólidos, grasas y aceites, para vertidos líquidos en la comunidad residencial de Quinimarí, ubicada en San Cristóbal, estado Táchira. Proyecto especial de grado. Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- Roa, J. (2005). *Fundamentos básicos de los procesos ambientales para Ingenieros*. Segunda edición, San Cristóbal, Fondo Editorial UNET.
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Tercera edición, Bogotá, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Thomas, O., Baurès, E., Pouet, M.F. (2005). UV spectrophotometry as a non-parametric measurement of water and wastewater quality variability. *Water Quality Research Journal, Canada*. Vols. 40 (1). p. 51-58.
- Thomas O., Theraulaz F., Agnel C., Suryani S., (1996). Advanced UV examination of

- wastewater. Environmental Technology. Vol. 17: 251-261.
- Thomas, O., Theraulaz, F., Cerda, V., Constant, D., Quevauviller, P. (1997). Wastewater quality monitoring. Trends in analytical chemistry. Vol.16, p. 419 - 424.
- Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. Revista EIA [en línea] (18), p. 115-129. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149225098009>
- Torres, A. (2013). Métodos Machine Learning aplicados para estimar la concentración de los contaminantes de la DQO y de los SST en hidrosistemas de saneamiento urbano a partir de espectrometría UV-Visible [Documento en línea]. Trabajo de grado de Maestría. Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/3811>
- Van der Broeke, J., Langergraber, G., Wiengartner, A. (2006). On-line and in-situ UV/vis spectroscopy for multi-parameter measurements: a brief review. Spectroscopy europe. Vol. 18 (4).
- Water and Sanitation Program (WSP). (2007). Saneamiento para el desarrollo ¿Cómo estamos en 21 países de América Latina y El Caribe? Disponible en: http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/11282007125731_Latinosan_Final.pdf

CIENCIAS EXACTAS

TRATAMIENTO EFICIENTE DE RESIDUOS LÍQUIDOS CON FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE DE TRES FASES (TRI-FAFS)

EFFICIENT TREATMENT OF LIQUID WASTE WITH ANAEROB FILTERS OF ASCENDING FLOW OF THREE PHASES (TRI-FAFS)

Autores:

Maldonado, Julio¹; Rodríguez, Jarson²; Márquez, Adriana³¹ M. Sc. Ingeniería Ambiental, Universidad de Pamplona- Col. Programa Doctorado en Ingeniería – Ambiental, U.C. Venezuela² M. Sc Maestría en Ingeniería Ambiental y Arquitectura. Universidad de Pamplona - Colombia.³ Ph.D. Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC), Universidad de Carabobo. Valencia - Venezuela.**Corresponding Author:** : jimaldonadom@hotmail.com

RESUMEN

Los lixiviados de rellenos sanitarios y las aguas residuales municipales impactan negativamente los cuerpos receptores. Los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente - FAFA son reactores que, operativamente, han tenido eficiencia media en el proceso de remoción de la materia orgánica ($\leq 60\%$ DQO). Esta investigación se desarrolló con el objeto de optimizar el FAFA, según lo recomendado por investigadores como Parkin y Owen (1986), Ortiz (1992), Romero (2004) determinando como alcance mejorar las eficiencias en la remoción de materia orgánica ($\geq 80\%$). El diseño experimental fue factorial 3^3 . Se dividieron los cuerpos de los FAFA's en dos fases (DI-FAFS) y tres fases TRI-FAFS con relaciones volumétricas variables. Se aplicaron solo tres cargas orgánicas volumétricas de 2.25, 3.45 y 4.64 Kg DQO/m³-día y se operaron a 20, 27 y 34 °C con tiempos de retención hidráulica entre 16 – 18 horas, respectivamente. Se obtuvieron relaciones volumétricas óptimas en los DI-FAFS de $V_1/V_2 = 20/80\%$ en el sentido del flujo y en los TRI-FAFS de $V_1/V_2/V_3: 10/10/80\%$ del volumen total útil, logrando eficiencias (DQO) hasta el 74 % y 94 %, respectivamente. Se concluye que los DI-FAFS y los TRI-FAFS pueden dimensionarse con un volumen en la primera fase = $0.1 \times \text{Volumen Total}$; la Segunda Fase = $0.1 \times \text{Volumen Total}$ y la Tercera Fase tres = $0.8 \times \text{Volumen Total}$ y pueden ser utilizados en el tratamiento eficiente de aguas residuales y lixiviados.

ABSTRACT

Landfills leachates and municipal wastewater negatively impact receiving sources. The Up flow Anaerobic Filters – FAFA (of the acronym in Spanish) are reactors that have had medium efficiency operationally in the process of organic matter removal ($\leq 60\%$ COD). This research was developed with the objective of optimizing the FAFA as recommended by researchers such as Parkin and Owen (1986), Ortiz (1992), Romero (2004) and determining how to improve the efficiencies in the removal of organic matter ($\geq 80\%$). This experimental design was factorial 3^3 . The bodies of the FAFA's were divided into two phases (DI-FAFS) and three phases TRI-FAFS with variable volumetric relationships; organic volumetric loads of 2.25, 3.45 and 4.64 Kg COD/m³-day were applied, operated at 20, 27 and 34°C with hydraulic retention times between 16 - 18 hours respectively. Optimum volumetric ratios were obtained in the DI-FAFS of $V_1/V_2 = 20/80\%$ in the flow direction and in the TRI-FAFS of $V_1/V_2/V_3 = 10/10/80\%$ of the total useful volume, obtaining efficiencies (COD) up to 74% and 92% respectively. It is concluded that the DI-FAFS and the TRI-FAFS can be dimensioned with a volume in the first phase = $0.1 \times \text{Total Volume}$; the second phase = $0.1 \times \text{Total Volume}$, and the third phase three = $0.8 \times \text{Total Volume}$ which can be used in the treatment of wastewater and leachates efficiently.

Palabras clave: : Filtros Anaerobios, Fases separadas, DI-FAFS, TRI-FAFS.**Key words:** Anaerobic filters, Separate phases, DI – FAFS, TRI-FAFS.

TRATAMIENTO EFICIENTE DE RESIDUOS LÍQUIDOS CON FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE DE TRES FASES (TRI-FAFS)

EFFICIENT TREATMENT OF LIQUID WASTE WITH ANAEROB FILTERS OF ASCENDING FLOW OF THREE PHASES (TRI-FAFS)

TRATAMIENTO RESIDUOS LÍQUIDOS CON TRI-FAFS

Maldonado, Julio ^{*1}; Rodríguez, Jarson.²; Márquez, Adriana³

1. M. Sc. Ingeniería Ambiental, Universidad de Pamplona- Col. Programa Doctorado en Ingeniería – Ambiental, U.C. Venezuela
2. M. Sc Maestría en Ingeniería Ambiental y Arquitectura. Universidad de Pamplona - Colombia.
3. Ph.D. Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC), Universidad de Carabobo. Valencia - Venezuela.

* Autor de correspondencia: jimaldonadom@hotmail.com

RESUMEN

Los lixiviados de rellenos sanitarios y las aguas residuales municipales impactan negativamente los cuerpos receptores. Los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente - FAFA son reactores que, operativamente, han tenido eficiencia media en el proceso de remoción de la materia orgánica ($\leq 60\%$ DQO). Esta investigación se desarrolló con el objeto de optimizar el FAFA, según lo recomendado por investigadores como Parkin y Owen (1986), Ortiz (1992), Romero (2004) determinando como alcance mejorar las eficiencias en la remoción de materia orgánica ($\geq 80\%$). El diseño experimental fue factorial 3^3 . Se dividieron los cuerpos de los FAFA's en dos fases (DI-FAFS) y tres fases TRI-FAFS con relaciones volumétricas variables. Se aplicaron solo tres cargas orgánicas volumétricas de 2.25, 3.45 y 4.64 Kg DQO/m³-día y se operaron a 20, 27 y 34 °C con tiempos de retención hidráulica entre 16 – 18 horas, respectivamente. Se obtuvieron relaciones volumétricas óptimas en los DI-FAFS de $V_1/V_2 = 20/80\%$ en el sentido del flujo y en los TRI-FAFS de $V_1/V_2/V_3$: 10/10/80 % del volumen total útil, logrando eficiencias (DQO) hasta el 74 % y 94 %, respectivamente. Se concluye que los DI-FAFS y los TRI-FAFS pueden dimensionarse con un volumen en la primera fase = $0.1 \times \text{Volumen Total}$; la Segunda Fase = $0.1 \times \text{Volumen Total}$ y la Tercera Fase tres = $0.8 \times \text{Volumen Total}$ y pueden ser utilizados en el tratamiento eficiente de aguas residuales y lixiviados.

Palabras Claves: Filtros Anaerobios, Fases separadas, DI-FAFS, TRI-FAFS.

ABSTRACT

Landfills leachates and municipal wastewater negatively impact receiving sources. The Up flow Anaerobic Filters – FAFA (of the acronym in Spanish) are reactors that have had medium efficiency operationally in the process of organic matter removal ($\leq 60\%$ COD). This research was developed with the objective of optimizing the FAFA as recommended by researchers such as Parkin and Owen (1986), Ortiz (1992), Romero (2004) and determining how to improve the efficiencies in the removal of organic matter ($\geq 80\%$). This experimental design was factorial 3^3 . The bodies of the FAFA's were divided into two phases (DI-FAFS) and three phases TRI-FAFS with variable volumetric relationships; organic volumetric loads of 2.25, 3.45 and 4.64 Kg COD/m³-day were applied, operated at 20, 27 and 34°C with hydraulic retention times between 16 - 18 hours respectively. Optimum volumetric ratios were obtained in the DI-FAFS of $V_1/V_2 = 20/80\%$ in the flow direction and in the TRI-FAFS of $V_1/V_2/V_3 = 10/10/80\%$ of the total useful volume, obtaining efficiencies (COD) up to 74% and 92% respectively. It is concluded that the D

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional, el desarrollo y comportamiento antrópico, los altos niveles de vida y la industrialización han inducido el aumento, la diversificación y la generación incremental de residuos sólidos y de aguas residuales e industriales que, como los lixiviados, son vertidos generalmente en fuentes receptoras (superficiales, subterráneas) y suelos, causando gran impacto y daño ambiental. Esto se constituye en la razón de la búsqueda permanente de nuevas alternativas para mejorar el tratamiento de efluentes líquidos residuales.

Según Torres et al., (2014) existen varios antecedentes de tratamiento aerobio y anaerobio de lixiviados que van desde experiencias a escala laboratorio hasta experiencias a escala real. Entre los sistemas aerobios los más utilizados son los lodos activados y las lagunas aireadas, así como los reactores de biodiscos; en cuanto al tratamiento anaerobio de aguas residuales el sistema más empleado es el reactor UASB que ha reportado muy buenos resultados (Álvarez y Suárez, 2006).

Así que sistemas de tratamiento anaerobio solo o combinados son también biotecnologías viables para tratar lixiviados, especialmente en países tropicales donde la temperatura acelera la biodegradabilidad y permiten, como en el UASB, una mayor remoción de compuestos orgánicos, una mayor generación de subproductos energéticos (CH_4) con bajos tiempos de retención hidráulica, consumo pequeño de energía eléctrica, menores requerimientos de área, muy bajos de construcción y manutención, poca producción de lodos excedentes y simplicidad del funcionamiento (Ramírez y Koetz, 1998); adicionalmente, presentan un bajo requerimiento de insumos químicos.

Torres (2010) indica que los sistemas anaerobios a temperaturas entre 20 y 45 °C alcanzan eficiencias de reducción de DQO en lixiviados entre el 70 % al 80 %, dependiendo de la edad del lixiviado y de la relación de DBO_5/DQO (índice de biodegradabilidad); lixiviados jóvenes (o nuevos) tienen altos índice de biodegradabilidad

relación de $\text{DBO}_5/\text{DQO} > 0.3$, mientras que los lixiviados maduros se caracterizan por la muy baja biodegradabilidad (baja relación de DBO_5/DQO) y muy altos contenidos ácidos húmicos, fúlvicos, sales disueltas y Cloruros, Na, NH_4 y Carbonatos (Renou, et al., 2008).

Los filtros anaeróbicos de flujo ascendente (Young y McCarty, 1969), conocidos con la sigla FAFA han recibido poca aplicación en nuestro medio, porque la baja tasa de crecimiento (baja velocidad de la hidrólisis), restringe la remoción materia orgánica; además, en la fase no metanogénica se pueden desarrollar bioprocesos de fermentación, formación de hidrógeno y ácido acético, a una velocidad mucho mayor que la formación del CH_4 , con baja remoción de nutrientes (N y P) y patógenos, requiriendo postratamientos para remover el residual de la materia orgánica y de sólidos suspendidos.

Según Gonzales (2014), para lograr altos grados de tratamiento, los sistemas anaerobios requieren de temperaturas altas, concentraciones elevadas de alcalinidad, en un rango operativo del pH bastante restringido, con mucha sensibilidad a la contaminación con oxígeno y pueden generar olores desagradables atribuida a la presencia de AGV, amidas y a la bioproducción de H_2S .

Otras limitaciones operativas de los sistemas anaerobios están asociados al tipo de residuo líquido a tratar, especialmente relacionadas con la acidificación, atascamiento por sólidos, grasas y/o material orgánico, problemática que se ha venido estudiando y correlacionando con el fin de disminuir los tiempos de biodegradación y de acelerar y aumentar la eficiencia del tratamiento. Por lo anterior, Cohen (1983) y Romero (2001) han recomendado separar la hidrólisis y formación de ácidos grasos de la fermentación metanogénica para mejorar la eficiencia en el tratamiento anaerobio, de los cuales no se conocen criterios específicos de diseño.

El objetivo fundamental de este estudio fue mejorar la eficiencia de los FAFA's para aumentar la remoción de materia orgánica hasta lograr remociones ≥ 80 % de DQO. Para lograrlo se propuso separar el proceso de biodegradación

de la materia orgánica, en Filtros Anaerobios separados en dos fases (DI-FAFS) y tres fases (TRI-FAFS), operados con temperaturas de 20,27 y 34°C, aplicando tres cargas orgánicas volumétricas (COV) incrementales, utilizando como sustrato el lixiviado del relleno sanitario “Los Guayabales”, generado por los residuos sólidos vertidos por la ciudad de Cúcuta-Colombia.

MÉTODO

Esta investigación se realizó durante más de cuatro años aplicando la siguiente metodología:

Diseño Experimental: Es de tipo factorial 3^3 , las variables independientes son la Temperatura (T), la Carga Orgánica Volumétrica (COV) y los porcentajes volúmenes de las fases del reactor (%V_i); por tanto, cada variable tiene tres niveles cuantitativos fijos, que condujo al diseño y construcción de tres series de tres DI-FAFS/TRI-FAFS cada una, con tres reactores por fase y por serie.

Caracterización de los lixiviados: Se analizaron seis (6) muestras de lixiviados del relleno sanitario Los Guayabales de Cúcuta; parámetros: pH, DQO, DBO₅, Sólidos Totales (ST), Sólidos

Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), Conductividad, Turbiedad, Cloruros, Dureza Total, Alcalinidad Total, N, NH₃, Nitritos, Fosfatos, Sulfatos, Metales pesados, Grasas - Aceites y Coliformes.

Actividad Metanogénica Específica (AME): Se midió siguiendo la metodología indicada por Field (1987) y aplicada por Maldonado (1993) a cuatro lodos procedentes de Bucaramanga de las PTAR de “Río Frío”, “Campollo”, “Macpollo” y estiércol fresco de cerdo, determinando en todos la cantidad de SST, SSV y la relación SSV/SST con análisis estándar (APHA *et al.*, 2013).

Diseño y construcción de los reactores DI-FAFS y TRI-FAFS: Se diseñaron y construyeron las unidades de pretratamiento y tratamiento.

Unidades de pretratamiento: Se han diseñado y construido las unidades de pretratamiento para los nueve DI-FAFS y los nueve TRI-FAFS, con el fin de retener partículas que pudiesen generar obstrucciones, disponiendo de dos trampas en paralelo para remover grasas y aceites y un sedimentador primario, cuyas dimensiones de presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Dimensiones de las unidades de pretratamiento

Unidades	Caudal(L/hora)	Longitud(m)	Ancho(m)	Profundidad(m)	Volumen(L)	TRH(horas)
Trampa de grasas	1,1825	0,16	0,04	0,08	0,512	0,43
Sedimentador	2,365	0,32	0,16	0,08	4,096	1,73
						2,16

Fuente: Rodríguez, J. A. y Maldonado J. I., (2015).

Dimensionamiento y Construcción DI-FAFS

El DI-FAFS se ha diseñado con dos volúmenes en el sentido del flujo de V_{D1} y V_{D2}, donde:

$$V_{\text{total}} = V_{D1} + V_{D2} \quad (1)$$

Zonas de entrada en cada DI-FAFS: Se dispuso de un falso fondo PVC, $\Phi = 2+1/2"$, altura de 0.25 m y un volumen de 0.77 litros, sin relleno, con dos racores $\Phi = 3/8"$; por el inferior ingresa el lixiviado pretratado e impulsado por bombas

peristálticas y el lateral funciona como purga de los lodos generados en el pretratamiento.

Cuerpo de los DI-FAFS: Se diseñaron y construyeron nueve reactores DI-FAFS con tubería de PVC de $\Phi = 2+1/2"$ (Figura 1), en tres series, con alturas variables, según la relación porcentual entre la altura de la fase I/fase II de 80 %/20 %; 50 %/50 % y 20 %/80 %, teniendo como condición que la sumatoria de las alturas de las dos fases fuese de 1.20 m, altura estándar para filtros anaerobios de flujo ascendente de fase

única, con un tiempo de retención de $18 \pm 0,5$ horas y un caudal de 3.5 ml/min, para volumen total de 4.11 litros y útil de 3.8 litros.

En las Tablas 2 y 3 se muestran las alturas y volúmenes para cada una de las fases de los DI-FAFS y TRI-FAFS, que se rellenaron con material soporte conformado por trozos de tubería de PVC $\Phi=1/2''$; $L=1.0$ cm.

Zona de salida y sistema de recolección de gases:
La salida del efluente se realiza por la parte

superior de cada uno de los nueve reactores, por medio de un ducto (racor de bronce), conectado a una manguera plástica de $\Phi = 1/4''$ que entrega la mezcla (líquido – gas) a un separador de fases.

Inoculación y Adaptación de los DI-FAFS: Con el lodo de mejor AME, se inocularon los DI-FAFS agregando lodo inóculo equivalente al 30 % del volumen de cada fase y se inició la formación de biopelícula adherida al soporte, recirculando 8 días agua residual municipal doméstica ARD (DQO: 250-800 mg/L).



Figura 1: Montaje de las tres series de DI-FAFS
Fuente: Rodríguez y Maldonado (2015)

Tabla 2. Porcentajes volumétricos y alturas de las fases I y II de los DI-FAFS en cada serie

FASE	Reactor 1		Reactor 2		Diámetro(m)
	Volumen (%) – (L)	Altura (m)	Volumen (%) – (L)	Altura (m)	
F ₁	20 % = 7.60	0,24	80 % = 30.4	0,96	0,0635
F ₂	80 % = 30.4	0,96	20 % = 7.60	0,24	0,0635

Fuente: Rodríguez y Maldonado (2015).

Tabla 3: Porcentajes volumétricos y alturas de las Fases I, II y III de los TRI-FAFS en cada serie

FASE	Reactor 1		Reactor 2		Reactor 3		Diámetro(m)
	Volumen (%) (L)	Altura (m)	Volumen (%) (L)	Altura (m)	Volumen (%) (L)	Altura (m)	
F ₁	4 % = 0.152	0,048	10 % = 0.38	0,12	16 % = 0.608	0,192	0,0635
F ₂	16 % = 0.608	0,192	10 % = 0.38	0,12	4 % = 0.152	0,048	0,0635
F ₃	80 % = 30.4	0,960	80 % = 3.040	0.96	80 % = 3.040	0.96	0,0635

Fuente: Rodríguez y Maldonado (2017).

Aclimatación de los DI-FAFS: Se suministró una mezcla volumétrica de ARD y lixiviados que reducía cada 24 horas el volumen del ARD en un 5 % e incrementaba el volumen de lixiviados en el mismo porcentaje, lixiviados previamente

diluidos a concentraciones constantes para cada una de las tres series de los DI-FAFS así: Serie baja: [1700 mg/L]; Serie 2 media [2600 mg/L] y Serie 3, alta [3500 mg DQO/L].

Arranque y Operación DI-FAFS: Se inició el tratamiento de los lixiviados con una temperatura constante de 20 °C (en todas las series) y con Cargas Orgánicas Volumétricas (COV) variables según; Serie 1 COV baja de 1,80, Serie 2 COV media de 2,76 y Serie 3 COV alta de 3,71 DQO kg/m³-día.

El sistema de alimentación se mantuvo permanentemente mezclado por medio de un sistema de agitación construido con un motor-reductor eléctrico que, inicialmente, agitaba la mezcla del lixiviado + ARD y, finalmente, solo los lixiviados depositados en los tanques de almacenamiento del sistema lo que, mediante un controlador digital, regulaba la temperatura del sustrato.

Logradas las condiciones estables en cada reactor y para cada carga aplicada, se incrementó la temperatura de 27 °C (media) y, posteriormente, a 34 °C (alta), monitoreando permanentemente las concentraciones del DQO afluente y efluente en todos los DI-FAFS.

Una vez alcanzada la última condición estable se procedió a determinar las eficiencias en la remoción de materia orgánica (DQO) en cada uno de los reactores DI-FAFS y con el Volumen Optimo de la fase II (V_{D2}).

Dimensionamiento y Construcción TRI-FAFS:

El TRI-FAFS es un filtro anaerobio de flujo ascendente separado en tres fases, diseñado para biodegradar materia orgánica bajo condiciones anaerobias, con tres volúmenes (V_{T1} , V_{T2} y V_{T3}) en el sentido del flujo, pero ahora dividiendo la fase I de los DI-FAFS (V_{D2}) en dos nuevos volúmenes (V_{T1} y V_{T2}) tal que $V_{D2} = V_{T1} + V_{T2}$, manteniendo el volumen óptimo del DI-FAFS (V_{D2}) ahora como el Volumen de la Fase III (V_{T3}), es decir, que $V_{D2} = V_{T3}$, cumpliendo la condición de la Ecuación 2 que:

$$V_{total} = V_{T1} + V_{T2} + V_{T3} \quad (2)$$

En los TRI-FAFS, las zonas de entrada, el cuerpo en la zona de salida y sistema de recolección de gases son similares al de los DI-FAFS, varía solo en el número de fases y las alturas de cada una de ellas (Figura 2).



Figura 2: Montaje de las tres series de TRI-FAFS
Fuente: Maldonado J. I. et al. (2017)

Inoculación y Adaptación TRI-FAFS: Se realizó proceso similar al usado en los DI-FAFS.

Aclimatación de los TRI-FAFS: Se utilizó proceso similar al empleado los DI-FAFS.

Arranque y Operación TRI-FAFS: Se empleó proceso similar al aplicado en el arranque de los DI-FAFS y una vez logradas las condiciones estables por carga, se incrementó la temperatura a 27 °C (media) y, posteriormente, a 34 °C (alta), monitoreando siempre el DQO afluente y efluente

en todos los TRI-FAFS. Finalmente, se procedió a determinar las eficiencias en la remoción de materia orgánica (DQO) en cada uno de los reactores y se procesaron los resultados.

Procesamiento Estadístico de Resultados: Se empleó la metodología de superficies de respuesta (MSR) por ser una estrategia experimental y de análisis matemático y estadístico que permitió encontrar las condiciones óptimas de operación.

RESULTADOS

La Tabla 4 presenta los resultados de la caracterización del lixiviado utilizado como sustrato, con las concentraciones promedio y valores máximos y mínimos de los parámetros determinados en las seis (6) muestras analizadas:

Tabla 4. Caracterización de lixiviados relleno sanitario Los Guayabales

PARÁMETRO	UNIDAD	PROMEDIO	VALOR	VALOR	DESVIACIÓN
pH	Unid.	8,47	8,29	8,60	0,14
DQO	mg/L O ₂	9438,33	6440,00	12100,00	2424,66
DBO ₅	mg/L O ₂	2925,00	2200,00	4500,00	1125,94
ST	mg/L	13562,92	12930,00	14320,00	574,92
SST	mg/L	1015,83	670,00	1420,00	339,48
SS	ml/L*h	0,28	0,15	0,50	0,17
SSV	mg/l	5337,08	4860,00	5840,00	333,01
Conductividad	ms/cm	21,43	20,60	22,30	0,70
Turbiedad NTU	UNT	695,88	510,40	1051,20	215,08
Cloruros	mg/L Cl-	2147,86	746,28	3455,00	1201,82
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	2142,39	1128,40	3210,00	829,61
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	9736,81	8942,00	10730,40	730,79
Nitrógeno Amoniacal	mg/L NH ₃	33,33	20,00	60,00	15,06
Nitritos	mg/L NO ₂	1,95	0,22	3,70	1,39
Fosfatos	mg/L PO ₄	284,50	132,00	437,00	114,06
Sulfatos	mg/L SO ₄	200,00	190,00	210,00	14,14
Cobre	mg/L Cu	0,51	0,06	1,04	0,45
Plomo	mg/L Pb	0,59	0,10	1,21	0,44
Cromo	mg/L Cr	0,76	0,54	0,94	0,18
Zinc	mg/L Zn	0,58	0,05	1,02	0,41
Manganeso	mg/L Mn	0,87	0,26	1,77	0,63
Hierro total	mg/L Fe	20,19	18,45	21,53	1,27
Potasio	mg/L K	2381,00	309,00	3208,00	1123,00
Sodio	mg/L Na	1056,87	808,40	1227,80	172,04
Calcio	mg/L Ca	182,42	156,14	223,20	30,74
Magnesio	mg/L Mg	220,39	172,18	251,60	75,11
Grasas y Aceites	mg/L	8,00	5,00	9,50	1,76
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	2150,00	500,00	3000,00	1029,08
Coliformes Fecales	NMP/ 100 ml	1300,00	300,00	3000,00	1033,44

Fuente: Rodríguez y Maldonado (2015)

La variación de pH es poca, tiene condiciones ligeramente básicas que pueden ser un factor de inhibición durante el tratamiento. Según Nájera *et.al.* (2009) los valores de pH y la alcalinidad corresponden a un lixiviado tipo 3 o intermedio, siendo bajas las concentraciones de materia orgánica tanto en términos de DQO como de DBO₅, que lo ubican dentro de los rangos típicos para un lixiviado de vertedero nuevo según

Salgado y Trujillo (2004); sin embargo, por el funcionamiento del relleno sanitario se puede describir que presenta una mezcla de lixiviados provenientes de celdas jóvenes e intermedias, ya que el relleno sanitario Los Guayabales tiene alrededor de 10 años de operación.

El índice de biodegradabilidad es bajo (0,35) y según Luo *et.al.* (2015) con registros entre 0,1 -

0,5 por 0 que se considera que el lixiviado es de tipo intermedio con un índice de biodegradabilidad medio. Además, reportó baja concentración de metales, con presencia de materiales orgánicos recalcitrantes que son parcialmente estables y biológicamente resistentes.

La Tabla 5 muestra las concentraciones de metales pesados encontrados en caracterizaciones de lixiviados de diferentes rellenos sanitarios del mundo reportados por

Pellón *et al.* (2015), Montenegro (2013), Nájera *et al.* (2009), Méndez (2009), Villamizar y Plata (2013) y los reportes de la caracterización hecha en 2014 a los lixiviados del Relleno Sanitario Los Guayabales de Cúcuta, donde se encontraron concentraciones de Pb, Cr, Fe en valores intermedios; mientras que los valores para Zn, K y Na estaba por debajo de los rangos encontrados; y el Mn ligeramente por encima de estos valores medios, aclarándose que al Ca y Mg no se les pudo realizar comparación.

Tabla 5. Presencia de metales pesados en cinco lixiviados de rellenos sanitarios diferentes

Parámetro	Unidad	R.S. Guayabales, Cúcuta, 2014.	Vertedero de Guanabacoa, la Habana, 2014	R.S. Doña Juana, 2011	R.S Tuxtla Gutiérrez, México, 2008.	R.S. Mérida; Yucatán, México, 2002-2003.	R.S. Carrasco, Santander, Colombia, 2001.
Cobre	mg/L Cu	0,51	1,4	0,067	0,19	0,214	0,16
Plomo	mg/L Pb	0,59	0,71	0,23	1,851	0,236	ND
Cromo	mg/L Cr	0,76	0,12	ND	0,827	6,98	0,79
Zinc	mg/L Zn	0,58	6,2	0,59	3,425	3,2	4
Manganeso	mg/L Mn	0,87	ND	0,17	ND	0,81	ND
Hierro total	mg/L Fe	20,19	ND	17,73	21,159	64,05	312,5
Potasio	mg/L K	2381	ND	ND	ND	10252	ND
Sodio	mg/L Na	1056,87	ND	ND	ND	11850	ND
Calcio	mg/L Ca	182,42	ND	ND	ND	ND	ND
Magnesio	mg/L Mg	220,39	ND	ND	ND	ND	ND

Fuente: Rodríguez, J. A. y Maldonado J. I., 2015. R.S. = Relleno Sanitario

Torres *et al.* (2014) indica el rango de los valores de los ST para lixiviados jóvenes, intermedios y maduros que, comparados con los datos del lixiviado del RS Los Guayabales, lo clasifica como de tipo Intermedio, es decir, para RS con una edad entre 5-10 años.

Se caracterizaron los lodos y se realizó el ensayo de AME para cuatro lodos donde se obtuvieron

los resultados indicados en la Tabla 6. La relación de SSV con respecto a SST indica que la biomasa presente en los lodos es alta y permite buenos rendimientos en la biodegradabilidad de sustratos orgánicos y en la producción de metano, siendo el estiércol de cerdo el que reportó la mayor SSV/SST = 0,78.

Tabla 6. Caracterización de lodos

LODO	SSV(mg/L)	SST(mg/L)	SSV/SST
MACPOLLO	18659	28750	0,65
CAMPOLLO	18150	33350	0,54
PTAR RÍO FRÍO	14800	24600	0,60
ESTIÉRCOL CERDO	14550	18590	0,78

Fuente: Rodríguez y Maldonado (2015)

La Tabla 7 muestra los resultados de la medición de la AME donde se observa en todos los lodos que se debe a crecimiento bacteriano, siendo la

AME1 la que se debe seleccionar y el estiércol de cerdo el que reportó la mayor (AME1= 0.05).

Tabla 7. Valores para Ensayo de AME

LODO	AME1	AME2	ITEAA	IOAA	2* ITEAA	IOAA < 2*ITEAA	ESTADO
PTAR Mc Pollo	0,04	0,06	4,70	0,70	9,40	SÍ	Crecimiento
PTAR Campollo	0,04	0,06	4,70	0,54	9,40	SÍ	Crecimiento
PTAR Río Frío	0,04	0,09	4,73	0,97	9,47	SÍ	Crecimiento
Estiércol de Cerdo	0,05	0,04	4,03	0,22	8,06	SÍ	Crecimiento

Fuente: Rodríguez y Maldonado (2015)

Los resultados anteriores permitieron seleccionar al estiércol de cerdo como lodo inóculo porque registró la mejor AME1, inoculando cada reactor (DI-FAFS/TRI-FAFS) con un 30 % del volumen en cada una de sus fases.

Una vez hecha la inoculación se recirculó solo agua residual con concentraciones entre 250 mg/L y 800 mg DQO/l; posteriormente, se aclimataron los reactores (DI-FAFS/TRI-FAFS) mediante la alimentación con una mezcla de agua residual y lixiviados cuyo porcentaje se fue incrementando en el tiempo, mientras que el porcentaje volumétrico del agua residual se disminuía, verificando la concentración del lixiviado mediante ensayos de DQO.

Aclimatados los reactores (DI-FAFS/TRI-FAFS) se inició el tratamiento de los lixiviados de manera simultánea con diferentes COV, simultáneamente, en cada serie y una temperatura inicial de 20 °C (baja), que se incrementó a 27 °C y, por último, a 34 °C a medida que se lograban condiciones de estado estable, teniendo como variable de control la eficiencia en remoción de la materia orgánica en términos de DQO.

Los resultados de las eficiencias en la remoción de materia orgánica medida en mg DQO/l en cada reactor (DI-FAFS/TRI-FAFS), en las diferentes condiciones de volúmenes, cargas y temperaturas de operación se presentan en las Tablas 8 y 9.

Tabla 8. Eficiencias en los DI-FAFS

T °C	CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA(kg DQO/m ³ – día)								
	3,71			2,76			1,85		
	DI-AFS1	DI-AFS2	DI-AFS3	DI-AFS1	DI-AFS2	DI-AFS3	DI-AFS1	DI-AFS2	DI-AFS3
	RELACIONES VOLUMÉTRICAS* (V ₁ /V ₂)								
	80-20	50-50	20-80	80-20	50-50	20-80	80-20	50-50	20-80
20	31,25	43,75	37,50	40,38	42,31	44,23	27,50	37,50	48,75
27	46,40	52,00	60,45	55,77	63,25	70,00	41,73	53,30	66,45
34	52,94	59,45	68,57	62,26	64,15	72,86	59,42	63,77	65,22

Fuente: Rodríguez y Maldonado (2015) (*) Respecto al volumen total

Tabla 9. Eficiencias en los TRI-FAFS

T °C	CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA(Kg DQO/m ³ – Día)								
	2,25			3,45			4,64		
	TRI-FAFS1	TRI-FAFS2	TRI-FAFS3	TRI-FAFS1	TRI-FAFS2	TRI-FAFS3	TRI-FAFS1	TRI-FAFS2	TRI-FAFS3
	RELACIONES VOLUMÉTRICAS* (V ₁ /V ₂ /V ₃)								
	4/16/80	10/10/80	16/4/80	4/16/80	10/10/80	16/4/80	4/16/80	10/10/80	16/4/80
20	84	86	88	85	87	84	88	89	89
27	88	92	90	88	90	89	86	90	92
34	89	91	89	89	92	90	90	93	92

Fuente: Maldonado J.I. et al, (2017) (*) Respecto al volumen total del reactor

DISCUSIÓN

Se observa que las mayores eficiencias se obtuvieron cuando se aplicaron COV entre media y alta, operados con temperaturas entre 27 °C y 34 °C y con volúmenes de la Fase I de medios a bajos (50 %Vt – 20 %Vt) y volúmenes de la Fase II de medios a altos (50 %Vt – 80 %Vt).

El procesamiento estadístico se realizó aplicando la metodología de superficies de respuesta (MSR) como estrategia experimental de análisis matemático y estadístico, lo que permitió encontrar las condiciones óptimas de operación de los DI-FAFS donde la variable dependiente fue la eficiencia (variable cuantitativa) y los factores fueron tres: la Temperatura con tres niveles (20, 27, 34 °C); la distribución volumétrica de los reactores con tres niveles (20, 50, 80 %) y la COV aplicada, con niveles factoriales de 1.80, 2.76 y 3,71 kg DQO/m³-día en los DI-FAFS y 2,25;3.45 y 4.64 kg DQO/m³-día en los TRI-FAFS.

Se observa que el valor de R² es superior en ambos casos al 70 % y un p-valor (p<0.05), indicando que las variables COV, Temperatura y Volumen modifican los valores de la Eficiencia.

La ecuación en términos de factores codificados se puede utilizar para hacer predicciones sobre la respuesta dando niveles de cada factor. El modelo cuadrático para la investigación en los DI-FAFS es el que se presenta en la Ecuación 3:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3)$$

Reemplazando los factores codificados obtenidos a través del programa Design Expert se obtiene la Ecuación 4:

$$E = 61.1 + 11.97T + 0.63COV + 6.46V + 0.52T * COV + 0.057T * V + 1.32COV * V - 5.38T^2 - 6.36 * COV^2 - 0.40V^2 \quad (4)$$

Con los factores y los valores máximos y mínimos de cada uno de los niveles estudiados, se realizaron 75 corridas que el mismo programa estadístico hizo para los datos suministrados y los resultados de la MSR sobre la eficiencia en relación de la carga COV, Temperatura y Volumen, siendo el valor de la eficiencia teórica máxima del 74 % con un volumen de reactor metanogénico del alto, carga orgánica volumétrica media y una temperatura alta de 34 °C (Figura 3).

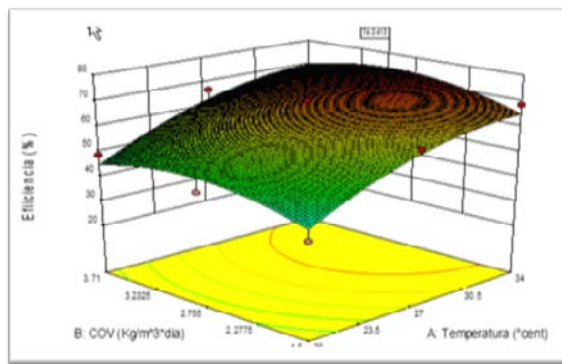


Figura 3. Resultados de la MSR en relación de a carga COV, Temperatura y Volumen.
Fuente: Rodríguez y Maldonado (2015)

Para los TRI-FAFS se operaron bajo diseño experimental factorial 3³ con Tiempos de Retención de 16 horas, Cargas Orgánicas Volumétricas de 2.25, 3.45 y 4.64 Kg DQO/m³-día y temperaturas de 20, 27 y 34 °C, con una relación volumétrica óptima en los DI-FAFS de D₁/D₂ = 20/80 % en el sentido del flujo y en los

TRI-FAFS con relaciones: D₁/D₂/D₃, 4/16/80 %, 16/4/80 % y 10/10/80 % del volumen útil, lográndose eficiencias hasta del 95 % en los TRI-FAFS. Se concluye que estos últimos pueden dimensionarse con un volumen en la primera fase = 0.1*Volumen Total; la Segunda Fase = 0.1*Volumen Total, y la Tercera Fase tres =

0.8*Volumen Total; que pueden emplearse para tratar eficientemente aguas orgánicas y lixiviados con altas concentraciones orgánicas.

CONCLUSIONES

- Los lixiviados del Relleno Sanitario Los Guayabales de Cúcuta son Tipo 3 (Intermedio), pueden ser tratados en los DI-FAFS y/o los TRI-FAFS dadas las ventajas técnico-económicas.
- El análisis estadístico de los resultados con el modelo de superficie de respuesta, confirmó que los DI-FAFS, con un volumen metanogénico del 80% V_{total} , operados entre 27 - 34°C y una COV aplicada de 2,9 KgDQO/m³-día, logra remover entre el 70 – 74 % del DQO.
- La construcción óptima de los DI-FAFS se puede realizar con volúmenes: Fases I del 20% V_{total} del reactor y Fase II del 80 % * V_{total} del reactor, que permite lograr eficiencias reales en la remoción de materia orgánica (DQO) hasta de 72 %.
- Los resultados demuestran que los TRI-FAFS son más eficientes que los DI-FAFS en la remoción de materia orgánica (DQO), cuando operan con (T) entre 20 – 34 °C, y COV entre 2.25- 4.64 Kg DQO/m³-día, y logran eficiencias entre 85-95 %.
- La construcción óptima de los TRI-FAFS se puede realizar con volúmenes de: Fase I del 10 % V_{total} del reactor, la fase II del 10% V_{total} del reactor y la Fase III con el 80 %* V_{total} del reactor y así, dispuesto y operando con (T) $\geq$ 20 °C, puede lograr eficiencias reales en la remoción de materia orgánica (DQO) entre el 85- 95 %.
- Se concluye que los filtros anaeróbicos separados en dos y tres fases (DI-FAFS y TRI-FAFS) son nuevos reactores para el tratamiento de residuos líquidos con altas concentraciones orgánicas y que operan con bajos tiempos de retención. Esto redundará en unidades más pequeñas y eficientes, de bajos costos de construcción y operación, con gran beneficio ambiental, sanitario, económico y social.

RECOMENDACIONES

- Operar los DI-FAFS y TRI-FAFS en las condiciones de temperatura $\geq$ 20 °C, COV entre 2.25 - 4.64 KgDQO/l y TRH entre 16 y 18 horas.
- Investigar a los DI-FAFS y TRI-FAFS utilizando como sustrato aguas residuales orgánicas diferentes a lixiviados para conocer nuevas respuestas en términos de eficiencias.
- Realizar nuevas investigaciones con los DI-FAFS y TRI-FAFS a escalas mayores (escala piloto) para conocer la respuesta de estos reactores y la viabilidad del uso a escala real.

REFERENCIAS

- Álvarez, A. y Suárez, J. (2006). Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” ciudad San José de Cúcuta. Ingeniería y Desarrollo, 20, 95–105.
- APHA, AWWA and WEF (2013). Standard methods for the examination of water and wastewater. 22st ed. Editors APHA, Am. Water Works Assoc. and Water Environment Federation (Washington, DC).
- Cohen, A. (1983). Two - Phase Digestion of Liquid and Solid Waste. Third International Symposium on Anaerobic Digestion, Boston - USA.
- Field, J. (1987). Medición de parámetros en reactores del manto de lodos anaeróbicos de flujo ascendente, Universidad Agrícola de Wageningen Holanda - Universidad del Valle – CAR-del Cauca.
- González Jiménez, S. (2014). Mejoramiento de la eficiencia de sistemas anaerobios y aeróbicos de tratamiento de aguas residuales domésticas a través de humedales artificiales. Tesis de grado. Corporación U. Minuto de Dios. Colombia.
- Luo, J., Qian, G., Liu, J., Xu, Z. P. (2015). Anaerobic methanogenesis of fresh leachate from municipal solid waste: A brief review on current progress. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49, 21–28.
- Maldonado, J. (1993). Evaluación de un sistema de tratamiento para aguas residuales de matadero. Tesis: Universidad Nacional de Colombia-Facultad Ingeniería.
- Maldonado, J., Rodríguez, J. y Cajiao, A. (2017). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios con filtros anaerobios de flujo ascendente de dos fases. Revista Ingeniería UC, Vol 14 No 1. 91-104.
- Méndez, R., Castillo, E., Sauri, M., Quintal C., Giacomán, G. y Jiménez, B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados.

- Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 25(3), 133–145.
- Montenegro, D. (2013). Estimación del efecto del lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana sobre la calidad del agua del Río Tunjuelo y su posible tratamiento en la PTAR Canoas.
- Nájera, H., Castañón, J., Figueroa, J. y Rojas, M. (2009). Caracterización y tratamiento fisicoquímico de lixiviados maduros producidos en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Ortiz, M. (1992). Tratabilidad de aguas residuales de mataderos con filtros. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Ingeniería Civil.
- Parkin, G. F. y Owen, W.F. (1986). Fundamentals of anaerobic Digestion of Wasterwater Sludge, J.EED, Vol. 112 No ASCE.
- Pellón, A., López M., Espinosa M. y Gonzáles O. (2015). Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero de residuos sólidos urbanos. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 36(2), 3–16.
- Ramírez, O., Koetz, P. (1998). Evaluación reactor UASB para el tratamiento de efluentes de la industria de aceite de arroz. V taller y Seminario Latinoamericano de Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Viña del Mar, Chile.
- Renou S.V., Givaudan J.G, Poulain S. Dirassouyan F., Moulin P. (2008). Landfill Leachate Treatment: Review and Opportunity. Elsevier: Journal Hazardous Materials. 150 (2008) 468–493.
- Rodríguez, J. A. y Maldonado J. I., (2015). Determinación del volumen metanogénico requerido en un Filtro Anaeróbico de Flujo ascendente separado en dos fases (DI-FAFS) en el proceso de remoción de materia orgánica de un lixiviado. Tesis de Maestría. Universidad de Pamplona. Facultad de Ingenierías y Arquitectura.
- Romero, J. (2004). Tratamiento de aguas residuales: Teoría y Principios de Diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería, Primera Edición Reimpresa, Bogotá.
- Salgado, P. y Trujillo, V. (2004). Estudio de la calidad del lixiviado del relleno sanitario filtro, esmeralda y su respuesta bajo tratamiento anaerobio piloto de flujo ascendente.
- Torres, P. (2010). Impacto de la incorporación de lixiviados en el arranque de reactores anaerobios al tratar aguas residuales domésticas. Ingeniería y Universidad, 313–326.
- Torres-Lozada, P., Barba-Ho, L., Ojeda, C., Martínez, J. y Castaño, Y. (2014). Influence of leachates age on its physico- chemical composition and toxicity potential. Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica, 17(1), 245–255.
- Villamizar, O. D., y Plata, S. M. (2013). Characterization and implementation of a physicochemical method ftreatment from the landfill carrasco. inovaciencia, 1, 23–2.
- Young J. C. and Mc Carty P. L. (1969). The Anaerobic Filter for Waste Treatment. Journal Water Pollution Control Federation Vol. 41 No 5 Research Supplement to 41, 5, Part II. Paper Published in The Journal Water Environmental Federation 2013.

CIENCIAS EXACTAS

MATERIAL ECOLÓGICO CON FINES DE EMBALAJE A PARTIR DEL HONGO *Pleurotus ostreatus* Y RESIDUOS ORGÁNICOS AGROINDUSTRIALESECOLOGICAL MATERIAL FOR PACKAGING PURPOSES COMPOSED FROM MUSHROOMS *Pleurotus ostreatus* AND AGROINDUSTRIAL ORGANIC WASTE**Autores:****Colmenares, Elicel; Bautista, Luis; Oliveros, Cleomary**

Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela

Corresponding Author: coliver@unet.edu.ve**RESUMEN**

El consumo de plásticos convencionales ocasiona graves problemas ambientales por su característica de no biodegradabilidad. Como alternativa ha sido propuesta la construcción de biomateriales con residuos orgánicos aglomerados con micelio de hongos Basidiomycotas como *Pleurotus*. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un material ecológico con fines de embalaje elaborado a partir del micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* crecido en residuos orgánicos agroindustriales generados en el estado Táchira. Se prepararon nueve materiales empleando residuos molidos de pasto, bagazo de caña, aserrín y cascarilla de café, solos y en mezcla. Se esterilizaron e inocularon con micelio del hongo crecido en granos de sorgo y se incubaron durante 18 días en moldes elaborados según especificaciones de las normas ASTM. Los biomateriales obtenidos se sometieron a pruebas físicas y mecánicas: densidad, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, inflamabilidad y humedad. Los mejores biomateriales fueron: pasto-bagazo-cascarilla-aserrín (proporción: 40:30:20:10 %), bagazo (100 %) y bagazo-cascarilla-aserrín (50:30:20 %). En los biomateriales, el micelio cubrió totalmente los residuos; además, resultaron más densos que el EPS y alcanzaron una deformación del 40 % sin quebrarse, en donde el esfuerzo aplicado varió entre 60 y 810kpa; sin embargo, absorbieron un gran porcentaje de humedad en comparación con los materiales sintéticos. Se encontró que el tamaño de molienda para la conformación del material es un factor influyente en la resistencia y en la absorción de agua, siendo los materiales más resistentes los de molido fino (Diámetro de poro: 5 mm). Se concluye que los materiales evaluados cumplen con los rangos establecidos por la norma ASTM. El material más viable en términos de embalaje correspondió al elaborado a base de bagazo de caña. No obstante, el uso de estos materiales no queda limitado a embalaje siendo potencialmente útil para otros fines.

ABSTRACT

The consumption of conventional plastics causes serious environmental problems due to their non-biodegradability characteristics. As an alternative, the construction of biomaterials with agglomerated organic waste with mycelium of Basidiomycota fungi such as *Pleurotus* has been suggested. The objective of this study was to develop an ecological material for packaging purposes elaborated from the mycelium of the fungus *Pleurotus ostreatus* grown in organic agro-industrial waste generated in the State of Táchira, Venezuela. Nine materials were prepared using ground residues: grass, bagasse, sawdust and coffee husks, on their own and as a mixture. They were sterilized and inoculated with mycelium from the fungus grown in sorghum grains and incubated for 18 days in molds prepared according to specifications of ASTM standards. The biomaterials obtained underwent physical and mechanical tests: density, resistance to bending, resistance to compression, flammability and humidity. The best biomaterials were: grass-bagasse-husk-sawdust (proportion 40:30:20:10%), bagasse (100%) and bagasse-husk-sawdust (50:30:20%). In biomaterials, the mycelium completely covered the residues; they were also denser than the EPS and reached a deformation of 40% without breaking, where the applied effort varied between 60 and 810kpa; however, they absorbed a large percentage of moisture compared to synthetic materials. It was found that the size of grinding for the conformation of the material is an influential factor in the resistance and in the absorption of water, being the most resistant materials those from fine grinding (Diameter of pore: 5 mm). It is concluded that the materials evaluated meet the ranges established by the ASTM standard. The most viable material in terms of packaging purposes corresponded to the one made from cane bagasse. However, the use of these materials is not limited to packaging being potentially useful for other purposes.

Palabras clave: *Pleurotus*, biomateriales, biodegradable, empaques, reciclable**Key words:** *Pleurotus*, biomateriales, waste, organic, packaging.

INTRODUCCIÓN

La producción de embalajes o empaques tiene como objetivo garantizar la protección de productos, con el fin de contenerlos y envolverlos, siendo una actividad masiva y de alto consumo. Los empaques pueden ser elaborados a partir de vidrio, papel, metal, textil, madera y plásticos. Por lo general, estos se convierten en basura luego de su uso, lo que conlleva a una problemática ambiental, ya que en un 95 % son no reciclables (Rubio y Guerrero, 2012). Por otro lado, la energía para la elaboración de empaques sintéticos es de fuentes no renovables como carbón, petróleo y gas natural, necesitando máquinas especiales que demandan agua y energía (Intelligent Use of Energy at School (IUSES), 2010).

Entre los materiales más usados en la producción de empaques se encuentra el Poliestireno Expandido (EPS), el cual es una espuma rígida caracterizada por un termoplástico celular de baja densidad y alta resistencia físico mecánica. No absorbe el agua y es auto extingible (Asociación chilena del Poliestireno expandido (ACHIPEX, s.f). Este material representa un 0,1 % del total de los residuos sólidos urbanos según datos de la Asociación Nacional de Poliestireno Expandido (ANAPE).

Para sustituir los empaques convencionales se ha propuesto la posibilidad de desarrollar y usar empaques elaborados a partir de materiales y residuos orgánicos. Estos empaques ecológicos constituirían una opción factible debido a que, como señalan Rubio y Guerrero (2012), benefician al ambiente por su característica de biodegradabilidad, siendo un material que puede cumplir adecuadamente las funciones de protección propias de un empaque. También, Mayoral *et al.* (2010) sostienen que los materiales ecológicos poseen mejor comportamiento estructural, proporcionando un 20 % de resistencia superior a los materiales sintéticos, presentan mayor densidad, poca inflamabilidad y no emiten gases tóxicos al ser quemados; además, este material no contiene elementos nocivos para los seres humanos o el medio ambiente.

Los residuos orgánicos, especialmente los de origen agrícola, constituyen una fuente importante de sustratos que pueden ser sometidos a una transformación biológica para reducir los mismos y, a la vez, aprovecharlos en diversas aplicaciones. Una forma es mediante la aglomeración de los residuos orgánicos con el micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* para el diseño de materiales ecológicos.

El *P. ostreatus* es un hongo que tiene la capacidad de crecer en diferentes sustratos orgánicos como cascarilla de café, bagazo de caña de azúcar, aserrín, pasto seco y otros materiales con alto contenido de celulosa y lignina (Rivera *et al.*, 2013). Carvajal y Monroy (2010) afirman que *P. ostreatus* es un degradador de materia orgánica que se alimenta principalmente de lignina y celulosa, los cuales se encuentran disponibles en sustratos como paja, rastrojo de maíz, caña, trigo y cebada.

La capacidad de *P. ostreatus* para colonizar y entrelazar residuos orgánicos ha sido explorada con el fin de conformar biomateriales con diferentes aplicaciones. Por ejemplo, en el diseño de materiales biosintéticos para la construcción (González *et al.*, 2013; Ramos *et al.*, 2013), también en el diseño de materiales con fines de embalaje y sustitución del EPS (Bayer *et al.*, 2008; López, 2014). Además, Ramos *et al.* (2013) señalan que estos biomateriales presentan excelentes propiedades mecánicas que los convierten en un material idóneo para competir con contaminantes plásticos como el poliestireno y, por otro lado, serían compuestos totalmente biodegradables. En razón de lo anterior, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un material ecológico con propiedades para embalaje construido con micelio del hongo *P. ostreatus* y residuos orgánicos agroindustriales generados en el estado Táchira.

MÉTODO

La etapa de conformación de los biomateriales se realizó en el Laboratorio de Fitopatología-UNET, mientras que la determinación de los parámetros físicos y mecánicos en el Laboratorio

de Ciencias de los Materiales-UNET, ambos ubicados en el sector Paramillo, avenida Universidad, municipio San Cristóbal, estado Táchira, junto con la colaboración del Laboratorio Fundalanavial ubicado en el municipio Cárdenas Táriba, estado Táchira.

Preparación del micelio: A partir de una seta comercial de *P. ostreatus* se procedió a realizar aislamiento en medio de agar papa dextrosa (39 g/L) con ácido láctico al 1 %. Para ello se cortaron segmentos o trozos del interior del basidiocarpo y colocaron en placa de Petri con el medio de cultivo. Las placas se incubaron a 27 ± 2 °C, por 10 días. Posteriormente, se masificó el micelio en granos de sorgo. Previo a la inoculación, los granos de sorgo fueron precocidos por 40 min, colocados en frascos de vidrio de 500 ml y, seguidamente, esterilizados por vapor a presión a 121 °C durante 1 h. Una vez fríos, los granos fueron inoculados con

segmentos del micelio e incubados en oscuridad por 15 días a 25 ± 2 °C. Una vez los granos estuvieron completamente colonizados se refrigeraron a 5 °C hasta su uso.

Preparación de los sustratos: Se recolectaron residuos agrícolas de bagazo de caña, cascarilla de café, aserrín de madera y pasto de corte seco. Tanto el pasto como el bagazo fueron pasados por picadora de pasto convencional con tres (3) cuchillas. Posteriormente, todos los residuos fueron triturados en molino eléctrico dotado de malla con diámetro de poro de 5 mm y 1,5 cm. A partir de estos residuos se conformaron los materiales, individuales y en mezcla, que se presentan en la Tabla 1. Las proporciones en las mezclas se estimaron tomando en consideración los datos de Bayer *et al.* (2008). Se establecieron comparaciones entre materiales elaborados con residuos molidos a 5 mm y 1,5 cm.

Tabla 1. Código, tipo de residuo y porcentaje de residuo en cada uno de los biomateriales elaborados.

Código del biomaterial	Tipo de residuo	Porcentaje (%)
BM1	Pasto - Bagazo – Cascarilla –Aserrín	40:30:20:10
BM2	Pasto	100
BM3	Bagazo	100
BM4	Cascarilla	100
BM5	Aserrín	100
BM6	Pasto – Bagazo – Cascarilla	50: 30: 20
BM7	Pasto – Bagazo – Aserrín	50: 30: 20
BM8	Bagazo – Cascarilla– Aserrín	50: 30: 20
BM9	Pasto – Cascarilla – Aserrín	50: 30: 20

Conformación de los biomateriales

Adicionalmente y en base a volumen, a cada preparado se le agregó yeso de construcción (1 %), harina de arroz (10 %) y agua (40 %) (Ávila, 2013), siendo agitados y mezclados manualmente, lo más uniforme posible. Seguidamente, 500 ml de cada uno de los preparados fueron colocados en bolsas autoclavables de 3 kg de capacidad y sometidos a esterilización por vapor a presión a 121 °C por 1 h. Una vez frías, cada una de las bolsas fue inoculada con 15 ml de granos de sorgo junto con el micelio del hongo (proporción de 3 % con respecto al volumen de material). La inoculación

se realizó de manera aséptica en cámara de flujo laminar vertical. Las bolsas inoculadas fueron agitadas y selladas con tapón de algodón y gasa, ajustado con un cuello de PVC de 2 pulgadas. Cada bolsa fue cuidadosamente compactada, de manera manual, en una bandeja de aluminio de 500 ml, que fue utilizada como molde. Se prepararon 5 bandejas (repeticiones) por cada material. Los montajes fueron incubados en cámara oscura, por 18 días, a 25 ± 2 °C. Después del periodo de incubación, los materiales se extrajeron de las bolsas y fueron sometidos a 70 °C por 48 h, a fin de detener el crecimiento y extraer la humedad de los biomateriales. Un segundo grupo de biomateriales fue preparado.

Para ello, se escogieron los tres (3) biomateriales de la primera etapa que presentaron la mejor compactación, estos fueron: BM1, BM3 y BM8. En este caso se usaron nuevos moldes, con las medidas establecidas en la norma ASTM C203-99. Fue necesario ajustar el volumen total de cada biomaterial a 750 ml de sustrato, con el cual se construyeron los nuevos moldes. Además, los materiales inoculados con el micelio se dejaron incubar por 5 días, antes de compactarlos manualmente en los moldes. Esto mejoró el crecimiento del hongo y facilitó la manipulación al momento de compactar las muestras.

Determinación de propiedades físicas y mecánicas

A los materiales obtenidos se les determinaron 5 parámetros físicos y mecánicos con base en las

características de la espuma rígida de poliestireno expandido y siguiendo las normas ASTM: densidad (ASTM C578-04), resistencia a la flexión (ASTM C3030-98), resistencia a la compresión (ASTM C203-99) inflamabilidad (ASTM D1621-00) y humedad (ASTM C272). Se realizaron 5 mediciones por material.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Micelio del hongo

En medio de PDA, las colonias del hongo presentaron aspecto algodonoso, con crecimiento en anillos concéntricos y de coloración blanca (Figura 1A). En granos de sorgo se observó un micelio blanco, de aspecto algodonoso y con abundante crecimiento (Figura 1B).

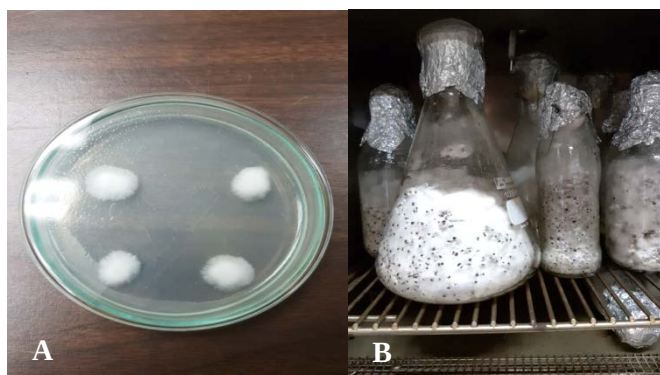


Figura 1. Micelio y colonias de *P. ostreatus*. **A.** Colonias blancas y de aspecto algodonoso creciendo en medio de PDA. **B.** Aspecto del micelio del hongo desarrollado en los granos de sorgo.

Conformación de los biomateriales

En la Figura 2 se presenta una vista de algunos de los materiales conformados con residuos orgánicos, en mezcla e individual, más el micelio del hongo *P. ostreatus*. Se puede observar que incluso en las réplicas del mismo material, se

presentan diferencias en el cubrimiento del hongo. Aquellas que aparecen con un blanco más denso indican un mayor crecimiento del micelio; contrariamente, algunas muestras se presentaron con menor densidad micelial, la cual se refleja en un menor cubrimiento del material.



Figura 2. Aspecto de la conformación de los biomateriales en las bandejas de aluminio. **A.** Pasto (40) – bagazo (30) – cascarilla (20) – Aserrín (10). **B.** Bagazo de caña de azúcar (100).

Algunos preparados no presentaron crecimiento micelial uniforme, debido a la aparición de otros microorganismos que actuaron como contaminantes, afectando el crecimiento de *P. ostreatus* (Figura 3). Salmones y Mata (2007) afirman que se pueden presentar problemas en el

crecimiento de *Pleurotus* por la presencia de mohos antagonistas. La falta de crecimiento micelial interfirió en la consistencia del material, ya que algunas muestras al ser manipuladas se destruyeron con facilidad.

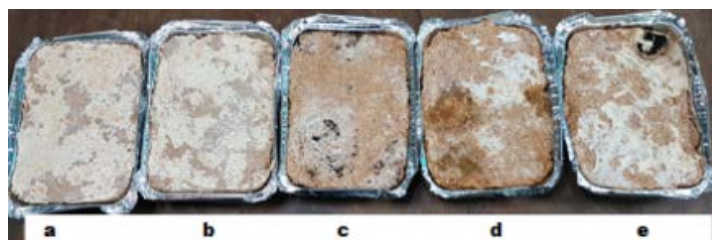


Figura 3. Aspecto del crecimiento irregular del hongo en el sustrato con aserrín. Muestras a y b con crecimiento uniforme. Muestras c, d y e con crecimiento irregular y manchas oscuras por presencia de otros microorganismos.

El material elaborado con cascarilla de café presentó buen crecimiento micelial en todas las bandejas; sin embargo, las muestras se deshicieron con facilidad al ser manipuladas manualmente, además, resultaron más pesadas que el resto de las muestras lo que, unido a la poca compactación del residuo, hace a este material impráctico para su uso con fines de embalaje, por lo que fue descartado.

En la Figura 4 se presenta una vista de los biomateriales elaborados en una segunda fase. En la Figura 4A se aprecia un aspecto del crecimiento del hongo luego de la incubación, en la mezcla de pasto, bagazo, cascarilla y aserrín, en la proporción 40:30:20:10, respectivamente. Mientras que en la Figura 4B se presenta el aspecto del biomaterial después de ser sometido al proceso de secado y muerte del micelio del hongo.



Figura 4. Biomateriales elaborados con una mezcla de pasto, bagazo, cascarilla y aserrín (proporción; 40:30:20:10) más micelio del hongo *P. ostreatus*. **A.** Material luego de la fase de incubación. **B.** Material luego del proceso de secado y muerte del micelio.

Luego de una preselección inicial se obtuvieron tres (3) biomateriales que fueron sometidos a evaluación de los parámetros físicos y mecánicos. Los biomateriales codificados con BMA representan los elaborados con tamaño de partícula de 5 mm y BMb los de 1,5 cm. En la Figura 5 se puede apreciar una vista lateral de los materiales preseleccionados.

Pruebas físicas y mecánicas

Densidad: los valores para BM1a, BM3a y BM8a variaron entre 123,5 y 237,0 kg.m⁻³, los cuales están por encima de los valores establecidos para el EPS (12-29 kg/m³). Sin embargo, en los materiales elaborados, los rangos de densidad se acercan a los de un biomaterial elaborado con sustratos agroindustriales, que según Mayoral *et al.* (2010) es de 112,12 kg.m⁻³. Por su densidad, los materiales elaborados en este trabajo podrían aprovecharse como embalaje en la protección de diversos productos.

Resistencia a la flexión: para los biomateriales con tamaño de molienda de 5 mm, la resistencia varió entre 63,93 y 353,49 kPa y para los biomateriales con tamaño de molienda de 1,5 cm

entre 75,79 y 151,58 kPa. Estos últimos, mostraron una resistencia superior en comparación a algunos tipos de EPS, según la norma ASTM (C578-04). No obstante, fueron menos resistentes que los conformados con tamaño de molienda de 5 mm (BM1a, BM3a, BM8a). Presumiblemente, esto se relacione con la porosidad del material, ya que este factor disminuye la resistencia mecánica. Al respecto, Callister (2007) señala que los poros reducen el área de la sección transversal donde se aplica la carga. Sin embargo, los valores obtenidos se encuentran por encima del límite inferior establecido en la norma ASTM C578-04 (70 – 414 kPa). En contraste con otros biomateriales, López (2014) reporta que la resistencia de biomateriales elaborados con residuos de trigo y *P. ostreatus* estuvieron entre 4,6 a 17,9 kPa; es decir, que resultaron menos resistentes que el EPS y que los biomateriales elaborados en el presente trabajo. Se destaca que la resistencia en los biomateriales de esta investigación está asociada al tipo de residuos y a la proporción en mezcla, en especial al uso del bagazo de caña, pues solo o junto a otros residuos agrícolas, aportó resistencia a los biomateriales.



Figura 5. Apariencia lateral de los biomateriales que fueron sometidos a parámetros físicos y mecánicos para explorar su uso potencial como materiales de embalaje. Arriba: materiales con residuos molidos a 5 mm. Abajo: Materiales con residuos molidos a 1,5 cm.

Resistencia a la compresión: para la realización de esta prueba se utilizó las mismas probetas empleadas en las pruebas de densidad para el segundo y tercer ensayos. De acuerdo con los valores obtenidos, los materiales probados alcanzaron una resistencia a la deformación superior al 40 % sin quebrarse. En general, el esfuerzo aplicado varió entre 60 y 810 kPa para los tratamientos con tamaño de molienda de 5 mm. López (2014) indica que los valores de esfuerzo a la compresión para biomateriales preparados con *P. ostreatus* variaron de 20 a 60 kPa siendo, por tanto, más resistente que el EPS. Estos valores son parecidos a los obtenidos en este estudio, con una deformación cercana al 10 %, para la cual los materiales BM1a y BM3a requirieron un esfuerzo de 70 kPa, a diferencia de BM8a que, para el mismo esfuerzo, produjo una deformación próxima al 30 %. Esta respuesta está posiblemente relacionada con el tipo y la proporción del residuo orgánico con el que se conformó BM8. Pallertier *et al.* (2013) al comparar biomateriales con micelio y residuos de pasto, paja de arroz y restos de algodón concluyeron que estos presentaron mejores propiedades mecánicas y que el resultado dependía de la composición y la forma como se mezclaron los residuos.

Por otra parte, Mayoral *et al.* (2010) establecieron que la fuerza correspondiente a un biomaterial fue igual a 300 kPa. En esta investigación se requirió de una fuerza de 740 kPa para deformar, aproximadamente un 40 %,

el material BM1 que resultó el más resistente. Esta resistencia indica que el material tiene un gran potencial para ser utilizado en embalaje, así como también para algunos usos en obras civiles. Según la EUMEPS (2016) los materiales sintéticos con valores de compresión entre 60 y 100 kPa pueden usarse para aislamientos entre vigas, cubierta de tejas, revestimiento, aislamiento térmico y encofrado perdido, esto en virtud de la resistencia que poseen estos materiales.

Por el contrario, los biomateriales con mayor tamaño de partícula (1,5 cm) no resultaron con la resistencia requerida a la compresión que permitiría usarlos para embalaje. Estos materiales se deformaron considerablemente al aumentar el esfuerzo, por lo que se descartan como materiales para empaque.

Inflamabilidad: las muestras fueron sometidas a altas temperaturas hasta observar el inicio del proceso de combustión. La temperatura de partida fue de 100 °C, con la cual los biomateriales no presentaron signos de combustión; en razón de ello, la temperatura de la mufla se incrementó hasta apreciar la aparición de humo como indicativo del inicio del proceso de combustión. El biomaterial que mejor soportó la inflamabilidad fue BM1, dado que resistió una temperatura promedio de 260 °C, seguido por BM8) y BM3, con promedios de 245,25 °C y 225,75 °C, respectivamente. Con respecto a los materiales con tamaño de

molienda de 1,5 cm, el resultado fue similar, con la diferencia de que, para estos últimos, las temperaturas aplicadas fueron superiores en los tres (3) biomateriales, siendo los promedios 317,5 °C para BM1b, 295,0 °C para BM8b y 282,5 °C BM3b T3.

Los materiales elaborados soportaron rangos de temperatura mayores, en comparación con los materiales sintéticos de EPS que, según la norma correspondiente, están entre 74 a 82 °C. Este resultado denota una apreciable capacidad para soportar el calor y permite señalar que los biomateriales elaborados cumplen con las especificaciones de inflamabilidad, siendo aptos como materiales para embalaje. Estos resultados son similares a los reportados por Mayoral *et al.* (2010), quienes encontraron baja inflamabilidad para biomateriales.

Humedad: el biomaterial que absorbió menos agua fue BM3b, de manera que este sería el más cercano para ser usado con fines de embalaje. Sin embargo, de acuerdo con la norma ASTM específica (C578-04), el límite máximo de humedad para este tipo de materiales debería ser 4 %, por lo que BM3b se sale de las especificaciones, ya que la absorción promedio de humedad fue de 10,1 %. Es importante señalar que, de acuerdo a López (2014), los biomateriales de *P. ostreatus* y residuos de cosecha, al entrar en contacto con agua, presentan un alto porcentaje de absorción por lo que aumenta su peso, haciéndolos imprácticos para usarlos con fines de embalaje.

Para los biomateriales con tamaño de molienda de 1,5 cm, el BM1b absorbió menor humedad, aunque sin diferencias destacables respecto a los otros biomateriales. No obstante, el porcentaje de humedad excedió la norma. Esta respuesta debe estar relacionada al tamaño del poro, puesto que en estos biomateriales su tamaño es mayor, lo que genera una mayor absorción de agua. A este respecto, López (2004) afirma que los poros de materiales con diámetro mayor permiten fluir con mayor facilidad fluidos, luz y/o aire que los poros de diámetro menor.

CONCLUSIONES

- La integración de residuos orgánicos, individuales y en mezcla, con el hongo *P. ostreatus* permitió el adecuado crecimiento del micelio, cubriendo y aglomerando los residuos para conformar biomateriales potencialmente aptos para diferentes fines.
- Los biomateriales elaborados con pasto seco, bagazo de caña, cascarilla de café y aserrín (40:30:20:10), bagazo (100) y bagazo, cascarilla y aserrín (50:30:20) cumplen con las especificaciones establecidas por la norma ASTM 578-04 para materiales rígidos celulares, con resistencia a la flexión, compresión e inflamabilidad.
- El biomaterial elaborado a base de bagazo de caña corresponde al más viable para fines de embalaje. Además de que podría ser usado en obras de construcción como encofrado perdido para alivianar las estructuras.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar un agradecimiento al Decanato de Investigación UNET por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, codificado bajo el número 04-004-2017.

REFERENCIAS

- Asociación Chilena del Poliestireno Expandido ACHIPEX (s.f). El poliestireno expandido y la reglamentación térmica en la construcción Manual en línea. Disponible en: http://www.registrocdt.cl/registrocdt/upload/s/fichas/achipex/poliestireno%20expandido/descargas/manual_achipex_construccion.pdf
- Asociación Nacional de Poliestireno Expandido ANAPE (s.f). Página Web en línea. Disponible en: <http://www.anape.es/pdf/El%20EPS%20en%20el%20Medioambiente.pdf?publicacion=El%20Poliestireno%20Expandido%20y%20el%20Medioambiente>
- ASTM C203-99 (1999). Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics.
- ASTM C272 (1985). Standard Test Method for Water Absorption of Core Materials for

- Sandwich Constructions. ASTM international West Conshohocken
- ASTM C3030-98 (2000). Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics. ASTM international West Conshohocken
- ASTM C578-04 (2004). Standard Test Method for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation. ASTM international West Conshohocken
- ASTM D-1621 (2010). Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics. ASTM international West Conshohocken
- Ávila, G. (2013). Hongos comestibles, manual de cultivo casero de setas. [Manual en línea] Disponible en: https://issuu.com/hongos.de.argentina/docs/hongos_comestibles_-_manual_de_cult
- Bayer, E; McIntyre, T., Swersey, S. (2008). Method for producing grown materials and products made thereby. Patent Application Publication. No US 2008/0145577A1.
- Callister, W. (2007). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Editorial Reverté . España.
- Carvajal, G., Monroy, A. (2010). Evaluación de la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* sobre cinco tipos de sustratos (tamo de trigo, tamo de cebada, tamo de vicia, tamo de avena y paja de páramo); enriquecidos con tuza molida, afrecho de cebada y carbonato de calcio. [Documento en línea]. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA). Ibarra, Ecuador. Disponible: <https://es.slideshare.net/jeanpierregutierrezhuaman/pleurotus-ostreatus>
- EUMEPS (2016). EPS White book. Background information on standardisation of EPS. Bélgica.
- González, I., Mayoral, E., Vázquez, M. (2013). Diseño de prototipos de materiales biosintéticos para su uso como materiales de construcción. Revista Seguridad y Medio Ambiente 132:50-66.
- IUSES. Intelligent use of energy at school (2010). Uso de la energía en el sector industria. [Manual en línea]. Disponible en: http://www.iuses.eu/materiali/e/MANUALE_S_PARA_ESTUDIANTES/Manual_industria.pdf
- López, O. (2004). Porosidad del concreto. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- López, N. (2014). Desarrollo de biomateriales alternativos al poliestireno expandido a partir de hongos y cubiertas comestibles. Tesis de Grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Narro. Saltillo, México.
- Mayoral, E., Kelle, E., Joachim, M. (2010). Growing architecture through mycelium and agricultural waste. Columbia University Disponible en: http://aar.gsapp.org/ie/files/mayoral_0910_growing-architecture-through-mycelium-and-agricultural-waste.pdf
- Navia, P., Villada, S. (2013). Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia, tecnología e innovación. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial (Colombia) 11(2): 173-180.
- Pallertier, M., Holt, G., Wanjura, J., Bayer, E., McIntyre, G. (2013). An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown on agricultural by product substrates. Industrial Crops and Products 51:480-485.
- Ramos, R., Molina, L., Pérez, B. (2014). Encofrado perdido constituido por paja cohesionada con micelio como sustituto del poliestireno expandido. Revista Informes de la Construcción 66(1). Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/3830/4324>
- Rivera, R., Augusto, C., Velasco, S. (2013). Evaluación de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*. Revista Luna Azul (Universidad de Caldas, Colombia) 37: 89-100.
- Salmones, D., Mata, G. (2007). Determinación de la variabilidad de respuesta de micelios de *Pleurotus* vs *Trichoderma* en medios de cultivo con derivados solubles de lignina y pulpa de café. Revista Mexicana de Micología 25:77-81
- Talavera, A., Téllez, M. (2007). Hongos patógenos, especies amigables con el ambiente. Revista Inventio 27(12):41-45. Disponible en: <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/167/413>.

CIENCIAS EXACTAS

TEOREMAS DE REPRESENTACIÓN DE RELACIONES DE CONSECUENCIA NO MONÓTONAS SOBRE SEMIÓRDENES

REPRESENTATION THEOREMS OF NONMONOTONIC CONSEQUENCE RELATIONS ON SEMIORDERS

Autor:

Díaz, Janneth

Laboratorio de Matemática Pura y Aplicada. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela

Corresponding Author: jdiaz@unet.edu.ve

RESUMEN

Una relación de consecuencia es una relación binaria entre fórmulas de un lenguaje proposicional clásico. Varios sistemas de postulados han sido propuestos en la bibliografía para clasificar las relaciones de consecuencia no monótonas. Una herramienta importante para el estudio y clasificación de tales relaciones es su representación en términos de modelos preferenciales. Un modelo preferencial es una triplete de la forma $\langle S, I, < \rangle$ donde S es un conjunto no vacío de estados, I una función de S al conjunto de evaluaciones y $<$ es un orden parcial sobre S . El objetivo de este trabajo fue plantear un teorema de representación para relaciones de consecuencia usando modelos preferenciales donde $<$ es un semiorden. Para ello se siguió la metodología empleada por Lehmann, Kraus, Magidor y los modelos preferenciales sugeridos por Pino y Uzcátegui para el planteamiento de los teoremas de representación. El resultado obtenido fue caracterizar las relaciones de consecuencia definidas por modelos preferenciales de la forma $\langle S, I, < \rangle$ donde I es una función inyectiva y $<$ un semiorden.

ABSTRACT

A consequence relationship is a binary relationship between formulas of a classic propositional language. Several systems of postulates have been proposed in the bibliography to classify nonmonotonic consequence relationships. An important tool for the study and classification of such relationships is the representation in terms of preferential models. A preferential model is a triplet $\langle S, I, < \rangle$ where S is a not empty set of states, I is a function of such S states to valuations and $<$ is a strict partial order on S . The objective of this article was propose a representation for consequence relationships using preferential models where $<$ is a semiorder. For this, the methodology of Lehmann, Kraus, Magidor was used, as well as the preferential models suggested by Pino y Uzcátegui for the representation theorem. The main result was to characterize the consequence relationships defined by preferential models $\langle S, I, < \rangle$ where I is an injective function and $<$ a semiorder.

Palabras clave: Relación de consecuencia no monótona, modelo preferencial y semiorden.

Key words: nonmonotonic consequence relationship, preferential model, semiorder.

INTRODUCCIÓN

La lógica no monótona estudia los sistemas que infieren información adicional de información dada que no cumplen la propiedad de monotonía satisfecha por los sistemas basados en la lógica clásica matemática. En matemática, si una conclusión es inferida de ciertas premisas, la adición de nueva premisa no invalida la conclusión.

En la vida diaria, sin embargo, los seres humanos plantean conclusiones sensibles a cambios a la luz de nueva información. Un ejemplo clásico en inteligencia artificial es el siguiente: se puede partir de la información de que la mayoría de las aves vuelan, pero que los pingüinos son aves que no vuelan y que Tweety es un ave. De esto se puede inferir que Tweety vuela. Pero si se adiciona la información de que Tweety es un pingüino, cambia la conclusión sin abandonar las premisas iniciales. Es muy común que los sistemas automatizados inteligentes lleven a cabo este tipo de inferencia.

El concepto de relaciones de consecuencia es una de las formas más empleadas para el estudio y representación del proceso de deducción. Una relación de consecuencia se puede ver como una relación binaria entre fórmulas o conjunto de fórmulas de un lenguaje proposicional. Una expresión como $\alpha \sim \beta$ representa la afirmación condicional “si α ocurre, normalmente también ocurre β ” o “ α normalmente implica β ”. Un ejemplo tomado de Pino y Uzcátegui (2010) es cuando el proceso de inferencia se basa en probabilidades: se puede decir que α normalmente implica β , si la probabilidad de que α y β ocurran simultáneamente es alta en relación a la probabilidad de α .

Existe una extensa bibliografía sobre relaciones de consecuencia. Entre los más citados están los trabajos desarrollados por Kraus, Lehmann y Magidor (1990) y Lehmann y Magidor (1992). El objetivo de esas investigaciones fue plantear las propiedades estructurales que deben poseer las relaciones de consecuencia no monótonas para que representen un proceso de inferencia “racional”, “legítimo” o al menos capturen ese

tipo de razonamiento llamado de “sentido común”. En función de esta axiomatización definieron una serie de familias de relaciones de consecuencia: relaciones acumulativas, preferenciales y racionales. Entre los resultados importantes obtenidos en esos trabajos, se tienen los llamados teoremas de representación. Estos teoremas sugieren métodos para definir relaciones de consecuencia a partir de estructuras denominadas modelos acumulativos (preferenciales o racionales, según el caso), que son tripletas de la forma $\langle S, l, < \rangle$ donde S es un conjunto no vacío de estados, l una función que asigna a cada estado s en S una colección no vacía de valuaciones y $<$ es una relación binaria suave sobre S ($<$ es suave en S cuando para cada estado s existe un estado t minimal en S tal que $t = s$ o $t < s$). Demostraron que en el caso de las relaciones de consecuencia preferenciales estas guardan una relación biunívoca con modelos acumulativos donde la función l es una función que a cada estado s le asigna una valuación y $<$ es una relación transitiva, irreflexiva y suave. Estos modelos son denominados preferenciales. Cuando adicionalmente la función l es inyectiva se llaman modelos inyectivos.

Freund (1993) y Pino y Uzcátegui (2000) propusieron teoremas de representación basados en modelos preferenciales inyectivos. Basándose en sus ideas, uno de los objetivos del presente trabajo fue obtener un teorema de representación usando modelos preferenciales inyectivos donde $<$ es un semiorden. El objetivo principal del presente trabajo es caracterizar cómo son las relaciones de consecuencia que corresponden a estos modelos.

El semiorden es una estructura que ha sido propuesta como la más natural y adecuada en el modelado de preferencias para representar la intransitividad de la indiferencia. En algunas áreas de investigación la transitividad en la indiferencia no es una propiedad conveniente. El proceso interactivo de construir y chequear modelos depende de interminables comparaciones: entre varias observaciones, entre resultados de diferentes modelos, entre observaciones y resultados. Estas comparaciones

pueden ser realizadas vía percepción humana o usando instrumentos sofisticados y precisos. Sin embargo, existe un bajo umbral en que las diferencias no son perceptibles. Así, observaciones o resultados que sean ligeramente diferentes serán declarados iguales. Esto conducirá inevitablemente a situaciones donde a es “igual” a b , b es “igual” a c , pero a no es “igual” a c . Por ejemplo, al comparar objetos podemos decidir que dos objetos u y v son iguales si la diferencia entre su medida está entre -0.05 cm y 0.05 cm. Si los objetos u , v y w miden 11.95, 12 y 12.05 respectivamente, podríamos decir que u y v son iguales, v y w son iguales pero no podemos afirmar lo mismo de u y w . Luce (1956) señaló la naturaleza de la intransitividad de la indiferencia y desarrolló el concepto de semiorden, que ha sido ampliamente aceptado en áreas como la economía y psicología matemática como un modelo adecuado para representar la preferencia humana (pueden encontrarse ejemplos en Pirlot y Vincke, 1997).

En el contexto del cambio de creencias también se pueden presentar situaciones de intransitividad de la indiferencia. Peppas y William (2014) utilizaron los semiórdenes para plantear teoremas de representación para funciones de revisión. Reconstruyeron la teoría del enfoque clásico AGM (Alchourrón *et al.*, 1985), usando semiórdenes para modelar la plausibilidad comparativa entre los modelos. En función de la conexión entre los operadores de revisión y el razonamiento no monotónico sugerida por Gärdenfors y Makinson (1989), en este trabajo hemos planteado el estudio de los semiórdenes en el contexto del razonamiento no monotónico.

MÉTODO

De acuerdo a lo descrito en la introducción, para el planteamiento de los postulados y los resultados principales de representación, se analizó el trabajo de Peppas y William (2014). Para ello se interpretaron los postulados allí planteados para funciones de revisión inducidos por semiórdenes en términos de relaciones de consecuencia no monótonas, usando la conexión

sugerida por Gärdenfors y Makinson (1989), donde, dada una teoría K en un lenguaje proposicional L y una función de revisión $*$ se define la relación $|\sim_K$ como sigue:

$$\alpha|\sim_K\beta \text{ si y sólo si } \beta \in K * \alpha$$

La afirmación condicional $\alpha|\sim_K\beta$ expresa que si α hubiese ocurrido, entonces también ocurre β . Partiendo de esto, se estudiaron las características de la relación $|\sim_K$ cuando la función de revisión $*$ cumple los postulados planteados por Peppas y William (2014). Este análisis permitió la definición de las condiciones S1 y S2 para relaciones de consecuencia no monótonas que son requeridas para el teorema de representación presentado en la siguiente sesión. Para definir el modelo $\mathcal{W}$ empleado en la demostración del teorema principal se usaron los resultados obtenidos por Pino y Uzcátegui (2000).

RESULTADOS

Se partió de un lenguaje proposicional clásico L definido sobre un conjunto de variables proposicionales P , incluyendo los símbolos $\top$ (verdad), $\perp$ (falsedad), cerrado sobre los conectivos lógicos $\neg$ (negación), $\wedge$ (conjunción), $\vee$ (disjunción), $\rightarrow$ (implicación) y $\leftrightarrow$ (doble implicación). Se emplean las letras griegas minúsculas para representar las fórmulas del lenguaje proposicional y las mayúsculas para conjuntos de fórmulas. Para la semántica del lenguaje L , se denotará por $\mathcal{M}$ al conjunto de todas las valuaciones del lenguaje. Se dirá que una valuación v es un modelo de una fórmula α si le da el valor de 1 a dicha fórmula, se escribirá $v \models \alpha$ y se dirá que “ v satisface a α ”. Para un conjunto de fórmulas proposicionales Γ de L , se dirá que v es un modelo de Γ si satisface a cada fórmula $\alpha \in \Gamma$, y se escribirá $v \models \Gamma$. Se denotará por $[\Gamma]$ el conjunto $\{v \in \mathcal{M} : v \models \Gamma\}$ y por $[\alpha]$ a $\{\alpha\}$. Se dirá que α es consecuencia de Γ , si $[\Gamma] \subseteq [\alpha]$, y se denotará por $\Gamma \models \alpha$. Para denotar $\emptyset \models \alpha$ se usará $\models \alpha$, y en ese caso se dirá que α es una tautología. Se representará por $Cn(\Gamma)$ el conjunto de todas las consecuencias de Γ , esto es, $Cn(\Gamma) = \{\alpha : \Gamma \models \alpha\}$.

Se usará la notación $|\sim$ para representar las relaciones de consecuencia. Se utilizará la notación $C_{|\sim}(\alpha)$ para representar el conjunto de todas las consecuencias normales de α , es decir, $C_{|\sim}(\alpha) = \{\gamma: \alpha|\sim\gamma\}$. Cuando no exista confusión se escribirá $C(\alpha)$ en lugar de $C_{|\sim}(\alpha)$. De acuerdo a Kraus *et al.* (1990), una relación de consecuencia $|\sim$ es preferencial si cumple los siguientes postulados:

- REF $\alpha|\sim\alpha$
 LLE Si $\alpha|\sim\gamma$ y $\models \alpha \leftrightarrow \beta$, entonces $\beta|\sim\gamma$
 RW Si $\alpha|\sim\beta$ y $\models \beta \rightarrow \gamma$, entonces $\alpha|\sim\gamma$
 CUT Si $\alpha \wedge \beta|\sim\gamma$ y $\alpha|\sim\beta$, entonces $\alpha|\sim\gamma$
 CM Si $\alpha|\sim\beta$ y $\alpha|\sim\gamma$, entonces $\alpha \wedge \beta|\sim\gamma$
 OR Si $\alpha|\sim\gamma$ y $\beta|\sim\gamma$, entonces $\alpha \vee \beta|\sim\gamma$

Freund (1993) estudió una familia especial de relaciones preferenciales que denominó relaciones disyuntivas, que son aquellas que satisfacen la propiedad DR (por las iniciales de “disjunctive rational”).

DR Si $\alpha \vee \beta|\sim\gamma$, entonces $\alpha|\sim\gamma$ o $\beta|\sim\gamma$

Esta propiedad parece muy natural, pero no lo es. Existen relaciones de consecuencia preferenciales que no la satisfacen. Por ejemplo, supóngase que se ha cometido un asesinato en una casa en la que dos personas x y y viven. Sean γ la proposición que expresa que “Sherlock Holmes está interesado en encontrar al asesino”, α expresa que “ x es el asesino” y β es la proposición “ y es el asesino”. Entonces tenemos que $(\alpha \vee \beta)|\sim\gamma$, pero no necesariamente se cumple que $\alpha|\sim\gamma$ o $\beta|\sim\gamma$.

Se acepta que una valuación v es normal para una relación de consecuencia $|\sim$ si existe una fórmula α tal que $v \models C(\alpha)$.

Una estructura $\mathcal{W}$ es una tripleta de la forma $\langle S, l, < \rangle$ donde S es un conjunto no vacío (llamado conjunto de estados), $l: S \rightarrow \mathcal{M}$ es una función llamada de interpretación y $<$ es una relación transitiva e irreflexiva. Para una fórmula α se define el conjunto $\hat{\alpha} = \{s \in S: l(s) \models \alpha\}$. Un conjunto $T \subseteq S$ se dice que es suave con

respecto a $<$ si se satisface que para cada $t \in T$ se cumple que $t \in \min(T, <)$ o existe $t' \in \min(T, <)$ tal que $t' < t$, donde $\min(T, <)$ es el conjunto de todos los elementos minimales de T con respecto a $<$. Se dice que $\mathcal{W}$ es un modelo preferencial si para cada fórmula α se tiene que $\hat{\alpha}$ es suave con respecto a $<$. Cuando la función l del modelo preferencial es inyectiva se dice que el modelo es inyectivo.

Basándose en las ideas de Kraus *et al.* (1990), Freund (1993) y Pino y Uzcátegui (2000), dado un modelo inyectivo $\mathcal{W} = \langle S, l, < \rangle$, se puede definir la siguiente relación de consecuencia:

$$\alpha|\sim_{\mathcal{W}}\beta \Leftrightarrow \min(\hat{\alpha}, <) \subseteq [\beta] \quad (1)$$

Tomado de Pino y Uzcátegui (2000), dada una relación de consecuencia $|\sim$ se define la relación $<_e$ sobre el conjunto S de todas las valuaciones normales con respecto a $|\sim$ como sigue:

$$u <_e v \Leftrightarrow \forall \alpha (v \models C(\alpha) \rightarrow u \not\models \alpha) \quad (2)$$

Pino y Uzcátegui (2000) demostraron que cuando la relación de consecuencia $|\sim$ es preferencial y disyuntiva entonces la relación $<_e$ es irreflexiva, suave sobre S , transitiva y $[C(\alpha)] = \min(\hat{\alpha}, <_e)$. También obtuvieron las siguientes equivalencias, que fueron usadas para demostrar las proposiciones 1 y 2 de los resultados obtenidos:

Lema 1: sea $|\sim$ una relación de consecuencia preferencial. Los siguientes enunciados son equivalentes:

- $|\sim$ satisface DR.
- Para todo par α y β y $u, v \in S$, si $u \models C(\alpha)$ y $v \models C(\beta)$, entonces $u \models C(\alpha \vee \beta)$ o $v \models C(\alpha \vee \beta)$.

Lema 2: sea $|\sim$ una relación de consecuencia preferencial disyuntiva. Los siguientes enunciados son equivalentes:

- $u \not<_e v$.
- Existe α y β tales que $u \models C(\alpha)$, $v \models C(\beta)$ y $v \models C(\alpha \vee \beta)$.

Finalmente, dado un conjunto finito V , un semiorden en V es una relación binaria $<$ sobre V que satisface los siguientes axiomas, para todo $u, v, w, x \in V$:

(SO1) $u \not< u$

(SO2) Si $u < v$ y $v < w$, entonces $u < w$ o $x < w$

(SO3) Si $u < v$ y $w < x$, entonces $u < x$ o $w < v$

En función de lo expuesto, se obtuvieron los siguientes resultados y se presentan brevemente los aspectos generales considerados para sus pruebas.

Proposición 1: si $|\sim$ es una relación de consecuencia preferencial que satisface DR, entonces $<_e$ satisface SO1 y SO3.

Prueba: en Pino y Uzcátegui (2000) se probó que $<_e$ es irreflexiva por lo que se cumple SO1 y usando el lema 2 se puede probar SO3.

Para probar la proposición 2, se usó el lema 1 y el hecho de que para cada fórmula α se cumple que $[C(\alpha)] = \min(\hat{\alpha}, <_e)$.

Proposición 2: si $|\sim$ es una relación de consecuencia preferencial que satisface DR, entonces para cualesquiera fórmulas α y β se cumple la condición S1:

$$C(\alpha) \subseteq Cn(C(\beta) \cup \{\alpha\}) \text{ o } C(\beta) \subseteq Cn(C(\alpha) \cup \{\beta\})$$

Proposición 3: si $\mathcal{W} = \langle S, I, < \rangle$ es un modelo inyectivo y $<$ es un semiorden, entonces la relación $|\sim_{\mathcal{W}}$ es una relación de consecuencia preferencial que satisface DR y la siguiente propiedad, que se llamará S2:

$$\alpha | \sim \neg \beta \text{ y } \alpha | \sim \neg \gamma \Rightarrow C(\alpha \wedge \beta) \subseteq Cn(C(\gamma) \cup \{\alpha \wedge \beta\})$$

Prueba: por Kraus *et al.* (1990) la relación $|\sim_{\mathcal{W}}$ es preferencial, por SO3 y por ser $<$ suave sobre S se prueba que $|\sim_{\mathcal{W}}$ satisface DR y la propiedad SO2 garantiza la condición S2 en $|\sim_{\mathcal{W}}$.

Proposición 4: sea L un lenguaje finito. Si $|\sim$ es una relación de consecuencia preferencial que satisface DR y S2, entonces $<_e$ satisface SO2.

Prueba: como $|\sim$ es preferencial y disyuntiva la relación $<_e$ es irreflexiva, transitiva, cumple que $[C(\alpha)] = \min(\hat{\alpha}, <_e)$ y $\alpha | \sim \beta$ si y solo si para $u \models C(\alpha)$ se tiene que $u \models \beta$. Usando lo anterior, S2 y que el lenguaje es finito se prueba que $<_e$ satisface SO2.

Teorema de representación Sea L un lenguaje finito. La relación de consecuencia $|\sim$ es preferencial, satisface DR y S2 si y solo si existe un modelo preferencial inyectivo $\mathcal{W} = \langle S, I, < \rangle$ tal que $<$ es un semiorden y $|\sim = |\sim_{\mathcal{W}}$.

Prueba: ($\Rightarrow$) si $|\sim$ es preferencial, satisface DR y S2, se puede considerar el modelo $\mathcal{W} = \langle S, I, < \rangle$ definido por Pino y Uzcátegui (2000), donde S es el conjunto de todas las valuaciones normales, I la función identidad y $<$ es la relación $<_e$. Por las proposiciones 1 y 4, se tiene que $<_e$ es un semiorden. ($\Leftarrow$) Si se tiene un modelo preferencial inyectivo $\mathcal{W} = \langle S, I, < \rangle$ tal que $<$ es un semiorden y $|\sim = |\sim_{\mathcal{W}}$, por la proposición 3, la relación $|\sim$ es preferencial disyuntiva y satisface S2.

DISCUSIÓN

El teorema de representación se demostró para el caso de un lenguaje finito. Sin embargo, las proposiciones 1, 2 y 3 se probaron para cualquier lenguaje. Se usó el carácter de finitud, la propiedad DR y S2 para garantizar la propiedad SO2 de la relación $<$ del modelo preferencial.

Las condiciones S1 y S2 se dedujeron de los postulados A9 y A10 propuestos por Peppas y William (2014), usando la relación $|\sim_K$:

(A9) Si $K * \alpha \subseteq Cn(K * \beta \cup \{\alpha\})$, entonces $K * \beta \subseteq Cn(K * \alpha \cup \{\beta\})$

(A10) $\neg \beta \in K * \alpha$ y $\neg \gamma \notin K * \alpha$, entonces $K * (\alpha \wedge \beta) \subseteq Cn(K * \gamma \cup \{\alpha \wedge \beta\})$

Las propiedades S1 y S2 son requeridas para probar que la relación $<_e$ sea un semiorden; sin embargo, faltó analizar su racionalidad y significado.

La proposición 2 nos dice que DR implica S1 cuando la relación de consecuencia es preferencial. No se pudo establecer un teorema de representación para relaciones preferenciales definidas por modelos preferenciales, no necesariamente inyectivos, donde $<$ es semiorden.

CONCLUSIONES

Los semiórdenes han sido propuestos como una forma más natural para modelar preferencias, por su principal ventaja de representar la intransitividad de la indiferencia. En este trabajo se logró caracterizar en un lenguaje finito qué relaciones de consecuencia admiten un modelo preferencial inyectivo en que la relación $<$ es un semiorden. Se propusieron las condiciones S1 y S2 para las relaciones de consecuencia como la traducción de los postulados A9 y A10 de Peppas y William (2014). Queda abierta y como futuro trabajo la propuesta de un teorema de representación para relaciones preferenciales definidos por modelos preferenciales donde $<$ es un semiorden y responder las siguientes interrogantes: 1.- ¿Si una relación de consecuencia es preferencial y satisface S1 y S2, entonces la relación satisface DR?, 2.- ¿Si un modelo $\mathcal{W} = \langle \mathcal{S}, \mathcal{I}, < \rangle$ es preferencial con $<$ un semiorden, entonces $|\sim_{\mathcal{W}}$ satisface S1 y S2?

REFERENCIAS

- Alchourrón, C., Gärdenfors, P., Makinson, D. (1985). On the logic of theory change: Partial meet contraction and revision functions. *Journal of Symbolic Logic*, 50: 510-530.
- Freund, M. (1993). Injective Models and disjunctive relations. *Journal Logic Computation*, 3 (3): 231-247.
- Gärdenfors, P., Makinson, D. (1989). Relations Between the logic of theory change and non-monotonic logic. En: *The logic of theory change, Workshop, Konstanz, FRG, Springer-Verlag, Lectures Notes in Artificial Intelligence*, 185-205.
- Kraus, S., Lehmann, D., Magidor, M. (1990). Nonmonotonic reasoning, preferential models and cumulative logics. *Artificial Intelligence*, 44 (1-2): 167-207.
- Lehmann, D., Magidor, M. (1992). What does a conditional knowledge base entail?. *Artificial Intelligence*, 55 (1): 1-60.
- Luce, R. (1956). Semiorders and a theory of utility discrimination. *Econometrica*, 24(2): 178-191.
- Peppas, P., Williams, M. (2014). Belief Change and semiorders. *Proceedings of the 14th International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR2014)*, Vienna, Austria.
- Pino, R., Uzcátegui, C. (2000). On representation theorems for nonmonotonic consequence relations. *Journal of Symbolic Logic*, 65, (3): 1321-1337.
- Pino, R., Uzcátegui, C. (2010). Dinámica del conocimiento. XXIII Escuela Venezolana de Matemática. Altos de Pipe: Ediciones IVIC.
- Pirlot, M., Vincke, P. (1997) *Semiorders: properties, representation and applications*. Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers.

CIENCIAS EXACTAS

ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES DE OXOCARBONOS COMO INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL URBANA

VEHICULAR EMISSIONS STIMATIONS OF OXOCARBONS AS INDICATORS OF URBAN ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

Autores:

Morantes, Gioberti¹, Giraud, Loraine²¹Departamento de Procesos y Sistemas. Edificio Matemática y Sistemas (MYS). 3° piso. Ofic. 314 Universidad Simón Bolívar. Valle de Sartenejas. Caracas. Venezuela.²Departamento de Planificación Urbana. Grupo de Investigación Vida Urbana y Ambiente. Edificio Mecánica y Estudios Urbanos. 2° Piso. Ofic. 206. Universidad Simón Bolívar. Valle de Sartenejas. Caracas. Venezuela.

Corresponding Author: gmorantes@usb.ve

RESUMEN

Un oxocarbono u óxido de carbono es un compuesto inorgánico que consiste únicamente de carbono y oxígeno. Entre ellos los más simples y comunes son el contaminante del aire monóxido de carbono (CO) y el gas de efecto invernadero dióxido de carbono (CO₂). La cuantificación de óxidos de carbono se realiza identificando las fuentes de emisión (fijas o móviles) y estimando la masa de gas emanado. El objetivo de esta investigación es diseñar dos indicadores de sostenibilidad ambiental urbana (ISAU) relacionados con la emisión de CO y CO₂ tomando como caso de estudio el parque automotor del sector Base Aragua-Parque Aragua, de la ciudad de Maracay (Venezuela). Las variables de interés son la emisión de CO y la emisión de CO₂. A través de una muestra no probabilística propositiva se escogen los sitios de medición de las variables independientes: hora pico, intersecciones, niveles de servicio, flujo de vehículos por unidad de tiempo, tiempo de detenimiento del vehículo en la intersección y vector de dirección de movimiento vehicular. Los resultados de emisión de CO, obtenidos con el programa VISSIM 5.20, son reportados en gramos, y como datos de entrada son usadas las variables independientes. A partir de un factor de relación CO/CO₂ se estimó el CO₂ asociado a la cantidad de CO emitido. Las emisiones se calcularon en 2.921,01 Gg de CO/año y 46.587,09 Gg de CO₂/año. Se diseñaron dos fichas para plantear las emisiones como ISAU. La metodología propuesta es un insumo útil para futuras investigaciones que aborden el cálculo de las emisiones en masa de oxocarbonos provenientes del sector transporte en contextos urbanos, debido a que el automóvil es una de las fuentes asociadas a las emisiones de contaminantes del aire y de gases de efecto invernadero en la ciudad.

ABSTRACT

An oxocarbon or carbon oxide is an inorganic compound that consists solely of carbon and oxygen. Among the simplest and most common of them are the air pollutant carbon monoxide (CO) and the greenhouse gas carbon dioxide (CO₂). The quantification of carbon oxides is done by identifying the emission sources (fixed or mobile) and estimating the mass or volume of gas emitted. The aim is to design two indicators of urban environmental sustainability (ISAU) related to the emission of CO and CO₂ taking as a case study the automotive park of the Aragua Base sector - Parque Aragua, city of Maracay, Venezuela. The variables of interest are the emission of CO and the emission of CO₂. Through a non-probabilistic sample, the measurement places of the independent variables are chosen: rush hour time, intersections, service levels, vehicle flow per unit of time, vehicle stop time at the intersection and the vector of vehicular direction movement. The VISSIM 5.20 program was used with the EnViVer pro add-on to quantify the CO emission. From a CO/CO₂ ratio factor, the CO₂ associated with the amount of CO emitted was estimated. The emissions were calculated in 2,921.01 Gg of CO/year and 46,587.09 Gg of CO₂/year. Two cards were designed to raise emissions as ISAU. The proposed methodology is a useful input for future research that addresses the calculation of mass emissions of oxocarbons (CO and CO₂) from the transport sector in urban contexts because the car is one of the mobile sources associated with pollutant emissions of air and greenhouse gases in the city.

Palabras clave: emisiones, oxocarbonos, fuentes móviles, relación CO/CO₂ urbano, indicador

Key words: emissions, oxocarbons, mobile sources, CO/CO₂ ratio, urban, indicator

INTRODUCCIÓN

Un oxocarbono, u óxido de carbono, es un compuesto inorgánico que consiste únicamente de carbono y oxígeno. Entre ellos, los más simples y comunes son el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂) (IUPAC, 1997). El CO fue catalogado como un contaminante de criterio por la Organización Mundial de la Salud, la cual recomendó umbrales considerados seguros para su inmisión desde 1987 hasta 2005 (WHO, 2000); también lo hizo la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, con un estándar para inmisiones de CO vigente desde 1971 (Epagov, 2014). De la revisión de instrumentos normativos de calidad del aire en el contexto de Latinoamérica y el Caribe, se conoce que el CO es regulado para periodos de 1 h por nueve países de la región y para periodos de 8 h por catorce países (Morantes *et al.*, 2016), esto motivado a sus efectos dañinos a la salud: se sabe que en concentraciones muy altas el CO puede causar mareos, confusión, pérdida del conocimiento y muerte. Por otra parte, el CO₂ es el principal gas de efecto invernadero emitido a través de las actividades humanas. En principio, el CO₂ no es un contaminante del aire, debido a que está presente de forma natural en el planeta Tierra como parte del ciclo del carbono (la circulación natural del carbono en la atmósfera, los océanos, el suelo, las plantas y los animales); aun así, se ha vuelto perjudicial debido a que las actividades humanas están alterando dicho ciclo, tanto al agregar más CO₂ a la atmósfera como al influir en la capacidad de los sumideros naturales (Epagov, 2015). La diferenciación ambiental entre los oxocarbonos mencionados es clave al abordar su estudio como indicadores de sostenibilidad ambiental urbana (ISAU), pues deben ser atendidos desde dos enfoques diferentes: el CO desde una perspectiva claramente orientada a la salud, y el CO₂ por la implicación de las actividades humanas en el aumento de su concentración en la atmósfera desde la revolución industrial (NRC, 2010). Un ISAU es aquel que usa datos y hechos de la dimensión ambiental y/o urbana para definir el estado de las acciones desarrolladas en la ciudad (Giraud y Morantes, 2017).

La cuantificación de emisiones a la atmósfera de oxocarbonos se realiza a través de la elaboración de inventarios de emisiones (IE). Estos inventarios son esenciales para entender cómo influyen las actividades antropogénicas de una ciudad en la calidad del aire local y regional (Parrish, 2006). Quiñones (2012) muestra un análisis de los IE realizados en Bogotá (Colombia) y concluye que el mayor problema de contaminación lo generan las fuentes móviles (vehículos de carga, transporte público, particulares y motos), las cuales contribuyen con 85 % del total de emisiones de material particulado, óxidos de nitrógeno (NO_x), THC, CO y CO₂ (SDA, 2010), mientras que 15 % es atribuible a fuentes fijas. Así mismo, las fuentes móviles son responsables de hasta 96 % del total de CO emitido (CCB, 2011). La contribución de contaminación por CO por fuentes móviles (vehículos) en zonas urbanas puede superar el 90 % (US-EPA, 1993).

La pregunta de investigación que guía este trabajo es: ¿cómo abordar los oxocarbonos (CO y CO₂) emitidos por fuentes móviles en una zona urbana como ISAU?, y ¿cómo estimarlos? Se plantea como zona de estudio el sector Base Aragua-Parque Aragua, localizado en la ciudad de Maracay, municipio Girardot del estado Aragua (Venezuela). Se formuló como objetivo: diseñar dos ISAU relacionados a la emisión de CO y CO₂, para Base Aragua-Parque Aragua. Los objetivos específicos que guiaron la investigación fueron: 1) obtener un inventario de fuentes móviles; 2) estimar la emisión de CO a partir del inventario de fuentes móviles; 3) estimar la cantidad (masa) de CO₂ a partir de la cantidad (masa) de CO emitida, y 4) plantear los indicadores.

MARCO TEÓRICO

El CO es un gas incoloro, inodoro y venenoso que resulta de la combustión incompleta de combustibles y es emitido directamente de los tubos de escape de los automóviles. Una combustión incompleta (ecuación 1) ocurre cuando los átomos de carbono presentes en el combustible no poseen (estequiométricamente)

suficiente oxígeno para oxidar el carbono a su forma de combustión completa: el CO_2 (ecuación 2). Este último es un gas ligeramente ácido, no inflamable, inodoro e incoloro, emitido también desde los tubos de escape de los vehículos automotores. En fuentes móviles, la combustión incompleta generalmente es causada por una baja relación entre el aire y el combustible en el motor. Tal condición es común cuando recién se enciende el vehículo, en vehículos viejos o sin mantenimiento del motor, y en condiciones de altitud.

Combustión incompleta: $C + \frac{1}{2} O_2 = CO$ (1)

Combustión completa: $C + O_2 = CO_2$ (2)

Para usar la emisión de oxocarbonos CO y CO_2 como ISAU, el principal punto a abordar es la forma del cálculo de su emisión, para lo cual se usan IE de contaminantes atmosféricos como instrumento estratégico para la gestión de la calidad del aire. Un inventario permite conocer las fuentes emisoras de contaminantes, así como el tipo y cantidad de contaminantes emitidos por cada una de ellas (SEMARNAT, 2016). Los IE están integrados por fuentes de punto (industrias), fuentes móviles (vehículos automotores que circulan por calles y carreteras), fuentes de área (comercios, servicios, casas habitación y vehículos automotores que no circulan por carreteras), y fuentes naturales (erosión de suelo y emisiones biogénicas, entre otras). El proceso de emisión de contaminantes en vehículos automotores comprende la evaporación de hidrocarburos, emisiones evaporativas y emisiones de escape. Estas últimas consisten en la liberación de hidrocarburos a la atmósfera, tales como CO, NO_x , CO_2 , dióxido de azufre (SO_2) y plomo (en caso de gasolina con plomo). Esta investigación abarca solo la emisión de CO por fuentes móviles en la zona de estudio. El transporte de motocicletas no se considera para la estimación de emisiones.

Los principales parámetros para la estimación de emisiones de fuentes móviles son: flota vehicular, datos de actividad y factores de emisión. Estos grupos de información se

requieren para cuantificar las emisiones, así como para evaluar su calidad y adecuación. La caracterización de la flota vehicular se realiza clasificándola en categorías de vehículos de acuerdo al uso, peso, año, modelo, tecnología para control de emisiones y tipo de combustible. Algunos parámetros de entrada para aplicar un IE móviles son: tamaño de flota, distribución de vehículos por año, modelo y clase, distribución media de velocidades por tipo de camino, distribución de kilómetros recorridos por tipo de camino, temperatura y características del combustible.

En los motores de combustión se emite tanto CO como CO_2 de forma sincronizada, pero en distintas proporciones; por esta razón existen relaciones CO/ CO_2 (masa/masa o mol/mol) para diferentes condiciones de operación en motores de combustión. Las emisiones de uno de ellos pueden determinarse a partir del uso de estas relaciones (DEWHA, 2008).

Tanto la emisión de CO como la de CO_2 pueden servir como formas de medición de la sostenibilidad urbana. Los ISAU son resultado de múltiples enfoques y marcos ordenadores de carácter metodológico, que toman una diversidad de variables ambientales, cualitativas y cuantitativas, susceptibles de ser medidas, para la construcción de indicadores que se puedan equiparar con el criterio de comparabilidad. En el contexto mundial existen grandes esfuerzos en las ciudades para avanzar hacia sistemas de ISAU (Giraud y Morantes, 2017).

MÉTODO

Se trata de un estudio no experimental, precisado por Hernández *et al.* (2006) como aquel en el que no se manipulan deliberadamente las variables y no se construye ninguna situación, sino que se observan las ya existentes en el área de interés. Se establece un diseño transeccional, que aplica cuando se recolectan datos en un solo momento y cuando el propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Hernández *et al.*, 2006; Kerlinger y Lee, 2001).

Se realiza un inventario vehicular; se toma una muestra no probabilística propositiva (Kerlinger y Lee, 2001) de los sitios donde se miden las variables de flota vehicular y datos de actividad, a diferentes horas del día. La muestra se tomó en

el mes de octubre de 2015. En la tabla 1 se presentan las variables de la investigación (de interés e independientes), su definición, valores que pueden tomar y unidades.

Tabla 1. Variables de investigación

Tabla 1: Variables de investigación			
Variables de interés (oxocarbonos)			
Variable	Emisión de CO	Emisión de CO ₂	
Definición	Emisión de monóxido de carbono proveniente de fuentes móviles para la zona de estudio	Emisión de dióxido de carbono proveniente de fuentes móviles para la zona de estudio	
Valores	0 a infinito		
Unidades	Gramos (g)		
Variables independientes [vehiculares]			
Variable	Pico	Código de Intersección	Niveles de servicio (NDS)
Definición	Hora pico	Codificación para cada intersección.	Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros
Valores	Cinco posibles valores: a. m. laboral, m. laboral, p. m. laboral, m. no laboral y p. m. no laboral.	Diez posibles valores, desde [I-1] a [I-10]	Con seis posibles valores, de la letra A a la letra F.
Unidades	n/a		
Variable	Volumen	Demora	Afluente
Definición	Flujo de vehículos por unidad de tiempo contabilizados en la intersección	Tiempo de detenimiento del vehículo en la intersección	Vector de dirección de movimiento vehicular
Valores	0 a infinito	0 a infinito	Cuatro posibles valores: Norte, Este, Sur, Oeste.
Unidades	Vehículos por hora (Veh/h)	Segundos (s)	n/a

Cálculo de la emisión de CO

Paso 1: cálculo de los volúmenes de flujo continuo vehicular a través de levantamientos dinámicos de campo. Este tipo de levantamiento de información dinámica se refiere a los conteos de flujo continuo o mecánicos y los conteos clasificados direccionales. La finalidad es medir el volumen vehicular en el área en estudio, el comportamiento del flujo vehicular a lo largo del día, las horas pico de la red vial, el volumen pico para cada uno de los movimientos en la zona de estudio, entre otros. En el paso 1 se usan equipos de conteo de flujo continuo para el estudio de la demanda del flujo vehicular. Se contabilizan los volúmenes de tránsito (vehículos.hora⁻¹) según su distribución direccional (Norte, Sur, Este y Oeste) y su clasificación vehicular en 10 intersecciones. Esta cuantificación se realiza en

períodos de 15 minutos de forma manual, registrando en planillas de conteo, según el movimiento realizado, para una muestra de vehículos dentro del área de la intersección. Como resultado se determina el promedio diario del tránsito vehicular (PDT) durante una semana típica, para días laborales y no laborales. La flota vehicular se caracteriza mediante la clasificación de la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA, según sus siglas en inglés, *Federal Highway Administration*) (FHWA, 2014).

Paso 2: análisis de las condiciones operativas de las intersecciones comprendidas en la zona de estudio. Se evalúan las condiciones físicas y operativas de la red vial comprendida en el sector Base Aragua-Parque Aragua, en función de las demoras y niveles de servicio (NDS). Esta

evaluación se basa en la versión 2000 de la Metodología del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, según sus siglas en inglés, *Highway Capacity Manual*). Se cuantifica la demora promedio vehicular (en segundos). Se definen seis niveles de servicio, desde el nivel A hasta el F.

Paso 3: estimación de la emisión de CO. Como herramienta para estimar las emisiones del transporte se usa el programa VISSIM 5.20 (complemento *EnViVer pro*), software para la simulación microscópica y multimodal del tránsito (VISSIM, 2016; Linton *et al.*, 2015). Los resultados de emisión de CO obtenidos usando VISSIM 5.20 se reportan en gramos (g) y como datos de entrada son usados el volumen vehicular, la demora y el NDS (TNO, 2016).

Cálculo de la emisión de CO₂

Aplicando factores de relación CO/CO₂ (masa/masa y mol/mol), se calcula el CO₂ emitido en gramos (g) a partir del valor de emisión de CO. Los factores de relación se obtienen a partir de una revisión bibliográfica de investigaciones sobre procesos de combustión.

RESULTADOS

A cada intersección (discriminada según el pico) se le calculó el volumen vehicular por hora para el momento del muestreo; así como la demora o tiempo de detenimiento de los vehículos, y con estos datos se obtuvo la clasificación del NDS. A continuación, se determinaron los valores de volumen, demora y NDS promedios para la intersección. VASSIM usa el complemento *EnViVer* para calcular automáticamente el valor de la emisión de CO en gramos (por hora). La tabla 2 presenta los valores promedio de la emisión de CO en la zona de estudio, para cada intersección y tipo de día (laboral o no laboral).

La tabla 3 muestra el resultado de la búsqueda de los valores y el promedio de la relación CO/CO₂. A partir del valor de la emisión de CO, se calcula la emisión de CO₂ usando factores de relación obtenidos en la consulta bibliográfica. La ecuación (3) muestra el cálculo para el valor de emisión de CO₂ en gramos por hora.

$$\frac{333.448,70 \text{ g CO}}{h} * \frac{100 \text{ g CO}_2}{6,27 \text{ g CO}} = 5.318.161,07 \frac{\text{g CO}_2}{h} \quad (3).$$

A partir de la data anterior, se calcularon los gigagramos (Gg, también llamados toneladas métricas) al año de emisión de óxidos de carbono por fuentes móviles para el caso de estudio (sector Base Aragua-Parque Aragua). Las emisiones resultaron ser, en el 2015: 2.921,01 Gg de CO, y 46.587,09 Gg de CO₂.

Tabla 2. Resumen de valores de emisión de CO (g)

Pico	Volumen (Veh/h) (promedio)	Demora (s) (promedio)	NDS (promedio)	Emisiones CO (g) (Total)
a. m. laboral	33.711	81,9	F	74.448,6
m. laboral	34.299	69,4	E	68.014,0
p. m. laboral	32.210	96,3	F	77.705,0
m. no laboral	28.720	72,5	E	57.355,4
p. m. no laboral	31.879	58,8	E	55.925,7
Emisión de CO total en la zona de estudio (g de CO/h)				333.448,70

Fuente: Ecoequilibrio, Innovaciones sostenibles, 2015.

Tabla 3. Relaciones teóricas CO/CO₂ (masa/masa y mol/mol)

Investigación	Relación CO/CO ₂	
	masa/masa	mol/mol
De Juana Sardón (2003)	$7\% = \frac{7 \text{ gCO}}{100 \text{ gCO}_2}$ (a)	$11\% = \frac{11 \text{ gCO}}{100 \text{ gCO}_2}$ (b)
Carvalho <i>et al.</i> (1995)	$5\% = \frac{5 \text{ gCO}}{100 \text{ gCO}_2}$ (a)	$7,85\% = \frac{7,85 \text{ gCO}}{100 \text{ gCO}_2}$ (b)
Suntharalingam <i>et al.</i> (2004)	$4,24\% = \frac{4,24 \text{ gCO}}{100 \text{ gCO}_2}$ (b)	$6,67\% = \frac{6,67 \text{ molCO}}{100 \text{ molCO}_2}$ (a)
DEWHA (2008)	$8,82\% = \frac{8,82 \text{ gCO}}{100 \text{ gCO}_2}$ (b)	$13,86\% = \frac{13,86 \text{ molCO}}{100 \text{ molCO}_2}$ (c)
$\text{Relación } \frac{\text{masa CO}}{\text{masa CO}_2} = 6,27\% = \frac{6,27 \text{ gCO}}{100 \text{ gCO}_2}$		

(a) Valor publicado en la investigación.

(b) Valor equivalente calculado por los autores de esta investigación.

(c) Promedio de los valores publicados.

DISCUSIÓN

Se calculó un valor para la emisión de CO para un parque vehicular específico: sector urbano de Base Aragua-Parque Aragua. La emisión de CO por fuentes móviles no es regulada para la fecha de la investigación por un instrumento normativo legal pertinente, aunque sí está presente en los límites de calidad del aire (inmisión) (República de Venezuela, 1995).

La emisión de CO hallada de 8 GgCO/día es similar a la encontrada por Londoño *et al.* (2011), quienes reportan 15,36 GgCO/día en su estudio dentro del municipio de Envigado (Colombia). Abou-Senna *et al.* (2013) publican un estudio en un tramo de 10 millas de la Interestatal 4 (I-4) en Orlando (Estados Unidos), en el cual la emisión de CO fue de 3,795 GgCO/d.

Sobre la relación de CO/CO₂ se menciona que la cantidad de oxocarbonos emitidos por día en la ciudad de Cali (Colombia) en 2006 fue de 318 GgCO/día y 9936 GgCO₂/día, según Granada y Cabrera (2007). Esto significaría una relación teórica de CO/CO₂ de 3 % (3,27 puntos porcentuales mayor que la usada en esta investigación). Los valores presentados sirven de referencia a futuras investigaciones y de línea base para su tratamiento como indicadores en el sector de Base Aragua-Parque Aragua. La figura 1 muestra la ficha técnica de los indicadores diseñados. Los valores de referencia recomendados pueden ser usados para que el sector urbano tome decisiones según las tendencias que tenga el valor del indicador. La sostenibilidad ambiental urbana del sector de estudio podrá ser monitoreada al calcular y hacer seguimiento de los ISAU planteados para los periodos de actualización recomendados. Estos ISAU están diseñados especialmente para los tomadores de decisión a nivel municipal.

Nombre. Emisión de monóxido de carbono (CO)

Componente	Subtema:
Aire	Calidad de aire
Definición	
El indicador muestra la emisión (masa) de monóxido de carbono por flota vehicular.	
Objetivo Estratégico:	
Determinar las emisiones de CO provenientes de la flota vehicular en un sector urbano.	
Metodología de cálculo	
1) Cálculo del Volumen de vehículos por hora (Veh/h) 2) Cálculo de la Demora (segundos) 3) Definición del nivel de servicio (NDS) Nivel de Servicio A hasta Nivel de Servicio F. 4) Cuantificación de la emisiones CO (g) usando <i>VISSIM 5.20 - EnViVer pro</i>	
De interés	

Tema: Emisiones

Valor del indicador.		
8		
Unidad de Medida	Actualización	
GgCO/día	Anual	
Valores de Referencia		
Malo Aumento significativo del porcentaje de la medición anterior	Regular Sin cambios representativos	Bueno Disminución significativa del porcentaje de la medición anterior
Información Complementaria:		
Emisión: concentración o cantidad que se emite desde la fuente generadora.		
Inmisión: se refiere a calidad de aire, concentración a nivel del suelo.		
El CO es un gas inflamable tóxico incoloro e inodoro formado por la combustión incompleta de carbono.		

Nombre. Emisión de dióxido de carbono (CO₂)

Componente	Subtema
Aire	Gases efecto invernadero
Definición	
El indicador muestra la emisión (masa) de dióxido de carbono por flota vehicular.	
Objetivo Estratégico:	
Contribuir con los inventarios de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes del sector transporte	
Metodología:	
1) Calcular la emisión de CO (en gramos/hora) 2) Obtener el factor de relación CO/CO ₂ (masa/masa y mol/mol) [FACTOR] 3) Aplicar la ecuación: $\frac{X \text{ g CO}}{h} * [FACTOR] = Y \frac{\text{g CO}_2}{h}$	
De interés	

Tema: Emisiones

Valor del indicador.		
127,6		
Unidad de Medida	Actualización	
GgCO/día	Anual	
Valores de Referencia		
Malo Aumento significativo del porcentaje de la medición anterior	Regular Sin cambios representativos	Bueno Disminución significativa del porcentaje de la medición anterior
Información Complementaria:		
Emisión: Concentración o cantidad que se emite desde la fuente generadora.		
El dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e incombustible que resulta de la oxidación del carbono.		
La relación teórica de CO/CO ₂ usada fue: 6,25% (masa/masa)		

Figura 1. Fichas modelo de indicadores de sostenibilidad ambiental urbana (ISAU).

CONCLUSIONES

Se realizó un inventario de fuentes móviles para el sector estudiado, a través del comportamiento del flujo vehicular en el sector de Base Aragua-Parque Aragua. Se estimó la emisión de CO (gramos por hora) para cada intersección definida, discriminando entre los días laborales y

no laborales, mediante el programa *VISSIM 5.20*. La emisión de CO encontrada fue de 8 GgCO/día. Se estimó la cantidad (masa) de CO₂ asociada a la cantidad de CO emitida. La relación teórica usada fue de CO/CO₂: 6,25 % (masa/masa). El resultado de la emisión de CO₂ resultó ser de 127,6 GgCO₂/día.

La metodología propuesta es un insumo útil para abordar el cálculo de la masa de emisiones de oxocarbonos provenientes del sector transporte en contextos urbanos, debido a que los automóviles son una de las fuentes asociadas a la emisión de contaminantes del aire y de gases de efecto invernadero.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó en el marco del Plan Especial de los Sectores de Parque Aragua y Base Aragua, municipio Girardot, estado Aragua, Venezuela (Ecoequilibrio Innovaciones Sostenibles, 2015).

REFERENCIAS

Abou-Senna, H., Radwan, E., Westerlund, K., Cooper, D. (2013). Using a traffic simulation model (VISSIM) with an emissions model (MOVES) to predict emissions from vehicles on a limited-access highway. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63(7): 819-831. DOI: 10.1080/10962247.2013.795918

Carvalho, M. D. G., Fiveland, W. A., Lockwood, F. C., Papadopoulos, C. (1995). Combustion technologies for a clean environment ii. Combustion science and technology-New York then Yverdon, 100, 205-206.

CCB-Observatorio de Movilidad. (2011). Comportamiento de los indicadores de movilidad de la ciudad a diciembre de 2010. Bogotá.

De Juana, J. (2003). Energías renovables para el desarrollo. Editorial Paraninfo.

República de Venezuela. (1995). Decreto No. 638: Normas sobre la calidad de aire y control de la contaminación atmosférica. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 4899, Caracas, 26 de abril de 1995.

DEWHA (Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts). (2008). Emission estimation techniques for combustion engines. Australian government. Disponible en: <http://www.npi.gov.au/system/files/resources/fa15a7a-2554-c0d4-7d0e-d466b2fb5ead/files/combustion-engines.pdf>

Ecoequilibrio Innovaciones Sostenibles. (2015). Plan especial Parque Aragua y Base Aragua, municipio Girardot, estado Aragua.

Epagov. (2014). US-EPA. Disponible en: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>

Epagov. (2015). US-EPA. Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

FHWA (Federal Highway Administration). (2014). Disponible en: https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/tmguidetmg_2013/vehicle-types.cfm

Giraud, L., Morantes, G. (2017). Aplicación del análisis multivariante para la sostenibilidad ambiental urbana. *Bitácora Urbano Territorial*, 27(1): 89-100.

Granada, L., Cabrera, B. (2007). Estimación de las emisiones de fuentes móviles utilizando Mobile 6 en Cali-Colombia. *Avances Investigación en Ingeniería*, 6: 13-25.

Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación. México: Mc Graw-Hill.

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). (1997). Compendium of chemical terminology, 2da. ed. The Gold Book. <https://doi.org/10.1351/goldbook>.

Kerlinger, F., Lee, H. (2001). Investigación del comportamiento humano. Métodos de investigación en Ciencias Sociales. México: Mc Graw-Hill.

Linton, C., Grant-Muller, S., Gale, W. (2015). Approaches and techniques for modelling CO₂ emissions from road transport. *Transport Reviews*, 35(4): 533-553.

Londoño, J., Correa, M., Palacio, C. (2011). Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de Envigado, Colombia. *Revista EIA*, (16).

Morantes, G., Pérez, N., Santana, R., Rincón, G. (2016). Revisión de instrumentos normativos de la calidad del aire y sistemas de monitoreo atmosférico: América Latina y el Caribe. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 41(4): 235-242.

NRC (National Research Council). (2010). Advancing the Science of Climate Change. Washington: The National Academies Press.

- Parrish, D. (2006). Critical evaluation of US on-road vehicle emission inventories. *Atmospheric Environment*, 40(13): 2288-2300.
- Quiñones, L. (2012). Evaluación de los inventarios de emisiones de fuentes móviles de Bogotá mediante datos de la red de calidad de aire. Tesis de maestría no publicada. Universidad Nacional de Colombia.
- SDA (Secretaría Distrital de Ambiente). (2010). Plan decenal de descontaminación del aire para Bogotá. Bogotá.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016). Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/calidad-del-aire/inventario-de-emisiones>
- Suntharalingam, P., Jacob, D., Palmer, P., Logan, J., Yantosca, R., Xiao, Y., Sachse, G. W. (2004). Improved quantification of chinese carbon fluxes using CO₂/CO correlations in Asian outflow. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(d18).
- TNO (The Netherlands Organization for Applied Scientific Research). (2016). Disponible en: <https://www.tno.nl/en/>
- US-EPA (United States Environmental Protection Agency) (1993). *Automobiles and Carbon Monoxide*. U.S.
- VISSIM. (2016). Disponible en: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/productos/ptv-vissim/>
- WHO (World Health Organization). (2000). *Guidelines for air quality*. Disponible en: www.airimpacts.org/documents/local/AQGUIDE.pdf

Vol.
1
1987

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Efectos de tratamientos químicos y físicos en la germinación de kudzu tropical. (<i>Pueraria phaseoloides Benth</i>) - Pérez, A.	3
Estudio de la <i>Fasciola hepatica</i> en el estado Táchira, Venezuela. Incidencia y prevalencias en la zona sur del estado Táchira. - Perruolo, G.; Perdomo, E. y Silva, J.	14
Coleópteros Coprófagos y Necrófagos (<i>Coleoptera: Scarabaeidae</i>) del estado Táchira, Venezuela. - Havranek, D.	20
Utilización de la Cachaza líquida preservada en la alimentación de cerdos en crecimiento y acabado. - Bautista, O.	23
Nuevo Tripanosoma de peces de agua cálidas en Venezuela. (<i>Protozoa kinetoplastida</i>). - Perruolo, G.	32
Algunas consideraciones sobre Paja Cabezona o Maciega (<i>Paspalum virgatum</i> L.) - Pérez, L.; Pacheco, J.	36
Catálogo de los Scarabaeidae (<i>Coleoptera</i>) Coprófagos y Necrófagos, del estado Táchira, Venezuela. - Blanco, J.	39
Diseño y Construcción de un tubo de Calor. - Nieto, O. y Salcedo, R.	47
Análisis experimental de esfuerzos en una cámara de combustión de combustible sólido. - Bortone, C.	54
Evaluación preliminar del factor "C" en la ecuación universal de pérdidas de suelo bajo diferentes prácticas de manejo en el cultivo del café. - Useche, R. y Méndez, J.	67
El Potasio en los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en el Valle de Ureña, Edo. Táchira. - Gamboa, J.; Núñez, J.; Gamboa, M.	76
Estudio de la calidad de la miel de abeja comercializada en la Ciudad de San Cristóbal, Edo. Táchira, Venezuela. - Casanova, R.	82

Vol.
2
1988

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Respuesta del Corocillo <i>Cyperus rotundus</i> L. a la aplicación directa de glyphosato sobre tubérculo. - Pérez, L.	3
<i>Culicoides</i> (Diptera: Ceratopogonidae) del estado Táchira, Venezuela. Parte I. - Perruolo, G.	17
Leguminosas que incrementan el valor nutritivo de algunos pastizales del estado Táchira. - Vera, A.	21
Datos ecológicos para <i>Coloides castanea</i> (<i>Coleoptera: Scarabaeidae: Hybosorinae</i>). - Havranek, D.	31
Catálogo de los Scarabaeidae (<i>Coleoptera</i>) Coprófagos y Necrófagos del estado Táchira, Venezuela Parte II. - Blanco, J.	39
Fraccionamiento del Azufre en algunos suelos pertenecientes al bosque seco montano bajo del estado Táchira, Venezuela. - Gamboa, J.; Chacón, L.; Gamboa, M.	49
Adaptación informacional en la abeja doméstica <i>Apis mellifera</i> L. (Hymenoptera: Apidae). - Tapias, O.; Valderrama, N.	55
Eficiencia del riego de la caña de azúcar en el área Ureña - San Antonio. - Torres, S.	65
Factibilidad para la instalación de una planta productora de carbón activado. - Torres, A. y Zambrano, L.	77
Algunos Scarabaeinae neotropicales nuevos o pocos conocidos. - Martínez, A.	85
Odanata del estado Táchira. - De Marmels, J.	91
Aplicación en edafología del paquete estadístico BMDP. 1: Transformación del Superfosfato triple en dos suelos del estado Táchira. - López, A.	113

Vol.
3
1989

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Método heurístico para obtener soluciones básicas a los problemas de transporte en programación lineal. - Porras, R.	5
Caracterización morfológica de algunas especies de <i>Algubo</i> , existentes en Maracay, estado Aragua, Venezuela. - Acevedo, R.	15
Efecto de la materia orgánica en la solubilidad de la roca fosfórica. - Reyes, I.; Gamboa, J.	19
Prevalencia por Geohelmintos en escolares de San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela. - Molina, A.	27
Manejo de un Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiencia. - Barbosa, C.	35
Evaluación de dos fungicidas sistémicos para el control de la Roya del Café. - Escobar, C. y Bustamante, E.	41
Prevalencia de <i>Stefanuros dentatus</i> en cerdos sacrificados en el matadero de San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. - Morales, O.	47
Morfometría de abejas africanizadas en el estado Táchira, Venezuela. - Perruolo, G.	51
Coleopteros, coprófagos y necrófagos (<i>Scarabaeidae, Silphidae</i>) atraídos a cebos, en bosques venezolanos. - Havranek, D.	55
Estrategia de defensa de la colmena de abejas <i>Apis mellifera</i> , L. (Hymenoptera: Apidae). - Tapias, O.	65

Vol.
4
1990

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Enfermedades parasitarias de las abejas <i>Apis mellifera</i> L. en el estado Táchira, Venezuela. - Casanova, R. y Perruolo, G.	2
Enfermedades parasitarias de las abejas <i>Apis mellifera</i> L. en el estado Táchira, Venezuela. - Casanova, R. y Perruolo, G.	12
Efecto residual a nivel de invernadero de tres rocas fosfóricas del estado Táchira, Venezuela, usando maíz (<i>Zea mays</i> L.) como planta indicadora. - López, A.; Casanova, E.; Chacón, L.; Paz, M.; Guerrero, J.	29
Sensibilidad artística y vocación. - Mora, P.	49
Bionomía de la fauna Anophelica en Socopó, estado Barinas, Venezuela. - Perruolo, G.; Briceño, J.; Briceño, R.; Carter, K.; Gascón, L.; Mazzarri, M.; Segovia, L.; Vizcarrondo, J.; Zerpa, N.	60
Respuesta de la gallinas ponedoras a niveles variables de energía-proteína en la unidad avícola de la UNET. - Romero, I.	73
Separación mecánica y manual de carne y residuos en peces de agua dulce <i>Hoplosternum littoralis</i> y <i>Hoplias malabaricus</i> . - Sánchez, H.	82

Vol.
5
1991

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Diseño y construcción de un fundidor extractor de cera de abejas (<i>Apis mellifera</i> L.) -Báez, F.; Méndez, H.; Casanova, R.; Méndez, J.	1
Análisis micobiológico del queso pasteurizado. -Carreño, M.	11
Identificación de algunos virus de la caraota (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) por métodos serológicos y plantas indicadoras en algunos cultivos en el estado Táchira. -Durán, F.	25
Comportamiento a nivel de invernadero del Biofertilizante PHS frente a otras fuentes de fósforo usando maíz (<i>Zea mays</i> L.). -López, A.; Paz, M.; Chacón, L.; Guerrero, J.	37
Evaluación de la efectividad agronómica residual a nivel de invernadero del biofertilizante PHS usando maíz (<i>Zea mays</i> L.) como cultivo indicador. -López, A.; Paz, M.; Chacón, L.; Guerrero, J.	45
La matemática No-Determinista y la derivación en espacio topológico. -Mirabal, R.	53
Distribución geográfica de las garrapatas que atacan al ganado en el estado Táchira, Venezuela. -Perruolo, G.; Morales, O.; Sánchez, J.	61
Adaptación informacional de la abeja <i>Apis mellifera</i> L. (Hymenoptera: Apidae) Parte II. -Tapias, O.; Balderrama, N.	71
Caracterización del proceso de cromado sobre una base metálica. -Duque, L.; Contreras, J.	89
Diseño y construcción de un prototipo de la máquina de fatiga rotativa. -Barrios, J.; Duque, H.	90

Vol.
6
1992

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Tres métodos para controlar la Palomilla de la cera, <i>Galleria mellonella</i> L., en panales almacenados de cera de abejas. -Casanova, R.	15
Escarabajos (<i>Coleoptera. Scarabaeidae</i>) Coprófagos y Necrófagos atraídos a cebos en el estado Táchira, Venezuela. -Havranek, D.	17
Configuración histórica del espacio regional y estrategias para su desarrollo. -Martens, J.	27
El Género <i>Pteridium</i> (<i>Polypodiaceae</i>) en el estado Táchira, Distribución geográfica y comentarios de interés. -Pérez, L.; Pacheco, J.	41
Inventario del nivel de motivaciones de las necesidades de logro, afiliación y poder en los productores de El Nula, estado Apure, Venezuela. -Thielen, J.	51
Pruebas de patogenicidad de <i>Fusarium</i> sp. en plantas de tomate. -Vásquez, R.	67

Vol.
7
1993

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Toxicidad del Néctar de la planta <i>Ryania speciosa</i> Valh (Flacourtiaceae), sobre abejas <i>Apis mellifera</i> L. (Hymenoptera: Apidae). -Casanova, R.; Olivares, B.; Mendoza, C.	5
Estructura del Capital total tangible y su relación con la rentabilidad en fincas ganaderas de doble de doble propósito en los municipios García de Hevia y Panamericano del estado Táchira, Venezuela. -Díaz, F.	13
Detección y determinación de taninos en Pulpa de Café secada al ambiente. -González, N.; Ramírez, J.; Aldana, J.; Clifford, M.	23
Incidencia e impacto económico de la despigmentación en un rebaño Brahman registrado. -Montoni, D.; Chacón, M.; Mago, M.	33
El aprendizaje cooperativo y el autoconcepto académico: sus efectos sobre el rendimiento en estudiantes universitarios. -Pernia, I.	41
Distribución geográfica de los Murciélagos (Mammalia: Quiropteros) en el estado Táchira. -Perruolo, G.; Morales, O.	51

Vol.
9(1)
1997

(Edición Especial)

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Anatomía / Morfología	1
Biotechnology / Genética	29
Docencia	44
Ecología	46
Etnobotánica	72
Fisiología / Fotoquímica	76
Jardín Botánico	96
Taxonomía / Sistemática	103

Vol.
9(2)
1997

Vol.
10(1)
1998

(Edición Especial)

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Gestión educativa en el jardín botánico de Caracas: Un modelo de aula abierta. - Tecenvi, A.	1
Taxonomía y Biodiversidad. - Aristiguieta, L.	4
El nicho ecológico vegetal: de la fotosíntesis al hiperespacio. - Fariñas, M.	8
Taller: Permisología e información sobre fitodiversidad en Venezuela (Workshop: Permission Policy and Information on Phytodiversity in Venezuela). - Gaviria, J.; Zambrano, O.; Silva, A., Castellanos, E., Ruiz, Th.; De Martino, G. y Sánchez, I.	13
La selva de bejucos ejemplo de bosque natural inestable de la Guayana Venezolana: Avance de Investigación. - Hernández, L.	16
Proyecto libro rojo de las plantas de Venezuela. - Llamosas, S. y Rojas, F.	21
Análisis de las técnicas utilizadas en el estudio fenológico de la vegetación. - Ortiz, R.	24
Presentación y conservación de especies en el palmetum del jardín botánico de Caracas, Venezuela. - Stauffer, F.	30
Jardines Botánicos, conservación de la biodiversidad y política ambiental venezolana. Advertencia necesaria. - Trujillo, B.	34
Corredores ecológicos en los andes de Venezuela - Yerena, E.	42

(Edición Especial)

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Bolívar y la Religión Católica. - Ballesteros, L.	29
El sistema socio-económico de Bolívar. - Carrillo, T.	31
Bolívar, política, y ética. - Chávez, A.	35
Bolívar y autonomía universitaria. - Díaz, T.	39
Origen de la sociedad bolivariana - Higuera, G.	43
Bolívar y el poder moral - Labarca, P.	55
Bolívar universitario - Lombardi, A.	77
Bolívar escritor ante el espejo de la crítica - Mora, P.	79
Fundamentos para una charla sobre Bolívar en cuanto que escritor - Paredes, P.	87
Bolívar y la unidad hispanoamericana - Rodríguez, L.	89
Los andinos en el marco de la identidad nacional la independencia por estos Lares - Sandoval, M.	91
Bolívar en San Cristóbal - Villamizar, I.	95

Vol.
8(1)
1999

Vol.
8(2)
1999

TÍTULO DEL ARTÍCULO

PÁGINA

Comportamiento Agro-Ecológico del <i>Pteridium aquilinum</i> , en el estado Táchira, Venezuela. - Pérez, L.; Pacheco, J.	5
Una respuesta para la Reforma de la Academia de las Universidades - Ramírez, O.	19
Distribución geográfica de <i>Pieridae</i> (Insecta: Lepidóptera) en el estado Táchira, Venezuela. - Rey, F.	37
Inventario de las plantas Medicinales del estado Táchira, Venezuela. - Vera, A.	55

TÍTULO DEL ARTÍCULO

PÁGINA

Utilización del ramio (<i>Bohemeria nivea</i>) en la alimentación de conejos en crecimiento y engorde. - Bautista, O. y Zambrano, L.	5
Valores en educación superior y su jerarquía de valores en un grupo de estudiantes, universidad nacional experimental del Táchira - Bortone, R.	23
Evaluación del ingrediente activo coumafos para el control de <i>Varroa jacobsoni</i> en colonias con cría de abejas africanizadas (<i>Apis mellifera</i> L.), ubicadas en el municipio montes, estado Sucre -Venezuela. - Casanova, R.; Barrios, L.; Mendoza, C.	45
Relación entre las abejas <i>Apis mellifera</i> L. y la planta "fruta aguacero" <i>Ryania speciosa</i> Vahl., en el Parque Nacional Mochima, municipio Sucre, Estado Sucre, Venezuela. - Casanova, R.	55
Densidad estelar hacia el polo sur galáctico - Molina, R.; Stock, J. y Ontiveros E.	63
Fluctuación poblacional de <i>Lutzomyia</i> spp. (diptera: psychodidae) en zonas endémicas de leishmaniasis en el estado Táchira. Venezuela. - Perruolo, G.; Moncada, A. y Tapias, O.	75

Vol.
12(1)
2000

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Evolución del comportamiento "Grooming" contra <i>Varroa jacobsoni</i> (acarid:dermanicidae) en abejas africanizadas ((Hymenoptera:apidae) en el estado Táchira-Venezuela - Casanova, R.; Hevia, A.	1
Nueva especie de <i>Lepthospaeria</i> Venezolana. - García, E.	11
Caracterización florística de las parroquias Coquivacoa y Olegario Villalobos del municipio Maracaibo, Estado Zulia. - Rey, F.	19
Clasificación automática de espectros estelares tomados con prisma objetivo - Molina, R.	39
Supervivencia de <i>Boophilus microplus</i> en pastizales del estado Táchira, Venezuela - Perruolo, G.	53
Induce de especificidad de la abeja <i>Apis mellifera scutella</i> Latreille, en diferentes meses del año. - Tapias, O.; Monsalve, J.	73
Comportamiento de la roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk & Br.) sobre nueve líneas de catimor en la finca Tuquerena, Rubio, estado – Táchira. - Vivas, A.; Barragán, G.	93

Vol.
12(2)
2000

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Bledo (<i>Amaranthus spp</i>) como ingrediente en dietas para conejos en crecimiento y engorde. - Bautista, E.; Barrueta, H.	1
Daños causados a <i>Varroa jacobsoni</i> (acarid:dermanicidae) por comportamiento "grooming" de abejas africanizadas (Hymenoptera:apidae) - Casanova, R.	19
Crecimiento y fertilidad post-parto de hembras mestizas lecheras en un rebaño del norte del estado Táchira, Venezuela. - García, J.	29
Fisonomía de la vegetación y especies vegetales de interés pícola, de altos de Paramillo. San Cristóbal, estado Táchira. Venezuela. - Tapias, O.	61

Vol.
13(1)
2001

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Categorías de la identidad corporativa de las instituciones universitarias - Márquez, I.	1
Aplicación de redes neuronales en espectros estelares - Molina, R.; Rosales, M.	13
Evaluación colorimétrica de 28 muestras de miel de abejas <i>Apis mellifera</i> L., provenientes de siete zonas de vida del estado Táchira - Mendoza, L.; Casanova, R.	27
Estudio morfológico de <i>Sclerotium cepivorum</i> Berk, agente causal de la pudrición blanca del ajo - Moreno, I.; Acevedo, R.	51
Uso de recursos localmente disponibles para la construcción de nidos artificiales de abejas sin aguijón (Meliponinae) - Moreno, F.; Cardozo, A.	71
Plan de manejo para la conservación de las abejas sin aguijón (Meliponinae) en explotaciones madereras. Caso explotaciones del sur del estado Portuguesa. - Moreno, F.; Díaz, L.; Cardozo, A.	79
Dinámica poblacional de <i>Culicoides insignis</i> (Diptera:ceratopogonidae) en el estado Táchira. Venezuela - Perruolo, G.	95
Tendencia de vuelo de la abeja <i>Apis mellifera scutellata</i> Latreille. (Hymenoptera:apidae) hacia diferentes sectores geográficos en Altos de Paramillo – Jardín Botánico del Táchira, San Cristóbal – estado Táchira - Tapias, O.	113

Vol.
14(1)
2002

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Evaluación de la producción de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) y ajo porro (<i>Allium ampeloprasum</i>) asociados a la cobertura vegetal muerta con un mínimo manejo agronómico - Contreras, O. y Moreno, F.	1
Florae herbariorum tachirenses N° 1: nomina acanthaceae. - García, E.; Tapias, O.; Monsalve, G.; Marciano, E.; Acuña, E.	11
Caracterización taxonómica de la biótica líquénica del jardín botánico del Táchira, San Cristóbal. Edo. Táchira. Venezuela. - García, M.	26
Caracterización y actividad antimicrobiana del aceite esencial de las hojas de <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl) A. Gray. - González, N.; Sánchez, F.; Usubillaga, A.	45
Validación de un biosensor para la detección de mastitis a través de la conductividad eléctrica. - Zambrano, S.; Acosta, F.; Contreras, C.	55

Vol.
14(1)
2002

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Estudio comparativo de las soluciones analítica y numérica para la conducción de calor bidimensional en el estado estable en una pared compuesta - Arévalo, R.	1
Medidor de flujo basado en el principio de disipación de calor - Contreras, C.; Rodríguez, J.; Di Sipio, R.; Tarazona, J.; Contreras, J.	11
Automatización de un sistema híbrido: tres tanques y un surtidor. Parte I: Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica. - Montilla, M.	24
La investigación en la carrera de arquitectura-UNET: Elementos para su análisis. - Vivas, F.	43

Vol.
15(1)
2003

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Una infraestructura para la difusión de conocimiento en las PYME - Carpio, M.; Pérez, L.	1
Evaluación de parámetros sanguíneos indicadores de metabolismo energético y proteico en hembras Brahman, en la Hacienda Santa Rosa, estado Táchira. Venezuela - Mora, R.; Moreno, C.	11
Análisis de proantocianidinas en commelinaceae en el Estado Táchira. Venezuela - Arnaude, O.; González, N.	41
Evaluación de la inseminación instrumental y la fecundación natural medida a través de la efectividad de postura en abejas reinas (<i>Apis mellifera</i>) - Carvajal, C.; Ochoa, A.; Casanova, R.; Cárdenas, A.	49
Reporte de caso de infección por adenovirus bovino tipo 3 asociado a <i>Mycoplasma Boris</i> en la zona norte del estado Táchira - Moreno, C.	61

Vol.
15(2)
2003

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Identificación de patógenos causales de diarrea en terneros en la zona norte del estado Táchira. Venezuela - Mora, R.; Moreno, C.	1
El proceso de preincubación en el modelo de incubación UNET. - González, L.	9
Concentraciones minerales en suero sanguíneo de hembras bovinas Brahman en una finca del sur del estado Táchira, Venezuela. - Depablos, L.; Moreno, C.	17
Comportamiento productivo y reproductivo de búfalas Murrah en tres explotaciones lecheras del estado Táchira. Venezuela. - Zambrano, R.; Contreras, R.	35
Evaluación de la efectividad de la postura en abejas reinas de genotipo italiano <i>apis mellifera ligustica</i> y genotipo africanizado <i>apis mellifera</i> L. - Ochoa, H.; Carvajal, G.; Casanova, R.; Cárdenas, I.	45

Vol.
16(1)
2004

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Estimación del volumen ventricular izquierdo usando algoritmos genéticos - Bravo, A.	1
Sistema de información decisión de la unidad de admisión de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela. - Marrero, C. y Moreno, T.	7
Nueva calibración de un método de clasificación estelar - Molina, R.	17
Establecimiento de un plan estratégico prospectivo para la proyección turística del estado Táchira, Venezuela. - Madriz, D.; Ramírez, B.	24
Normalización y estandarización del protocolo para propagación <i>in vitro</i> de mora de castilla (<i>rubus glaucus</i>) - Solórzano, C.; Linares, S.; Marante, R.	44
Disolución <i>in vitro</i> de fosfatos por hongos del género <i>penicillium</i> aislados de suelos del yacimiento fosfático "monte fresco", estado Táchira, Venezuela. - Valdiz, Z. y Reyes, I.	51

Vol. 16(2) 2004

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
El poder político y el poder militar en Venezuela - Porras, C.	72
Pulpa de café ecológica ensilada con melaza en dietas para conejos (<i>oryctolagus cuniculus</i>) destetados - Bautista, O.; Álvarez, I.; Barrueta, H.	84
Efecto del ácido oxálico en el control de <i>varroa destructor</i> (<i>acarid:dermanicidae</i>) en colonias de abejas africanizadas <i>apis mellifera</i> (hymenoptera: apidae). - Casanova, R.; Uzcátegui, F.; Bracho, R.; Albarracín, L., Grad, N.; Perruollo, G.; Tapias, O.	94
Crecimiento y edad al primer celo de novillas mestizas Holstein levantadas en módulos de pastoreo con suplementación - García, A.	104
Caracterización físico – química en quesos blancos semiduros no pasteurizados, expendidos en la zona norte del estado Táchira - Colmenares, M.; Zambrano, M., Galiano, S.	118

Vol. 17(1) 2005

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Implementación del método Simplet en un programa de elementos finitos basados en volúmenes de control - Torres, M.; Reyes, M.; Escalante, H.	1
Potencialidades productivas del estado Táchira, Venezuela. - Madriz, D.; Ruiz, B.; Castillo, E.; Niño, L.; Márquez, M.; Parra, M.	11
Uso de patentes para la determinación de tendencias tecnológicas. Caso de estudio: nanotecnología. - Amador, B.	33
Amaranthaceae del herbario Juan José Pacheco de la Universidad del Táchira, Venezuela - Monsalve, J.; Tapias, G.; Acuña, E.; Zapata, S.	51
Evaluación del efecto de dos programas de fertilización sobre el comportamiento de pasto estrella (<i>cynodon nlemfuensis</i>) en el periodo de lluvias en una finca comercial - Castellanos, L.; Chacón, C. y Moreno, A.	71
Valor nutritivo del pasto <i>brachiaria humidicola</i> (rendle) schweick a diferentes edades en condiciones de bosque seco tropical - Rodríguez, N.	89

Vol. 17(2) 2005

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Nodulación de quinchoncho <i>cajanus cajan</i> por rizobios disolventes de fosfatos de calcio aislados de leguminosas del estado Táchira - Reyes, I.; Alcedo, Y.	90
Caracterización microbiológica y vida útil de la cuajada ácido láctica obtenida a partir de leche pasteurizada - Rivas, F.; Zambrano, M.; Galiano, S.	100
Caracterización bromatológica de la cuajada láctica obtenida a partir de leche pasteurizada - Zenini, S.; Galiano, S.; Zambrano, M.	115
Utilización de la pulpa de café ecológica ensilada y deshidratada en la alimentación de conejos <i>oryctolagus cuniculus</i> en crecimiento y engorde - Barrueta, E.; Enderson, CH.; Bautista, O.	125
Sustentabilidad y educación ambiental para docentes de educación básica y diversificada utilizando indicadores ambientales en la cuenca del río Táchira - Venezuela - Sánchez, F.; Reyes, I.	133
Sistema de adquisición dedicado a la obtención de señales cardiovasculares utilizando el computador como herramienta de monitoreo y registro - Granda, F.	145
El recurso humano en la PYME del estado Táchira - Cardozo, N.; Infante, C.; Pérez, F.; Ugueto, M.	157

Vol. 18(1) 2006

TÍTULO DEL ARTÍCULO	Página
Concentración de nitrógeno ureico en leche (nul) bovina durante la lactancia en una finca al norte del estado Táchira - Moreno, C.; Mora, R.; Amaya, F.; Olivares, R.	1
Detección de <i>listeria</i> spp. en quesos blancos semiduros comercializados en San Cristóbal estado Táchira - Carrillo, L. y Zambrano, M.	9
Asociación de cultivos hortícola de hoja (<i>Lactuca sativa</i> , <i>Allium ampeloprasum</i> y <i>Coriandrum sativum</i>) con uso de cobertura vegetal muerta - Carrillo, L. y Zambrano, M., Moreno, F.; Contreras, O. y Bracho, B.	18
Efecto de la polinización artificial en el cuajado de frutos de la guanábana (<i>Annona muricata</i> L.) en la zona norte del Estado Táchira - Porras, D.; Briceño, W. y Molina, A.	25
SGA-V: implementación en VHDL'93 de un algoritmo genético simple - Niño, J.; Amaya, J.	31
Diagnóstico gerencial de la PYME tachirense. zonas Puente Real-La Ermita y Santa Ana-Rubio-Capacho - Madriz R., D.; Castillo P., E.; Márquez G., M.; Niño M., L.; Molina M., J.; Moreno M., M.; Quiroz V., Y.	41
Diagnóstico de la pequeña y mediana empresa manufacturera del estado Táchira bajo la norma COVENIN 1980-89 - Márquez, G. M.; Niño, M. L.; Madriz, R. D.; Castillo, P. M.	55
Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado de san cristóbal edificaciones públicas y esenciales, lapso 1900- 1945 - Casanova, B.	65
Adobe: tecnica constructiva, confort y ambiente - Useche, I.; Durán, J.	74
La vivienda indígena en el Táchira, respuesta constructiva y ambiental - Villanueva, L.	89
Residuos sólidos: propuestas ecotecnológicas para la industria de la construcción - Useche, I.; Martínez, A.; Suárez, N.; Contreras, J.; Zapata, J.	98

Vol. 18(2) 2006

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Diseño de cartilla para la construcción de un modelo de vivienda en los páramos tachirenses - Delgado, D.; Useche, I.	103
Aproximación inicial a las implicaciones ambientales del crecimiento residencial, municipio independencia, Estado Táchira - Durán, J.	110
Concepto de renovación urbana en la planificación del área central de San Cristóbal - Pérez de M., T.	117
Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado de san cristóbal edificaciones públicas y esenciales, lapso 1900- 1945 - Casanova, B.	125
La bioclimática como herramienta en la intervención de edificaciones patrimoniales: "El Balcón de Bolívar" - Sánchez, S.; Ramírez, S.	134
Planificación ergo deterioro ambiental en méxico - Cabrera, V.; Tenorio, L.; Luna, J.	143
Arquitectura y desarrollo - Mosquera, J.	152
Implementación de materiales didácticos de apoyo para la enseñanza y aprendizaje del idioma ingles - Cañas, L.	162
Propiedades fractales de patrones de crecimiento en el modelo DLA mediante automatas celulares - González, J.; Rivera, H.; Tucci, K.	173
Herramienta para el procesamiento y visualización de la señal EEG - Guillén, B.; Timaure, R.; Cuadros, J.	181
capacidades tecnológicas de la pyme del sector textil del ESTADO Táchira - Amador, B.; Bautista, G.	193
Proceso de implantación de las nuevas tendencias de mantenimiento en procesos productivos - Zambrano, S.; Leal, S.	181
Simulación computacional de la hidrodinámica del flujo incompresible a través de un codo - Torres, S.; Torres, M.; Escalante, H.; Rosales, W.	212

Vol. 19(1) 2007

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Variables de medición del impacto socioeconómico de la implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos Fumo, N.; Villamizar, P.	1
Comunicación entre InTouch® de Wonderware® y el PIC16F877 Contreras, C.; Contreras, A.; Peñaranda, N.	7
Revision documental exploratoria sobre los factores que inciden en el proceso innovativo de la pyme manufacturera venezolana Márquez, A.; Ruiz, B.	15
Construcción de un equipo para la instalación del armamento del helicóptero AS532 COUGAR Laya, A. 1; Bustamante, J. 2; Duran, D. 2; Hernández, J2.	25
Implementación del protocolo DNP3.0 para una unidad de monitoreo de variables eléctricas de potencia Contreras, C.; Zambrano, U.	33
El sector panadero, una alternativa de desarrollo para el Estado Táchira Cardozo, N.; Infante, C.; Pérez, F. y Ugueto, M.	38
Prevalencia de Balantidium coli (ciliophora:bursariidae) en cerdos del matadero municipal de San Cristóbal Estado Táchira Venezuela Bonilla, M. ; Perruolo, G.	50
Evaluación del proceso de polinización de algunos cultivos comerciales y estimación del rendimiento frutícola Salamanca, G.1; Casanova, R. 2; Osorio, M.	58
Nivel de preparación hacia la red de las alcaldías venezolanas, en su función administrativa como prestadora de servicios públicos Núñez, E.	69
Flora y vegetación de bosques húmedos montanos bajos del Parque Nacional Chorro el Indio. Táchira. Venezuela Monsalve, J1. Zapata, S2. Tapias, G3. Acuña, E4.	79

Vol. 19(2) 2007

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Clasificación espectral cuantitativa. redes neuronales artificiales en el análisis de estrellas gigantes K-M. Molina, R.	80
Evaluación de fluidos refrigerantes no perjudiciales al medio ambiente Salerno, D.	87
Implementación de laboratorios de instrumentación y control a distancia Chacón, R.	95
Algoritmo para la resolución de problemas numéricos con satisfacción de restricciones Rodríguez, D.	105
La intención de crear empresas de los estudiantes de la UNET próximos a graduarse Labarca, I.; Pérez, L.	111
Desarrollo de un microbot móvil autónomo Andrickson, J.; Yáñez, J.	120
Análisis de incertidumbre para una placa orificio según el método de COLEMAN- STEELE Alvarado, M.; Méndez, D.; Torres, M.; Escalante, H.; Rosales, W.	127
Alienación, neoliberalismo y derechos humanos Weky, L. Balbo, J.	133
Mejoras en la calidad de la producción artesanal del bloque hueco de concreto (BHC) Villanueva, L.	140

Vol. 20(1) 2008

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Clasificador difuso neuronal aplicado a casos de enfermedades hepatobiliares representadas por datos con patrones solapados Chacón, J.; Volcanes, R.; Lamed, C.	1
Características de experiencias en redes empresariales de pyme's del estado táchira Cardozo, N.; Pérez, F. y Ugueto, M.	11
Diseño básico de un ciclo rankine con fluido orgánico para una estación de flujo petrolera Velázquez, L.; Torres, M; Rodríguez, P; Escalante, H; Rosales, W.	23
Cuadro de mando integral en los procesos gerenciales de la empresa compañía anónima de administración y fomento eléctrico (CADAFE) Cabeza, Maria A.; Cabeza, Maria E.	32
Propuesta para el mejoramiento de la calidad de la enseñanza en la asignatura ingeniería de la producción I Márquez, M. y Niño, L.	41
El control metacognitivo y los mapas conceptuales para facilitar la comprensión de estructuras conceptuales complejas Ramírez de M., M.; Aspée, M.; Sanabria, I.; Tellez, N.	51
Los barrios de ranchos en el eje Palmira-San Josecito. rol urbano García, N.	62
Madurez vocacional y perfil de valores humanos en estudiantes universitarios que se cambian de especialidad Bortone, R.	72

Vol.
20(2)
2008

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Metodología para el análisis dinámico de válvulas cardíacas artificiales usando el método de los volúmenes finitos Torres, M.; Reyes, M.; Escalante, H.; Rosales, W.	73
Gestión de recursos humanos por competencias, camino para el direccionamiento estratégico de empresas. caso de estudio Cardozo, N.; Ugueto, M.; Infante, C.	79
Biodiversidad asociada con el género <i>lymnaea</i> lamarck 1801 (<i>lymnaeidae</i> : pulmonata: gastropoda), en los andes venezolanos Chacón-Ortiz, A., Guerrero, Ch. y Tovar-Rodríguez, W.	87
Culicoides travassosi forattini, 1957 (díptera:ceratopogonidae): nueva especie para VENEZUELA Perruolo, G.	95
La aplicación de estrategias de aprendizaje, deducidas e inducidas, en la comprensión lectora de inglés: pregrado de ingeniería de la Universidad Nacional del Táchira Cañas, L.	99
Sistema estructural itinerante para la atención de desastres Cánovas, J.; Marcano, M.; Villanueva, L; Rivas, N. y Murzi, H.	106
Manual para la implementación de un sistema de gestión ambiental en mataderos municipales Lara, M.; Cabeza, M.; Espinosa, C.	117
SAN CRISTÓBAL: de la metrópoli imaginadaa la metrópoli real Mogollón, L.	125

Vol.
21(1)
2009

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Caos colectivo en redes de pequeño mundo González-Estévez, J.; Cosenza, M.	1
Modelo de intercambio económico en una sociedad estratificada con interacciones locales Herrera, J. ; Cosenza,M.; Tucci, K.	8
Auto-organización en redes AD-HOC Albornoz, J.	14
Coexistencia de temperaturas granulares diferentes en una capa granular fluidizada Trujillo, L.; Roca J.; Sigalotti Di G. L.	25
Estimación de la dimensión fractal en series de tiempo de la frecuencia cardíaca fetal Ortega, J.; Infante, S.; González, X.	35
Optimización de la conectividad de redes de mapas acoplados mediante un algoritmo genético Estévez, R.; Tucci K.	46
Efecto de la densidad de vehículos de transporte público en la fluidez del tráfico: un modelo autómatas celular Márquez, J.	56
Emergencia de redes de pequeño mundo en sistemas coevolutivos de mapas caóticos acoplados Chipia, M.; Cosenza, M.	60

Vol.
21(2)
2009

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Modelado del desempeño de catalizadores de mo en hds de tiofeno empleando redes neuronales Méndez, P.; Sánchez, N.; Calafat, A.	61
Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de <i>lippia micromera schauer</i> que crece silvestre en el Estado Táchira. Venezuela González de C. N.; Pallares, J.; Ramírez, T.; Alarcón, L. Velasco, J.; Usubillaga, A.	69
Aspectos técnicos en las empresas productoras de piezas de fundición gris del Estado Táchira Peña, M.; Fuentes, J.; Gallardo, J.	76
Competencias genéricas del académico UNET: una herramienta de gestión del recurso humano Cardozo, N.; Ugueto, M.; Infante, C.; Pérez, F.; Guerrero, Y.; Guerra, K.	81
Simulación y análisis de flujo transversal a través de banco de tubos en línea usando el programa CFX Díaz, M.; Guerrero, M; Rojo, J.	93
Diseño instruccional de la asignatura metodología de la investigación Balbo, J.	101
Efecto de <i>Trichoderma</i> spp. en el control de <i>Plasmodiophora brassicae</i> en plantas de coliflor Becerra, C. y Acevedo, R.	107
Establecimiento del programa de transferencia de embriones en fresco en una finca del Estado Táchira Venezuela Montilla, J. Maldonado, J. Urdaneta, A. Garcia, J. Acosta, B.; Moreno, A. Olivares, R. Zambrano, R.	115

Vol.
22(1)
2010

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
AGROPECUARIA Desarrollo de <i>Hypothenemus hampei</i> Ferrari (Coleoptera: Curculionidae) en café pergamino con tres niveles de humedad, en condiciones de laboratorio Salazar, M.; Reyes, J.; Vivas, A.; Sánchez, J. Caracterización microbiológica y físico química del fermento utilizado en la elaboración del pan andino en Venezuela Vonasek, S.; Zambrano, M. Efecto de la fertilización química y orgánica en el rendimiento de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) Briceño, W.; Omaña, R.	1
INDUSTRIAL Modelado y simulación del funcionamiento de una celda de combustible PEM para uso automotriz Posso, F.; Duque, W. Propuesta para la evaluación y mejoramiento de los métodos de trabajo en la PYME Márquez, M.; Pérez, F. Diseño de bloques incompletos balanceados aplicando búsqueda Tabú Rodríguez, D. Reingeniería del Sagaj para su ejecución en la Grid Castro, J.; Casique, D.; Amaya, J.	25
EXACTAS Identificación y evaluación de los impactos ambientales en el proceso de producción de etanol Araujo, E.; Carrero, D.	34
	43
	51
	60

Vol.
22(2)
2010

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
AGROPECUARIA Determinación de biomasa forrajera en residuos de cosecha de caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp. híbrido) Moreno, A.¹; Cárdenas, L.; Zambrano, R.²; Darghan, E.¹; Delgado, L.²; Montilla, J.²	68
INDUSTRIAL Análisis de las capacidades locales de innovación en el estado Táchira Márquez, Alexandra; Pérez, Laura	74
EXACTAS Actividad reproductiva de <i>Hypsiboas lanciformis</i> COPE, 1870 (AMPHIBIA: ANURA: HYLIDAE) en los Andes de Venezuela Tovar-Rodríguez, William¹; Chacón-Ortiz, Andrés¹ y De Jesús-Duran, Rosa² Determinación taxonómica del orégano silvestre y sus relaciones ecológicas en la mina de Lobatera - Táchira - Venezuela Zapata, Yurli¹; Tapias, Omar¹ Seroprevalencia de <i>Toxoplasma gondii</i> (protozoo: sarcocystidae) en cerdos del matadero de San Cristóbal Táchira Venezuela Calderón, Yolimar¹; Perruolo, Gustavo¹	87 96 103
SOCIO HUMANÍSTICO La casa – patio, variaciones tipológicas en los núcleos urbanos del Táchira, Venezuela Casanova, Betania	108

Vol.
23(1)
2011

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
INDUSTRIAL ¿Existe responsabilidad social en las universidades? Infante, Cora Propuesta de gestión para el financiamiento a corto plazo en la PYME metalmeccánica del municipio San Cristóbal del estado Táchira Parra, Maira; Ruiz, Bianey; Madriz, Delia; Castillo, Elizabeth	1 9
SOCIO HUMANÍSTICO El área metropolitana de San Cristóbal. Aspectos demográficos y de división político-territorial Mogollón, Ligia Residuos de la construcción y nuevos componentes Constructivos-Ecomaterial Zapata, José G.	17 25
AGROPECUARIA Evaluación del comportamiento higiénico (CH) en poblaciones de abejas africanizadas <i>Apis mellifera</i> (L.) en Portuguesa-Venezuela Casanova, O. Raúl; Cárdenas, Iván; Albarracín, Luis Prevalencia y carga parasitaria de cultivos de cachamay (<i>Colossoma macropomum</i> CUVIER, 1818 X <i>Piaractus brachypomus</i> CUVIER, 1818) Ramírez-Mora, José Nobel¹; Eslava-Mocha, Pedro René; Agudelo, Eddy	31 36
EXACTAS Mejora del proceso de destilación artesanal para la producción de etanol Herrera, Juan Pablo.; Padilla, Victoria; Cárdenas, Mayrin; Carrero, Yvan; Alayón, Mario Complejidad estadística en series temporales: aplicación a señales EEG Escalona-Morán, M.;¹ Molina, L. A.;² Cosenza, M. G. Influencia de la topología en la distribución de riqueza en un modelo determinista de intercambio económico ¹ González-Estévez, J.;² Cosenza, M. G.;³ López-Ruiz, R.;⁴ Alvarez-Llamoza, O.	46 53 61

Vol.
23(2)
2011

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
INDUSTRIAL Caracterización del proceso innovativo de las pequeñas y medianas empresas metalmeccánicas del estado Táchira Márquez, Alexandra; Mora, Yurby Como toman decisiones los empresarios exitosos Castillo, Elizabeth Modelado del efector final del robot alacrane para el contacto con el suelo García, Marcey¹; Martínez, Jorge²; García-Cerezo, Alfonso³ Consideraciones para el fortalecimiento de las competencias emprendedoras en el estudiante UNET Díaz, Manuel¹; Madriz, Delia² Marco integrador para el desarrollo de equipos de alto desempeño. Caso: unidad de investigación de la UNET Ugueto, Martha y Cardozo, Neyda La generación de electricidad en zonas rurales de latinoamerica utilizando celdas de combustible Posso, Fausto EXACTAS Efecto de los agroquímicos sobre las propiedades biológicas en suelos del estado Táchira Ramírez, Tibilay; González, Nérida; Meza, María; Pallares, Johana SOCIO HUMANÍSTICO Política social en el IX plan de la nación y el plan de desarrollo económico – social 2001-2007 Weky, Luis AGROPECUARIA Evaluación de la fertilización nitrogenada sobre oferta y composición química de pasto azul (setaria anceps) ²Zambrano, Ramón; ¹Montoya, Betty; ²Zambrano, Arlinda; ³Moreno, Alejandro; ¹Montilla, Juan	69 79 88 101 110 122 132 140 148

Vol.
24(1)
2012

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Propiedades mecánicas de la fundición gris producida por empresas del Táchira, Venezuela Peña, Milexa¹; Fuentes, José¹; Gallardo, José²; Zapatero, José³ El trabajo académico del estudiante UNET. Impacto y pertinencia Pérez, Freddy; Ugueto, Martha; Cardozo, Neyda Diagnóstico gerencial de la microempresa manufacturera del estado Táchira, Venezuela Márquez, Mervin; Madriz, Delia; Sierra, Maritza; Parra, Maira Arquitectura de Automatización Basada en Holón Industrial Andrickson, José¹; Chacón, Edgar². Amaya, Jhon³; Pabón, María⁴; Ramírez, Alba⁵ Ambiente organizacional en las unidades académicas de la UNET Sánchez, Lilian; Guerra, Karina; Ugueto, Martha; Muñoz, Miguel; Cardozo, Neyda; Pérez Freddy; Infante, Cora Estudio comparativo de la influencia del abastecimiento de agua en las actividades económicas de la Fria, Venezuela y Mairena del Aljarafe, España Lara, Mayra¹; Cárdenas, Ana¹; Zambrano, Lisbeth¹; Navarro, Jesus² Mapas conceptuales y manipulación sensorial de modelos físicos elementales: una estrategia para la enseñanza-aprendizaje de dinámica rotacional Téllez, Neira¹; Ramírez, María¹; Sanabria, Irma¹; Aspeé, Mario¹ Tripleto de Ca II como calibrador de los parámetros atmosféricos T _{eff} , Log (g), [Fe/H] Molina, Ramón	1 13 21 31 45 55 63 75

Vol. 24(2) 2012	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
AGROPECUARIA	Producción de etanol en cultivos de caña de azúcar en fase plantilla (<i>Saccharum spp. híbrido</i>) Labrador, José¹; Contreras, Quiliano²; Hernández, Edith³; Herrera, Juan¹; Alayon, Mario¹; López, Yulixe²; Márquez, Leonardo, y Becerra Yohana³	90
	Vida productiva en un rebaño bovino doble propósito en Venezuela. I. Modelo de Cox Zambrano, Ramón¹; Chirinos, Zuleima²; Bracho, Belkys²; Yáñez, Luis¹; Vito, José¹; Moreno, Alejandro¹	98
	INDUSTRIAL Modelo de optimización de sistemas de eventos discretos utilizando redes de Petri Durán, Nelson	105
EXACTAS	Programación lineal ante el reto de la transcomplejidad del proceso de producción de quesos Morris, Lloyd.; Salazar, Olga.; Quiñones, Yeanette	113
	Germinación y desarrollo de <i>Lippia micromera</i> Schauer en el sector Cazadero Minas de Carbón de Lobatera, Táchira- Venezuela Zapata Yurli; Tapias Gabriel	121
	SOCIO HUMANÍSTICO Macrosectorización del riesgo de inundación en la cuenca del río Torbes Useche, Ivan; Chacón, Leandro; Criollo, Rosa; Salas Zulay	127

Vol. 25(1)	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
INDUSTRIAL	Enfoque para la reconstrucción del ventrículo izquierdo en angiografía rotacional por rayos X Bravo, Antonio¹ y Medina, Rubén²	1
	El rol de la universidad en el desarrollo de interacciones con el entorno productivo González, Yanireth; Márquez, Alexandra; González, Salvador	19
	Arquitectura de control en labview para laboratorio de control, mediante plc twido Andrickson, J.; Ramírez, A.; Pabon, M.; Barón, G.; Rangel, J.	28
EXACTAS	Desempeño ambiental de la agroindustria rural de caña panelera en el municipio Junín, estado Táchira, Venezuela Solórzano C., C.; Carrero, Y.; Padilla, V.; Alayón, M. y Herrera, J.	38
	Efecto de <i>Trichoderma</i> , de sus metabolitos no volátiles y extractos de plantas sobre <i>P. brassicae</i> Becerra C., C.; Escalante O., M. y Pérez R., M.	46
	Contaminación por parásitos caninos de importancia zoonótica en playas del estado falcón, Venezuela Perruolo, L. Gustavo; Chacon-Ortiz, Andres; Agudelo, Eddy; Orellana, Andrés; Tovar, William	54
	Empleo de programas en labview para la dilución y mezcla de bebidas alcohólicas artesanales Herrera, Juan Pablo.; Padilla, Victoria; Moreno, Mayerllyn	58

Vol. 25(2) 2013	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
AGROPECUARIA	Responsabilidad Social Universitaria La agricultura ecológica y su impacto socio-ambiental en agrosistemas de café. Caso de estudio: Cooperativa Quebrada Azul, municipio Andrés Bello, estado Mérida (Venezuela) Castillo, Maicol y López, Roberto	1
	Diseño de estrategias de neuromarketing para la Universidad Nacional Experimental del Táchira Pacheco, Mónica del Carmen	13
	Fortalecimiento de la responsabilidad social universitaria en los docentes de la UNET Rodríguez, Karena	20
SOCIO HUMANÍSTICO	Orientación educativa y responsabilidad social universitaria garantía para la consolidación de una carrera profesional Delgado Muñoz, Ana Rita	28
	Análisis de la aplicabilidad de los derechos humanos: desde una mirada internacional, nacional, local y del consultorio jurídico - Universidad Simón Bolívar, extensión Cúcuta Illera, Mercedes	37
	Comunidades de aprendizaje para el desarrollo de la agroindustria rural en caña panelera del estado Táchira Solórzano, Carmen Sol; Carrero, Yvan; Padilla, Victoria; Herrera, Juan ; Alayón, Mario y Vivas, Marisabel	45
EXACTAS	Entornos Virtuales Software educativo para la integración en la lectura de niños con discapacidad visual (baja visión) Fernández, Luisenia	56
	Problemas de contextualización de transferencia de conocimiento virtual entre países: un estudio de caso Vega, Lurelis; Rondón, Blanca; Matos, Nixdorís; Berrios, María del Socorro; Monsalve, Trina	61
	Transdisciplinariedad en las Ciencias Sociales Escritura académica, una práctica transdisciplinaria y colaborativa Guerrero, Rosmar; Guerrero, Nathalia	68
	Actitud de los docentes de ciencias básicas ante la incorporación de las TIC en el proceso de enseñanza y aprendizaje Ramírez, Grellys; Vivas, Marisela	73
	Configuración del patrón cognitivo en la elaboración del proyecto de investigación Rondón, Blanca; Sánchez, Marina; Berrios, María; Bastidas, Trina; Matos, Nixdorís	83
	La síntesis estereognósica como definición de la transdisciplinariedad Miguel Martínez Miguélez	91

Vol. 26(1) 2014	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
AGROPECUARIA	Validación de un Protocolo de Plastinación como una técnica alternativa para la preservación de material biológico en el Laboratorio de Anatomía Animal de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. Pernia, Jazael; López, Alejandro; Acosta, Bladimiro	1
	SOCIO HUMANÍSTICO Intervención de frentes de agua urbanas en América Latina. Principios de sostenibilidad Ruiz Ferrer, Isis; Pérez de Murzi, Teresa	8
	Tutorial de Metodología de la Investigación, dirigido a estudiantes de Ingeniería Informática de la UNET Ruiz, Yovanni; Moreno, Teresa; Leguizamón, Andrés y Velandia, Rocio	20
EXACTAS	Diagnóstico de la asignatura Geometría Descriptiva para diseñar un material de instrucción basado en TIC Machado González, José Ramón	34
	Caracterización de residuos y desechos sólidos de la Clínica Médico-Odontológica del Instituto de Previsión Social del Personal Académico de la UNET (IPPUNET) Carrero, Darcy; Peña, Luimart; Rangel, Zulay; Paz, Martin y Rodríguez, Karena	42
	INDUSTRIAL Influencia de la Extensión Universitaria UNET en el desarrollo endógeno del estado Táchira Guerrero, Yadira y Ramírez, Jenny	53
	CIENCIAS EXACTAS Carbonatos Orgánicos Cíclicos como Monómeros: Síntesis y Caracterización Monsalve, Meribary; Contreras, Jesús	67
	Calibración de un Algoritmo para la determinación de periodos en Estrellas Variables Periódicas Velásquez, Raúl; Vivas, A. Katherina y Sánchez, Néstor	80

Vol.
26(2)
2014

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
AGENDA HÁBITAT. INDICADORES CLAVE DE VIVIENDA PARA EL MUNICIPIO SAN CRISTÓBAL, ESTADO TÁCHIRA, VENEZUELA García, Norma; Pérez, Teresa	91
CARACTERIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DEL TÁCHIRA Márquez, Alexandra; Ruiz, Bianey	101
SIMULACIÓN TRIDIMENSIONAL MEDIANTE EL SOFTWARE ANSYS CFX 12.1 DEL FLUJO DE AIRE A TRAVÉS DE LA CAVIDAD DE UN PERFIL 2415-3S CON UNA SERIE DE ÁLABES INTERNOS Mendoza, Luis D.; Velázquez Araque, L.; Casanova, Jesús	111
POLÍTICA SOCIAL EN EL IX PLAN DE LA NACIÓN Y EL PLAN DE DESARROLLO ECONÓMICO – SOCIAL 2001-2007 Weky, Luis	119
COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DEL ACEITE ESENCIAL DE FRUTOS DE <i>Swinglea glutinosa</i> (Blanco) Merr González de C. N.; Araque, C.; Montilva, Z.; Velasco, J. y Usabillaga, A.	127
EVALUACIÓN DE LA COMPATIBILIDAD MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA ENTRE AISLAMIENTOS DE <i>Trichoderma</i> spp. Becerra Claudia; Escalante, Mayra y Galvis, Johana	133
RECONOCIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE LOS PLATANILLOS DE LA FAMILIA HELICONIACEAE EN EL ESTADO TÁCHIRA Acuña, Elsie; Tapias, Omar; Zapata, Yurli	142
DIPTEROS FORETICOS DE <i>Dermatobia hominis</i> (Linnaeus Jr., 1781) EN PEDRAZA, MUNICIPIO SAN CRISTÓBAL, ESTADO TÁCHIRA, VENEZUELA Perruolo, L. Gustavo; Chacón-Ortiz, Andrés; Agudelo, Eddy; Orellana, Andrés y Tovar, William	154

Vol.
27(1)
2015

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
EFFECTOS PRODUCIDOS POR LA VARIACIÓN DE PARÁMETROS DIMENSIONALES SOBRE LOS ESFUERZOS SOPORTADOS POR ENGRANES RECTOS Vivas, Josue; García, J. Marcey	1
LA GERENCIA DE PROYECTOS COMO HERRAMIENTA DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Salazar Herrera Olga Jasmin; Morris Molina Lloyd Herbert; Castillo Romero Doris Yorlet; Guglielmi Ovalles Indira Isolina; Quiñónez Valdez, Yeanette Beatriz	14
REQUERIMIENTOS DEL ENTORNO SOCIOLABORAL PARA LA FORMACIÓN DE INGENIEROS INDUSTRIALES Ugueto, Martha; Madriz, Delia	25
PLAN ESTRATÉGICO DE EXTENSIÓN PARA EL DESARROLLO RURAL EN EL MUNICIPIO RANGEL DEL ESTADO MÉRIDA – VENEZUELA Zambrano R. Fernando; Vivas L.; Cañas A.	41
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y EL ESTADO NUTRICIONAL DE UN CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR BAJO FERTIRRIGACIÓN EN EL PERIODO DE PLANTILLA Moreno, Alejandro; Molina, José A.; Darghan, Enrique; Montilla, Juan; Zambrano, Ramón	53
EVOLUCIÓN DE LAS REDES VIARIAS DE LOS ALREDEDORES DE SAN CRISTÓBAL. EFECTOS EN LA CONFORMACIÓN METROPOLITANA CONTEMPORÁNEA Mogollón de Márquez, Ligia Esther	60
ANÁLISIS QUÍMICO EN LA ESTRELLA GIGANTE HD 206066 Molina, Ramón E.	70

Vol.
27(2)
2015

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
ELEMENTOS MOTIVACIONALES DEL DESEMPEÑO LABORAL: DIRECCIÓN DE RECURSOS HUMANOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DEL TÁCHIRA. Carrero, María; Márquez, Alexandra; González, Yanireth	85
PROPUESTA DE MIGRACIÓN A IPV6 PARA UNA RED DE COMUNICACIÓN DE DATOS. CASO DE ESTUDIO RED UNET Monsalve, Norma; Amaya, Jhon; Reyes, Douglas; Pernia, Edgar	97
ECOSISTEMAS DEL ESTADO TÁCHIRA COMO ESPACIOS PARA LA ENSEÑANZA EN BIOLOGÍA. Chacón-Ortiz, Andrés; Tovar, William; Perruolo, Gustavo; Salcedo, Marco	107
DIAGNÓSTICO FÍSICO DE LA CASA DE LA HACIENDA PARAMILLO Márquez, Manuel; Pinzón, Lourdes; Porras, María; Useche, Ivan	114
USO DE LAS NARRATIVAS TRANSMEDIA COMO UNA NUEVA FORMA DE COMUNICACIÓN EN LA ERA DIGITAL Contreras C., Juan J.	126

Vol.
28(1)
2016

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
VALORACIÓN DE MODELOS DE TURBULENCIA EN DOMINIOS COMPUTACIONALES PARA SIMULACIÓN DE UNA TURBINA HELICOIDAL Marturet, Gustavo; Gutiérrez, Edgar; y Caraballo, Simón	1
ESTRATEGIA DE EVALUACIÓN DE APRENDIZAJE BASADA EN RETROALIMENTACIÓN. LABORATORIO DE FÍSICA I DE LA UNET. Guerra, Karyna; Ramírez, María; Sanabria, Irma.	19
MELASTOMATACEAE EN LOS MUNICIPIOS FERNÁNDEZ FEO Y TORRES DEL ESTADO TÁCHIRA Zapata, Yurli	30
DISEÑO DE LAS PAILAS PARA UN CENTRAL PANELERO A VAPOR Alarcón, Karla; Alayón, Mario; Carrero, Yvan; Díaz, Carmen; Vivas, Marisabel	37
EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD EN PANELAS DE LOS MUNICIPIOS SUCRE, JUNÍN, AYACUCHO Y CÁRDENAS DEL ESTADO TÁCHIRA, VENEZUELA. Solórzano, Carmen; Montilva, Leonarda	48

Vol.
28(2)
2016

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
SISTEMAS AUTÓNOMOS DE POZOS Camargo, Edgar; Aguilar, José	58
CREACIÓN DE SISTEMAS MULTIAGENTES: UN IDE BASADO EN MASINA Y FIPA Hidrobo, Francisco; Rivero, Paola; Rios, Addison	71
MOTOR DE JUEGO SERIOS EN ARMAGAcoco Aguilar, José; Altamiranda, Junior; Díaz, Francisco; Mosquera, Diego	100
PLN Y PROCESOS DE INFERENCIA EN LA IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GENÉTICAS Y SUS MODOS DE REGULACIÓN López, José;Ramírez, Yacson; Morales, Yonathan; González, Luis	111
ROSTRO GENÉRICO PARA MÁQUINAS QUE INTERACTUAN CON PERSONAS Dapena, Eduardo; Pérez, Jesús; Rivas, Rafael; Guijarro, Alfonso	121

Vol.
29(1)
2017

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Sistema de Gestión de la productividad de la microempresa y PYME del sector comercio (rubro venta de calzado) del municipio San Cristóbal del estado Táchira. Sierra, Maritza; Castillo, María	1
Propuesta metodológica para identificar factores influyentes en las funciones de docentes universitarios. Sánchez, Lilian; Ramírez, Jenny; Guerra, Karyna	20
Un modelo normativo para orientar el pensamiento creativo aplicando el método PIAEM Roa, Mary; Porras, Yazmira	31
Estudio de la Fitotoxicidad de Hidrogeles derivados de Acrilamida y Ácido Itacónico hacia plantulas de papa (Solanum tuberosum, L) Contreras, Jesús; Juárez, Jessica; Oliveros, Alberto	41
Efectividad del Biocarbón, Vermicompost, Turba y la adición de <i>Trichoderma</i> sp. en la aclimatización de plántulas de fresa producidas <i>in vitro</i> Becerra, Claudia; Linares, Sonia; Linares, Clemente y Jiménez, Dubraska	53
Compatibilidad entre <i>Trichoderma</i> spp., sus metabolitos no volátiles y extractos de plantas Becerra, Claudia; Escalante, Marilyn	60
Calidad del calostro de búfalas (<i>Bubalus bubalis</i>) en la zona norte del estado Táchira, Venezuela Arellano, Eudi; García, José; Vivas, Fernando	68

Vol.
29(2)
2017

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
SISTEMA DE INFORMACIÓN EN CONTROL DE PROCESOS Andrickson, José; Arellano, María; Antony, Caro; Pabón, María; Hernández, Carlos.	74
SUPERVISOR WEB BASADO EN SISTEMA EMBEBIDO Bravo, Henry; Cárdenas, Miguel; Andrickson, José	91
METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ANTENA MICROSTRIP PARA APLICACIONES RFID. Fernández, Henry	104
PRÁCTICAS PARA LA INTEGRACION SOCIO-LABORAL DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD. Flores, Yatinelly; Tapias, Gabriel; Oviedo, Libia	121
DIAGNÓSTICO DE LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA DE LA UNET EN FUNCIÓN DE LOS PROCESOS EDITORIALES Y LOS ESTÁNDARES INTERNACIONALES. Villalobos, Salvador; Chacón, José	135
IMPACTOS AMBIENTALES EN LA ETAPA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS. CASO: TERRAZAS DEL VALLE MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO TÁCHIRA. Pérez, José; Carrero, Darcy	148
CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE TRICHODERMA SPP. (ASCOMYCOTA: HYPOCREACEAE) CON RAPDS E ITS-RFLPS. Becerra, Sioly; Vera, Rosa; Pérez, Mayra; Moreno, Bridget	162
DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA RESIDUAL DE UNA GRANJA PORCINA EN EL MUNICIPIO TORBES, TÁCHIRA Cárdenas, Marcos; Espinosa, Sindy; Cárdenas, Mayra	173



Universidad Nacional Experimental del Táchira
Revista Científica UNET
San Cristóbal. Táchira - Venezuela
VOL 30(1): Enero - Junio, 2018