

VOL. 30(2) JULIO - DICIEMBRE, 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

Secretaria

Silverio Bonilla

Decano de Docencia

José A. Molina

Decano de Extensión

Lisette 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. Roperó



cc 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

William Tovar

Irma Sanabria

América Quintero

Arelis Díaz

AGROPECUARIA

Alexis Valery

Ramón Zambrano

Eudi Arellano

Bridget Moreno

Norelys Rodríguez

Luis Bautista

Melissa Manrique; Jesús Darío Lara;
Rosa Corzo

Revisión ortotipográfica

Luz Ángela Cañas; Belkys Moncada;
Clevia Pérez.

Revisión resumen en inglés

Ubaldo Girardi

Diagramación y Montaje

Karina Torres; Lizey 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

La educación, vista en el contexto universitario, debe fortalecerse en torno a las actividades académicas primordiales para el funcionamiento efectivo de las instituciones donde se forman los futuros profesionales que impulsan el desarrollo del país. Por ello, desde lo social, económico, tecnológico y científico, la investigación es uno de los principales quehaceres a tener presente como eje transversal dentro del plan de estudios de cada carrera.

La investigación universitaria requiere del desarrollo de un sistema científico-tecnológico que considere la formación de un recurso humano capacitado para dar soporte a todos los procesos involucrados en el desarrollo del conocimiento y en la innovación, asimismo amerita la creación de mecanismos más idóneos para la promoción y divulgación de los productos de la investigación científica, tanto pura como aplicada.

Las universidades necesitan ser cada día más competitivas, ubicándose en los primeros lugares como instituciones donde la actividad académica de investigación, a través de sus indicadores, demuestren su productividad en los diferentes campos científicos, lo cual es muy difícil de lograr si no se cuenta con los recursos económicos necesarios para la inversión en los diferentes proyectos que surgen de las necesidades sociales. Es por tanto fundamental crear alianzas entre el gobierno, el sector empresarial y las universidades, lo cual permitirá obtener logros importantes para la comunidad regional, nacional e internacional en más corto tiempo y con una mayor efectividad.

Dentro de este marco de referencia, el Decanato de Investigación UNET viene promoviendo e impulsando el desarrollo de eventos científicos que han permitido compartir experiencias investigativas desde el área industrial, agropecuaria, socioeconómica cultural y ciencias exactas, lo cual se viene difundiendo a través de la *Revista Científica UNET*.

Para este año 2018, bajo una nueva modalidad de comunicación asíncrona y haciendo uso de las TIC, la organización del Congreso Binacional de Investigación UNET ha logrado una nutrida participación de investigadores de varios países que enriquecen el acontecer académico-científico de la región con productos científicos de alto nivel.

Dr. José Alexander Contreras B.

Vicerrector Académico
Universidad Nacional Experimental del
Táchira (UNET)

PRESENTACIÓN

En el marco del 44° 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

INDUSTRIAL

ESTADO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN LAS LADRILLERAS DE LA ZONA METROPOLITANA DE CÚCUTA-COLOMBIA: PROPUESTA DE USO DE INDICADORES 351
Cárdenas, Ricardo; Díaz, Juan; Zambrano, Heidy

PERFIL DE COMPETENCIAS DEL MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL 361
Ugueto, Martha; Madriz, Delia; Castillo, María

DESARROLLO DE UN MEDIDOR DE FLUJO PARA REFRIGERANTES EN FASE LÍQUIDA BASADA EN IOT 372
Contreras, César; Molina, José; Rivero, Angie; Morales, Alfredo

IMPLEMENTACIÓN DE UN ESTIMADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN CON CONTROL VECTORIAL POR MEDIO DE UNA RED NEURONAL 380
Belandria, Luciano; González, Jaime

DESARROLLO DE UN SIMULADOR PARA EL ESTUDIO DEL MODELO CINEMÁTICO DE ROBOTS MÓVILES TIPO SKID STEER 393
García, Jesús; Vecino, Yossuan

MAQUETA SMART CITY CON FINES ACADÉMICOS 404
Contreras, César

METAHEURÍSTICA HÍBRIDA ENTRE FIREFLY ALGORITHM Y HARMONY SEARCH PARA ENTONACIÓN DE CONTROLADOR PID 413
Aspée, Catherine; Amaya, Jhon

AGROPECUARIA

EVALUACIÓN DE *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae* Y *Bacillus subtilis* EN LA PROMOCIÓN DEL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE TOMATE Y PIMENTÓN 425
Bautista, Luis; Córdón, Eduard

LOS BIOFERTILIZANTES COMO UNA HERRAMIENTA DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE EN LOS CULTIVOS DEL PIMENTÓN Y DEL CAFÉ 435
Sánchez, Argenis; Dávila, Belsy; Briceño, José; Valery, Alexis

EVALUACIÓN DE <i>Trichoderma asperellum</i> Y MEZCLAS DE SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE PAPA (<i>Solanum tuberosum</i> L.) VARIEDAD GRANOLA Montoya, Carlos; Arias, Karen; Chacón, Hernando; Sulbarán, José; Ramírez, Beatriz	444
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CLON DE PAPA (<i>Solanum tuberosum</i> L.) 'ANGOSTUREÑA' EN DOS ÉPOCAS DE SIEMBRA EN EL ESTADO TÁCHIRA Roa, María; Morales, Ender; Linares, José	452
EFFECTO DE EXTRACTOS DE CLAVO Y CANELA PARA EL CONTROL POSTCOSECHA DE LA ANTRACNOSIS (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>) EN LECHOSA (<i>Carica papaya</i>) Roche, Glenys; Pérez, Mayra; Moreno, Bridget; Vera, Rosa	463
DISMINUCIÓN DEL CRECIMIENTO MICELIAL DE <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> Y DEL MOHO BLANCO EN LECHUGA POR EFECTO DE EXTRACTOS ETANÓLICOS DE PLANTAS Escalante, Marlyn; Chacón, José; Suárez, María; Barbosa, Alexandro	473
MODELO DE SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO DE CULTIVOS: CASO DE ESTUDIO PLANTAS DE LISIANTHUS (<i>Eustoma grandiflorum</i>) CV MARIACHI BLUE Valery, Alexis; Guerrero, Jean; Molina, José	482
CARACTERIZACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE AGROECOSISTEMAS EN CAÑA PANELERA DEL MUNICIPIO CÓRDOBA, ESTADO TÁCHIRA, VENEZUELA Solórzano, Carmen; Carrero, Yvan	490
POTENCIAL RESTAURADOR DE <i>Setaria</i> sp., EN UN SUELO DEGRADADO POR EXPLOTACIÓN MINERA CARBONÍFERA Álvarez, Luimar; Reyes, Isbelia	502
COMPOSICIÓN Y CALIDAD DEL QUESO GUAYANÉS A NIVEL DE CENTROS DE COMERCIALIZACIÓN Maldonado, Ronald; Llanca, Luís; Homsí, Wendy; Paiva, Alicia; Román, Yasmín; Calderón, Norely; Isturiz, Rosaura; Jiménez, Olymar; Gámez, Lis; Meléndez, Bernavé	512
TRANSFERENCIA DE INMUNOGLOBULINAS CALOSTRALES EN BÚFALOS (<i>Bubalus bubalis</i>) Arellano, Eudi	521
SOCIO ECONÓMICO	
ANÁLISIS FISIOLÓGICO DE LA TRANSICIÓN AERÓBICA-ANAERÓBICA, CON PATINADORES DE CARRERAS POR MEDIO DEL TEST DE CAMPO TIVRE-PATÍN Lozano, Rafael; Bustos, Brian; Acevedo, Andrés	529
LA WEBQUEST COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA EL DESARROLLO DE LAS BASES TEÓRICAS EN UN TRABAJO DE APLICACIÓN PROFESIONAL Ruíz, Yovanni	536

UNA MIRADA A LA TECNOLOGÍA NO CONVENCIONAL ACERO-CONCRETO A TRAVÉS DE LA OBRA DEL ING. JOSÉ ADOLFO PEÑA
Hernández, Erika 547

MODELO INTERACTIVO DE SIMULACIÓN: PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS, VIGAS Y LOSAS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA EDIFICACIONES ORTOGONALES
Vivas, Pablo 558

PARTICULARIDADES MORFOLÓGICAS Y CONSTRUCTIVAS DEL CRECIMIENTO VERTICAL EN EDIFICACIONES EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE SAN CRISTÓBAL, ESTADO TÁCHIRA
Villanueva, Luis; Machado, José; Marín, Dulce; Orozco, Enrique 568

CIENCIAS EXACTAS

MORFOLOGÍA DE ESTRUCTURAS VEGETATIVAS EN CUATRO ESPECIES DEL GÉNERO *Heliconia* L., PRESENTES EN DOS MUNICIPIOS DEL ESTADO TÁCHIRA – VENEZUELA
Castillo, Maicol; Acuña, Elsie; Sanabria, María; Zapata, Yurli 581

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS POLARES DEL SUELO MEDIANTE EL USO DE NaOH/H₂O
Quiñonez, Mayuri; Almarza, Jorge; Camargo, Danny; Ruiz, Claudia; Camargo, Daniela; Linares, Clemente 592

EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS TERMOESTABLES (POLARES/APOLARES) DEL SUELO EN AGROECOSISTEMAS DEL ESTADO TÁCHIRA
Almarza, Jorge; Camargo, Danny; Ruiz, Claudia; Camargo, Daniela; Linares, Clemente. 603

CENTRO DE ACOPIO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA EL MUNICIPIO SAN CRISTÓBAL, ESTADO TÁCHIRA
Peña, Héctor; Rodríguez, Karena; Ramírez, Betty; Cárdenas, Mayra 613

EMISIONES URBANAS DE DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE COMO INDICADOR FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO
Morantes, Giobertti, Giraud, Loraine 622

EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y BIOLÓGICA EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS DE UNA INDUSTRIALÁCTEA
Pimiento, Kleiver; Cárdenas Marcos 642

PROTOTIPO EXPERIMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE METANO A PARTIR DE LA DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA DE EXCRETAS VACUNAS
Parra, Carlos; Arellano, Juan; Rey, Daniela; Sánchez, Lenis; Cárdenas, Mayra 653

INDUSTRIAL

ESTADO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN LAS LADRILLERAS DE LA ZONA METROPOLITANA DE CÚCUTA (COLOMBIA): PROPUESTA DE USO DE INDICADORES

STATE OF MAINTENANCE MANAGEMENT IN THE METROPOLITAN POTTERY ZONE OF CUCUTA-COLOMBIA: PROPOSAL OF USE OF INDICATORS

AUTORES:

Cárdenas-Omaña, Ricardo¹; Díaz-García, Juan²; Zambrano-Sandoval, Heidi³

¹Docente del Programa de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingenierías. Unilibre. Cúcuta - Colombia.

²Departamento de Ingeniería Mecánica. UNET. Venezuela.

³Programa de Investigación PISH. UNET. Venezuela.

Corresponding Author:

ricardoe.cardenaso@unilibre.edu.co

Palabras clave: Indicadores, mantenimiento, gestión, ladrilleras, Cúcuta.

Key words: Indicators, maintenance, management, brickworks, Cucuta.

RESUMEN

En la zona metropolitana de Cúcuta existe un conjunto de empresas dedicadas a la fabricación de artículos cerámicos de construcción, denominadas *ladrilleras*, cuyo proceso de producción ha sido estudiado por especialistas en el área (Díaz 2012, 2013; Díaz y Sánchez 2011). El objetivo de esta investigación fue diagnosticar la situación de la gestión de mantenimiento en dichas empresas, mediante una herramienta de evaluación cuantitativa (COVENIN, 1993), para determinar las acciones de mejora y diseñar un sistema de indicadores de control de gestión de mantenimiento. Se realizaron entrevistas en diez de ellas (la selección de la muestra fue intencional) y se midió el control de gestión de mantenimiento. Fueron determinados los factores de gestión a controlar y se seleccionaron indicadores en función de la evaluación por áreas. Se propuso una estructura organizativa capaz de aplicar los indicadores. Se evaluaron doce áreas relacionadas con la gestión de mantenimiento y fue estructurado un sistema de 36 indicadores para medir la eficiencia, eficacia y efectividad del mantenimiento.

ABSTRACT

In the metropolitan area of Cúcuta there is a group of companies committed to the manufacture of pottery construction items called *brick makers* whose production process has been studied by specialists in the area through technical reports, articles in specialized magazines and books (Díaz 2012, 2013, Díaz and Sánchez 2011). The main objective of this study was to diagnose the situation of maintenance management in selected companies, using a quantitative evaluation tool (COVENIN 2500-93 standard) to determine improvement actions in core aspects and to design a control indicators' system of maintenance management applicable to companies in the pottery sector of the metropolitan area of Cúcuta. Interviews were conducted in ten (10) companies in the metropolitan area of Cúcuta. The selection of the sample was intentional. The control of maintenance management in the companies was measured by the COVENIN 2500-93 Standard. The management factors to be controlled were determined and indicators were selected based on the evaluation by areas. The values of the maintenance management of the different areas of the companies were obtained. A control indicators' system applicable to companies in the pottery sector of the metropolitan area of Cúcuta was designed. An organizational structure capable of applying the indicators is likewise proposed. The twelve (12) areas related to maintenance management were evaluated. The system of maintenance management indicators was structured with 36 indicators which measure the efficiency, effectiveness and effectiveness of maintenance.

Recibido: 30/03/2018 Aprobado: 22/06/2018 Versión Final: 06/09/2018

INTRODUCCIÓN

En el contexto empresarial las nuevas filosofías de mantenimiento buscan aumentar la operatividad de los sistemas de producción, por medio del tratamiento adecuado de la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad de máquinas, equipos e instalaciones, para elevar su productividad y vida útil.

Las pequeñas y medianas empresas han comprendido que el mantenimiento de los activos es una buena política para generar mayor productividad y competitividad así como mayor rentabilidad económica. Díaz Navarro (2007) propone que una buena gestión de mantenimiento puede ser aplicada a cualquier tipo de industria, incluido el sector cerámico, y debe manejar los siguientes aspectos: gestión de equipos, gestión de recursos humanos, gestión de trabajos, gestión de existencias y aprovisionamientos, y control de gestión económica.

La manera de evaluar la dirección de la empresa y los resultados de la gestión en un período determinado es mediante el uso de indicadores que nos permitan cuantificar lo que se ha hecho; en este sentido, el control de gestión juega un papel preponderante como factor de apoyo, que contribuye a detectar las posibles falencias en los procesos productivos.

El área metropolitana de Cúcuta (Colombia) cuenta con una de las industrias más tradicionales y dinámicas del sector cerámico de la región, comúnmente llamadas *ladrilleras* o *tejares*, empresas dedicadas a la producción de ladrillos, bloques, baldosas y tejas, entre otros.

Se puede decir que estas se han acostumbrado a realizar su gestión de mantenimiento de una forma reactiva; o sea, cuando sus activos lo requieren de manera urgente, y no se han detenido a planear las actividades y/o a diseñar un sistema tal que les permita medir y controlar la gestión de mantenimiento de sus activos y

donde además se involucre a todos los interesados.

Un trabajo previo (Díaz, 2012) manifiesta que un gran porcentaje de las empresas de este sector no tienen un departamento de mantenimiento ni planes específicos en este ámbito.

Es por ello que se necesita recoger la mayor cantidad posible de datos sobre los diferentes tópicos de mantenimiento, pues de allí saldrá la información pertinente para el diseño y uso de indicadores que permitan un control eficaz y propicien una buena gestión de los activos.

Díaz (2013), en su investigación “Indicadores energéticos y estado actual del mantenimiento en la industria ladrillera de la zona metropolitana de Cúcuta”, afirma que “es necesario entonces desarrollar programas de excelencia operacional dentro de las empresas ladrilleras que involucren un sistema de gestión de mantenimiento” (p. 11), sistema que debe usar un software especializado para las empresas visitadas, dada la similitud del proceso productivo.

Por lo que se considera posible desarrollar un sistema de indicadores que pueda ser utilizado por la totalidad de las empresas pertenecientes al sector cerámicos de la zona metropolitana de Cúcuta.

Dentro de los objetivos de la investigación se tiene:

a) Diagnosticar la situación en las empresas del sector cerámico seleccionadas, con una herramienta de diagnóstico cualitativo y cuantitativo de control de gestión de mantenimiento; b) identificar los factores de la gestión a controlar con el uso de indicadores, para evaluar el grado de cumplimiento de la gestión del mantenimiento; c) diseñar un sistema de indicadores de control de gestión de mantenimiento aplicable a las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta.

MÉTODO

La presente investigación se considera de tipo descriptivo, por cuanto registra, analiza e interpreta el estado actual del fenómeno estudiado, y propone un sistema de indicadores de control de gestión para los procesos involucrados en el mantenimiento, aplicable a cualquier empresa del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta.

Inicialmente se realizó un inventario de las empresas existentes y se seleccionó un grupo representativo en el que se pudiera aplicar como herramienta diagnóstica la Norma COVENIN 2500-93 (COVENIN, 1993), la cual permite evaluar los sistemas de mantenimiento, con el fin de determinar cuáles son las capacidades de cada una de ellas respecto a la problemática asociada a su organización, planificación, tipos de mantenimiento, personal involucrado, entre otros.

La información obtenida permitió identificar en cada una de tales empresas y en su conjunto los factores relevantes de la gestión que se encuentran fortalecidos o las debilidades presentes, para así generar un sistema de indicadores que llevara a establecer un control sobre la gestión del mantenimiento.

Este sistema les permitirá en cualquier momento monitorear y evaluar el grado de cumplimiento de la gestión.

La muestra consistió en diez empresas ladrilleras de diverso tamaño dedicadas a la elaboración de productos cerámicos, ubicadas en la zona metropolitana de Cúcuta.

Se aplicó un muestreo intencional, basado en la facilidad para el acceso a la información de 10 empresas seleccionadas. Como establece Namakforoosh (2005, 189): “En el muestreo intencional todos los elementos muestrales de la población serán seleccionados bajo estricto juicio personal del investigador. En este tipo de

muestreo el investigador tiene previo conocimiento de los elementos poblacionales”.

Las áreas para evaluar el sistema de mantenimiento, según norma COVENIN 2500-93, son las siguientes: I) organización de la empresa; II) organización de mantenimiento; III) planificación de mantenimiento; IV) mantenimiento rutinario; V) mantenimiento programado; VI) mantenimiento circunstancial; VII) mantenimiento correctivo; VIII) mantenimiento preventivo; IX) mantenimiento por avería; X) personal de mantenimiento; XI) apoyo logístico, y XII) recursos.

Las técnicas utilizadas para la investigación fueron la observación directa a través de diversas visitas sucesivas, la entrevista no estructurada, el uso de formatos o cuestionarios, además del análisis documental, pues se realizaron revisiones de textos, trabajos de grado, ponencias, publicaciones y otros documentos que involucran en su contenido información relevante para el control de la gestión de mantenimiento en empresas cerámicas.

En general, se realizaron las siguientes actividades generadoras de resultados:

- a) Diagnóstico cualitativo y cuantitativo (ficha de evaluación); b) cálculo de indicadores de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad; c) cálculo de indicadores financieros, de costos y otros.

RESULTADOS

Diagnóstico cualitativo y cuantitativo (ficha de evaluación)

En la tabla 1 se observa el perfil de las empresas de acuerdo con los porcentajes de cumplimiento, según Zambrano y Leal (2006), el cual se utilizará como punto de comparación para los resultados obtenidos en esta investigación.

INDICADORES DE MANTENIMIENTO EN LADRILLERAS

Cárdenas-Omaña, R.; Díaz-García, J.; Zambrano-Sandoval, H.

Tabla 1. Perfil de las empresas de acuerdo con el porcentaje de cumplimiento.

Porcentaje de cumplimiento	Estado del sistema
40 % o menos	El sistema de mantenimiento es grave
más de 40 - hasta 60%	El sistema es deficiente pero mejorable
más de 60 - hasta 80%	El sistema de mantenimiento es regular
más de 80 - hasta 90%	El sistema de mantenimiento es bueno
más de 90 - hasta 100%	El sistema de mantenimiento es excelente

Fuente: Zambrano y Leal, 2006.

En la tabla 2 se presentan los resultados promedio obtenidos por las diez empresas del sector cerámico de la zona metropolitana de Cúcuta, en la evaluación del sistema de mantenimiento mediante la aplicación de la norma venezolana COVENIN 2500-93. Nótese que el objeto de estudio es el conjunto de todas

las empresas y no cada una en particular; como podrá verse, las áreas con peores resultados corresponden a mantenimiento preventivo, con 39,84 %, mantenimiento circunstancial, con 54,12 %, y mantenimiento correctivo con 59,76%.

Tabla 2. Resultados promedio por empresa en la evaluación del sistema de mantenimiento.

Áreas de evaluación de los sistemas de mantenimiento COVENIN 2500-93			
Área		Puntajes obtenidos	% de Cumplimiento
I	Organización de la empresa	108,00	71,63
II	Organización de mantenimiento	155,00	77,50
III	Planificación de mantenimiento	134,70	67,35
IV	Mantenimiento rutinario	178,30	71,32
V	Mantenimiento programado	157,00	62,80
VI	Mantenimiento circunstancial	135,30	54,12
VII	Mantenimiento correctivo	149,40	59,76
VIII	Mantenimiento preventivo	99,60	39,84
IX	Mantenimiento por avería	151,90	60,76
X	Personal de mantenimiento	117,90	58,95
XI	Apoyo logístico	63,80	63,80
XII	Recursos	102,80	68,53
Total:		756,4	
Promedio:			63,03

Factores de la gestión a controlar con el uso de indicadores

Uno de los principales problemas detectados al realizar el diagnóstico fue la ausencia del uso de indicadores de mantenimiento.

A partir de los ítems de cada principio básico revisado en la evaluación que obtuvieron valores bajos y que son comunes a la mayoría de las empresas, se determinaron los factores de la gestión de mantenimiento que se deben controlar mediante el uso de indicadores, los cuales se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3. Principios básicos de la gestión a controlar con el uso de indicadores de acuerdo al diagnóstico realizado.

Áreas de evaluación	Criterio
V. Mantenimiento programado V.1. Planificación	Gestión de mano de obra. Gestión de equipos. Manejo de información. Cuantificación de recursos de mantenimiento (humanos y materiales)
VI. Mantenimiento circunstancial VI.1. Planificación VI.2. Programación e implantación	Inventario de recursos (materiales, repuestos, equipos, herramientas e instrumentos). Manejo de información. Registro de información técnica. Control de trabajo. Políticas de administración de mantenimiento.
VII. Mantenimiento correctivo VII.3. Control y evaluación	Control de trabajo. Manejo de información.
VIII. Mantenimiento preventivo VIII.1. Determinación de parámetros VIII.3. Programación e implantación VIII.4. Control y evaluación	Confiabilidad. Mantenibilidad. Gestión de equipos. Manejo de información. Capacitación. Planificación de mantenimiento. Metas cumplidas. Establecimiento de metas y objetivos. Control de trabajo.
IX. Mantenimiento por avería IX.1. Atención a las fallas IX.3. Información sobre las averías	Tiempos fuera de servicio de los activos. Registro y análisis de fallas. Control de trabajo.
X. Personal de mantenimiento X.2. Selección y formación X.3. Motivación e incentivos	Gestión de mano de obra. Capacitación.
XI. Apoyo logístico XI.1. Apoyo administrativo	Procesos internos. Organización. Políticas de administración de mantenimiento.
XII. Recursos XII.4. Materiales XII.5. Repuestos	Gestión de costos. Inventario de recursos (materiales, repuestos, equipos, herramientas e instrumentos). Apoyo logístico.

Determinación del sistema de indicadores para el control de la gestión de mantenimiento

El mantenimiento es una inversión cuya rentabilidad está en la disponibilidad, funcionalidad y conservación de los equipos de producción y en los resultados operacionales y financieros. Esto ha llevado a que se mantenga

un control más eficiente mediante un sistema de indicadores de medición del desempeño. En la figura 1, se puede observar el mapa de factores claves del éxito de la gestión, que sirve de guía para la clasificación de los indicadores desarrollados en este trabajo.

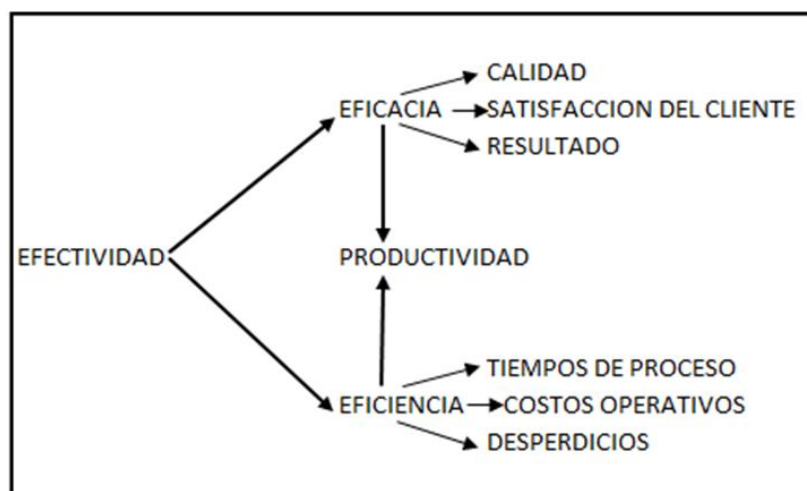


Figura 1. Mapa de factores claves de éxito de la gestión. Tomado de Beltrán (2005, p.42).

INDICADORES DE MANTENIMIENTO EN LADRILLERAS

Cárdenas-Omaña, R.; Díaz-García, J.; Zambrano-Sandoval, H.

Sistema de indicadores

Después de revisar la extensa bibliografía, de consultar expertos, de conocer las variables que miden los empresarios y de tener en cuenta los factores críticos a controlar como resultado de la evaluación realizada, se hizo la selección de indicadores para el sistema de control de gestión

del mantenimiento, estructurados según Moreno (2011).

Este sistema está clasificado por Beltrán (2005) en 34 indicadores correspondientes a eficiencia, eficacia, efectividad y productividad (p.42), relacionados como se muestra en la figura 1 y como se detalla en las tablas 4, 5, 6, 7 y 8.

Tabla 4. Indicadores de eficiencia.

Indicadores de eficiencia (%)				
Nombre	Nombre corto	Definición	Cálculo	Rango
Personas activas en mantenimiento	PAM	Porcentaje de personal en mantenimiento	$PAM = (\text{cantidad de personas activas en mantenimiento} / \text{cantidad de personas planificadas para mantenimiento}) * 100$	90-100 %
Tiempo empleado para mantenimientos	TEPM	Porcentaje de tiempo empleado para mantenimientos	$TEPM = (\text{horas empleadas en mantenimiento} / \text{horas programadas para mantenimiento}) * 100$	95-100 %
Eficiencia de los costos de mantenimiento	ECM	Porcentaje del costo para mantenimiento usado vs. costo planificado	$ECM = (\text{costos de mantenimiento reales} / \text{costos de mantenimiento planificados}) * 100$	90-100 %
Eficiencia del costo de órdenes de trabajo ejecutadas	ECOTE	Porcentaje del costo usado en órdenes de trabajo vs. costo planificado	$ECOTE = (\text{costo de orden de trabajo ejecutada} / \text{costo planificado para orden de trabajo}) * 100$	80-100%
Rotación de almacén	RA	Porcentaje de repuestos utilizados en mantenimiento	$RA = (\text{valor de repuestos consumidos en el periodo} / \text{valor del inventario de repuestos}) * 100$	95-100%

Tabla 5. Indicadores de eficacia.

Indicadores de eficacia (%)				
Nombre	Nombre corto	Definición	Cálculo	Rango
Nivel de cumplimiento del plan de mantenimiento (eficacia de mantenimiento)	NCPM	Porcentaje de trabajos terminados	$NCPM = (\text{trabajos ejecutados en la fecha planificada} / \text{total trabajos programados}) * 100$	90-100 %
Órdenes de trabajo planificadas y ejecutadas	OTPE	Porcentaje de órdenes de trabajo planificadas y ejecutadas	$OTPE = (\text{número de órdenes de trabajo ejecutadas} / \text{número de órdenes de trabajo planificadas}) * 100$	95-100 %
Desviación de la planificación de los trabajos de mantenimiento	DPTM	Porcentaje de desviación de la planificación	$DPTM = (\text{órdenes de trabajo planificadas} - \text{O.T. ejecutadas} / \text{órdenes de trabajo planificadas}) * 100$	95-100 %
Costos del mantenimiento contratado	CMC	Porcentaje de costo de mantenimiento usado para contratar	$CMC = (\text{costo del mantenimiento contratado en el periodo} / \text{costo total del mantenimiento del periodo}) * 100$	10-30%
Satisfacción y motivación del personal	SMP	Nivel de satisfacción y motivación del personal	$SMP = (\text{puntuación de encuesta de 1 a 10}) * 100$	95-100%
Ejecución de órdenes de trabajo de emergencia	EOTE	Porcentaje de órdenes de trabajo de emergencia	$EOTE = (\text{órdenes de trabajo de emergencia} / \text{total órdenes de trabajo}) * 100$	0-10%
Cumplimiento de los	CPMP	Porcentaje de	$CPMP = (\text{órdenes de trabajo de mto.} / \text{total órdenes de trabajo}) * 100$	85-100%

programas de mantenimiento preventivo		cumplimiento de órdenes de trabajo preventivas	preventivo ejecutadas/órdenes de trabajo de mto. preventivo programadas)*100	
Cumplimiento de las órdenes de mantenimiento correctivo	CPMC	Porcentaje de cumplimiento de órdenes de trabajo correctivo	CPMC = (órdenes de trabajo de mto. correctivo ejecutadas/órdenes de trabajo de mto. correctivo emitidas)*100	90-100%
Cumplimiento de los programas de mantenimiento circunstancial	CPMCL	Porcentaje de cumplimiento de órdenes de trabajo circunstancial	CPMCL = (órdenes de trabajo de mto. circunstancial ejecutadas/órdenes de trabajo de mto. circunstancial emitidas)*100	85-100%

Tabla 6. Indicadores de eficacia (continuación).

Indicadores de eficacia (%)				
Nombre	Nombre corto	Definición	Cálculo	Rango
Cumplimiento de las órdenes de mantenimiento por avería	CPMA	Porcentaje de cumplimiento de órdenes de trabajo por avería	CPMA = (órdenes de trabajo de mto. por avería ejecutadas/órdenes de trabajo de mto. por avería emitidas)*100	85-100%
Atraso de órdenes de trabajo planificadas	AOTP	Porcentaje de órdenes de trabajo planificadas atrasadas	AOTP = (órdenes de trabajo planificadas atrasadas/total órdenes de trabajo planificadas)*100	0-10%
Información de objetos de mantenimiento registrada (manuales)	IOMR	Porcentaje de información de objetos de mantenimiento registrada	IOMR = (número de máquinas y equipos con información registrada/número total de máquinas y de equipos)*100	90-100%
Carga de trabajo	CDT	Acumulación de trabajo por período semanal	CDT = (total horas acumuladas, por órdenes de trabajo pendiente/horas disponibles por semana)*100	2-4
Proporción de horas dedicadas a capacitación	PHDC	Porcentaje de horas anuales dedicadas a formación	PHDC = (horas dedicadas a capacitación/horas dedicadas a mantenimiento)*100	0-5 %

Tabla 7. Indicadores de efectividad.

Indicadores de efectividad (%)				
Efectividad del plan de mantenimiento	EPM	Porcentaje de trabajos finalizados a tiempo	EPM = (órdenes de trabajo ejecutadas a tiempo/órdenes de trabajo programadas)*100	80-100 %
Costo de mantenimiento mensual por unidad	CMMPU	Valor del mantenimiento en pesos por unidad producida	CMMPU = (costo total de mantenimiento mensual/costo total de unidades producidas mensualmente)	30-45 pesos
Costo de mantenimiento mensual por tonelada	CMMPPT	Valor del mantenimiento en pesos por tonelada procesada	CMMPPT = (costo total de mantenimiento mensual/costo total por tonelada mensual procesada)	10.000-15.000 pesos
Costos de mantenimiento por facturación	CMPPF	Porcentaje de mantenimiento invertida en facturación	CMPPF = (costo total del mantenimiento/facturación total del período)*100	0-10 %
Costos de mantenimiento por producción	CMPP	Porcentaje del costo de mantenimiento vs. costo de producción	CMPP = (costo total del mantenimiento/costos de producción)*100	2-5 %
Exceso de tiempo en órdenes de trabajo ejecutadas	ETOT	Porcentaje de sobretiempo	ETOT = (horas hombre de sobretiempo/horas hombre normales disponibles)*100	0-10%

Tabla 8. Otros indicadores propuestos.

Otros indicadores propuestos (%)				
Disponibilidad de máquinas y equipos listos para funcionar	DMELF	Porcentaje de máquinas y equipos en funcionamiento o en buen estado	$DMELF = (\text{total máquinas y equipos en inventario} - \text{máquinas y equipos dañados} / \text{total máquinas y equipos en inventario}) * 100$	90-100 %
Disponibilidad del equipo o máquina	DEM	Porcentaje de disponibilidad del equipo o máquina	$DEM = (\text{no. de horas de operación del equipo} / \text{no. de horas de operación del equipo} + \text{no. de horas de mantenimiento del equipo}) * 100$	95-100 %
Proporción de órdenes de trabajo preventivas	POTP	Porcentaje de órdenes de trabajo preventivas	$POTP = (\text{órdenes de trabajo preventivas programadas} / \text{total órdenes de trabajo}) * 100$	60-70%
Proporción de órdenes de trabajo correctivas	POTC	Porcentaje de órdenes de trabajo correctivas	$POTC = (\text{órdenes de trabajo correctivas} / \text{total órdenes de trabajo}) * 100$	20-30%
Proporción de órdenes de trabajo circunstancial	POTCL	Porcentaje de órdenes de trabajo circunstancial	$POTCL = (\text{órdenes de trabajo circunstancial emitidas} / \text{total órdenes de trabajo}) * 100$	0-10%
Proporción de órdenes de trabajo por avería	POTPA	Porcentaje de órdenes de trabajo por avería	$POTPA = (\text{órdenes de trabajo por avería ejecutadas} / \text{total órdenes de trabajo}) * 100$	0-10%
Tasa de fallas	TDF	Porcentaje de fallas con respecto al tiempo de operación	$TDF = (\text{número de fallas} / \text{número de horas de operación}) * 100$	0-10%
Tiempo promedio para fallar	TPPF	Tiempo promedio operativo	$TPPF = (\text{cantidad de horas de operación} / \text{cantidad de fallas correctivas})$	Depende de cada equipo
Tiempo promedio para reparar	TPPR	Tiempo promedio para restablecer un equipo o sistema que ha fallado	$TPPR = (\text{cantidad de horas en intervenciones correctivas} / \text{cantidad de fallas correctivas})$	Depende de cada equipo
Disponibilidad	D	Condición de un equipo de operar cuando se necesita	$D = (\text{horas totales} - \text{horas de parada por mantenimiento} / \text{horas totales}) * 100$	95-100%
Utilización	U	Factor de uso o servicio	$U = (\text{cantidad de horas operadas} / \text{cantidad de horas del periodo}) * 100$	95-100%

DISCUSIÓN

A partir de los parámetros definidos en la tabla 1, que presenta la categorización del porcentaje de cumplimiento en las áreas de las empresas, y analizando la tabla 2, que describe los resultados promedio por empresa en la evaluación del sistema de mantenimiento, se puede afirmar en cuanto al estado actual de las 10 empresas tomadas como muestra, en las doce áreas relacionadas con la gestión de mantenimiento, que el promedio del porcentaje de cumplimiento para la gestión de mantenimiento es de 63,3 %, apenas catalogadas en nivel regular, según Zambrano y Leal (2006). Este porcentaje hace ver que en general estas empresas no tienen claros los lineamientos para la gestión del mantenimiento, ni tampoco un sistema que

permita controlar dichas actividades, pues además, dentro del proceso de investigación, no se evidenció el uso de indicadores en sus sistemas de mantenimiento que les permitieran tener un control eficaz y así realizar una buena gestión de los activos. A petición de confidencialidad de parte de las empresas participantes en el estudio no se presentan resultados de las debilidades encontradas, detalladas por empresa o área.

La evaluación a las empresas permitió conocer los deméritos comunes en las diferentes áreas de gestión de mantenimiento, medir su capacidad de gestión y conocer el perfil de cada una. Con estos deméritos se pudieron identificar los factores que están afectando dicha gestión y formular un sistema de medición para evaluar y

controlar permanentemente la gestión del mantenimiento en las diferentes áreas planteadas por la Norma COVENIN 2500-93, mediante el conocimiento y uso de indicadores de gestión (Tablas 3 y 4).

Para el diseño del sistema de indicadores de gestión de mantenimiento se estructuraron 36 indicadores, resultado de clasificar los deméritos de los principios básicos y demás factores críticos de la gestión a controlar. Se agruparon en 4 factores claves de gestión, como lo plantea Moreno (2011) en su modelo de generación de indicadores (eficiencia, eficacia, efectividad y productividad), los cuales facilitaron proponer 5 indicadores de eficiencia, 14 de eficacia, 6 de efectividad y 11 de productividad (Tablas 5 a 8).

Los resultados del diagnóstico afirman la necesidad de aplicar un sistema de indicadores que permitan controlar y evaluar permanentemente la gestión del mantenimiento en las diferentes áreas que plantea la Norma COVENIN 2500-93, para poder ofrecer mejoras en el perfil de estas empresas y, por ende, en su calidad y productividad, algo muy necesario en este tipo de empresas con bajo nivel tecnológico y mano de obra intensiva; y la manera que tenemos es identificar los factores que las están afectando.

CONCLUSIONES

Al culminar esta investigación, se pudo determinar una serie de aspectos que ayudan a comprender y a mejorar la gestión de mantenimiento en las empresas ladrilleras de la zona metropolitana de Cúcuta. Al utilizar la Norma COVENIN 2500-93 para la evaluación del estado actual de las 10 empresas tomadas como muestra, en las doce áreas relacionadas con la gestión de mantenimiento, el promedio del porcentaje de cumplimiento para dicha gestión es de 63,3 %, clasificado como regular. Tal evaluación permitió conocer los deméritos comunes en las diferentes áreas, medir su capacidad de gestión y conocer el perfil de cada una de las empresas. Con estos deméritos se

identificaron los factores que están afectando la gestión y se planteó un sistema de medición para evaluar y controlar permanentemente la gestión del mantenimiento en las diferentes áreas que abarca la Norma Covenin 2500-93, mediante un sistema de 36 indicadores, resultado de clasificar los deméritos de los principios básicos y demás factores críticos de la gestión a controlar, lo cuales fueron agrupados en 5 indicadores de eficiencia, 14 de eficacia, 6 de efectividad y otros 11 asociados al mantenimiento.

Se concluye que las visitas a las diferentes empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta permitieron insistir en la necesidad de diseñar un sistema de mantenimiento acorde con las características de las empresas de la muestra, dado que el proceso productivo es similar para cada una de ellas, y lo que varía básicamente es la magnitud de la operación en toneladas o la cantidad de personal empleada. Por tanto, el sistema de indicadores propuesto podrá servir de referente a cualquier empresa manufacturera del sector cerámico, ya que se desarrolló teniendo en cuenta la Norma COVENIN 2500-93, que se ajusta a cualquier organización de mantenimiento, independientemente de sus dimensiones en cuanto a cantidad de personal y número de equipos en los procesos de producción.

REFERENCIAS

- Beltrán, J. (2005). Indicadores de gestión. Guía práctica para estructurar acertadamente esta herramienta clave para el logro de la competitividad. Santafé de Bogotá: 2da.ed., 3R Editores.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1993). Norma COVENIN 2500-93: Manual para evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria. Caracas: Fondonorma.
- Díaz, I. (2012). Informe Técnico: Auditoría energética del sector cerámico de la ciudad de Cúcuta. Cúcuta: Cámara de Comercio.
- Díaz, I. (2013). Indicadores energéticos y estado actual del mantenimiento en la industria

ladrillera de la zona metropolitana de Cúcuta. 1era. Conferencia de Mantenimiento. Cúcuta: MyS Asociados.

Díaz, I., Sánchez J. (2011). Introducción a los hornos utilizados en la industria cerámica tradicional. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.

Díaz Navarro, J. (2007), Técnicas de mantenimiento industrial. Málaga: Editorial Calpe Institute of Technology.

Moreno O. (2011), Modelo de generación de indicadores de gestión de mantenimiento para

sistemas productivos. Tesis de maestría, Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Namakforoosh, M. (2005). Metodología de la investigación. 2da. ed., México: Limusa.

Torres, L. (2005). Mantenimiento. Su implementación y gestión. 2da. ed., Argentina: Universitas.

Zambrano S., Leal S. (2006). *Manual práctico de gestión de mantenimiento*. Táchira: Universidad Nacional Experimental del Táchira.

PERFIL DE COMPETENCIAS DEL MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

COMPETENCIES' PROFILE OF THE MAGISTER IN INDUSTRIAL ENGINEERING

AUTORES:**Ugueto, Martha²; Madriz, Delia¹; Castillo, María¹**

Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET). Decanato de Investigación. Coordinación de Investigación Industrial, Calidad y Productividad Organizacional¹ y Formación y Desarrollo del Recurso Humano²

Corresponding Author:

mugueto@unet.edu.ve

Palabras clave: Perfil, competencias, normalización, Ingeniería Industrial, magíster.

Key words: Profile, competencies, standardization, industrial engineering, master.

RESUMEN

Al tomar como punto de partida la identificación y descripción de las competencias para una profesión, los diseños curriculares pretenden el mayor grado de articulación entre las exigencias del mundo productivo y la formación profesional. El presente artículo muestra cómo se obtuvo el perfil normalizado de competencias para el magíster en Ingeniería Industrial, como insumo para diseños curriculares. El enfoque metodológico, bajo el paradigma cualitativo, requirió asumir el método hermenéutico-dialéctico para el proceso integrado y dinámico de interpretación y reflexión del cual derivó dicho perfil. El procedimiento fue: identificación de los comportamientos por requerimiento, definición de las competencias a partir de los comportamientos generados, precisión del perfil de competencias y estandarización de las competencias del perfil. Agrupando los comportamientos relacionados, inferidos a partir de los requerimientos, se identificaron nueve competencias: seis son técnicas o específicas, y tres son genéricas. En el proceso de normalización se asocian los comportamientos de cada una de ellas con: a) los criterios de desempeño que las precisan en términos de la calidad con que deben lograrse; b) las evidencias que garantizan que fueron obtenidas; c) el rango de aplicación, y d) los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para su evidencia. El perfil estandarizado de competencias constituye un producto para la construcción del currículo del magíster en Ingeniería Industrial y posibilita la generación de los ejes que definirán las asignaturas y su interrelación en la trama curricular.

ABSTRACT

By taking as a start-off the identification and description of the professional competencies, the curricular designs seek the highest degree of articulation between the demands of the productive world and the professional training. This article examines how the standardized or standardized profile of competencies for the master's degree in industrial engineering was obtained as an input for curricular designs. The methodological approach, which followed a qualitative paradigm, required to assume a hermeneutic-dialectical method for the development of an integrated and dynamic process of interpretation, reasoning and reflection from which derived the standardized profile of competencies herein set up. The research procedure consisted of the identification of the behaviors by requirement, the definition of the competencies based on the generated behaviors, the accuracy of the competence profile, and the standardization of the competencies of the profile. Grouping the related behaviors, it was inferred from the requirements established nine competences identified for the master's degree in industrial engineering. From these, six are considered technical or specific and three are generic. In the standardization process, the behaviors for each competence are associated with: (1) the performance criteria in terms of the quality which they must be achieved, (2) the evidence that guarantees that such competencies were obtained, (3) the range of application, and (4) the knowledge, skills and attitudes necessary for the competencies' evidence. The standardized profile of competencies applies as a product for the development of the curricula to the master's degree in industrial engineering enabling the whole structure that will define the subject matters and their interrelation within the curricular frame.

INTRODUCCIÓN

La definición de los perfiles profesionales para la formación de pregrado y postgrado, en el contexto mundial, ha trascendido el enfoque tradicional de objetivos de formación cognoscitivos y se ha proyectado hacia la formación por competencias.

El valor agregado se concentra en la precisión, pertinencia y eficacia de los programas, al estar fundamentados en capacidades a ser desarrolladas en el profesional, derivadas estas de las necesidades reales de desempeño en el campo de actuación y contentivas de elementos cognitivos, prácticos y actitudinales que orientan el diseño curricular.

Según Catalano *et al.* (2004), el diseño curricular basado en competencias es elaborado a partir de la descripción del perfil profesional, es decir, de los desempeños esperados de una persona en un área ocupacional para resolver los problemas del ejercicio de su profesión.

En tal sentido, al tomar como punto de partida la identificación y descripción de los elementos de competencia para un rol o una profesión, estos diseños pretenden promover el mayor grado posible de articulación entre las exigencias del mundo productivo y la formación profesional.

Un perfil de competencias, según Hay Group (2004), corresponde a una agrupación compleja de competencias relacionadas con los retos y objetivos que se deben lograr en un determinado rol; su contenido describe detalladamente los elementos que componen una competencia y muestra, mediante gráficos y/o tablas, de qué modo esta debe estructurarse para ser considerada como tal.

Para ello tiene en cuenta los siguientes componentes: nombre de la competencia, definición y comportamientos. El perfil normalizado de competencias muestra, a partir de los comportamientos relacionados, el rango de aplicación, los criterios de desempeño, los saberes esenciales y las evidencias requeridas.

En el antecedente “Requerimientos del entorno socio laboral para la formación de ingenieros

industriales”, Ugueto y Madriz (2015), sustentadas en un estudio de campo y documental, se plantearon como objetivo mostrar dichos requerimientos tomando en cuenta las demandas de la sociedad y del campo de trabajo para estos profesionales, así como las tendencias y exigencias documentadas en cuanto a la profesión.

Siendo el referido artículo el primer producto del proyecto de investigación “Formulación de una propuesta curricular para la Maestría en Ingeniería Industrial, de la Universidad Nacional Experimental del Táchira”, se consideró en esta oportunidad ofrecer un aporte al diseño de programas de formación de postgrado, razón por la cual el presente artículo tiene como objetivo mostrar el cómo se obtuvo el perfil normalizado de competencias para el magíster en Ingeniería Industrial.

La estructuración de dicho perfil, al ser el segundo producto parcial del referido proyecto, se fundamentó en los requerimientos del entorno socio laboral para la formación de ingenieros industriales, configurados en las responsabilidades y retos que debe asumir y enfrentar el profesional de la carrera con cierta trayectoria en el campo de trabajo.

Este perfil normalizado de competencias parte de la identificación de los comportamientos esperados por cada requerimiento, seguidas de lo cual se definen las competencias del ingeniero industrial, se precisa el perfil de competencias del magíster en Ingeniería Industrial y, finalmente, estas se normalizan o estandarizan.

El producto presentado concentra su importancia como enfoque ontológico del egresado de la carrera en los niveles de pregrado y postgrado, y como insumo para la práctica curricular en el diseño, análisis y rediseño de programas. Cabe destacar que este último aspecto se demostró en el contexto de la carrera Ingeniería Industrial, de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET, Venezuela), en virtud de que el proceso de la definición de las competencias requirió de la participación de los miembros del personal docente y de investigación del Departamento de Ingeniería Industrial, quienes

evidenciaron la necesidad de replantear el nivel de formación de las diversas unidades curriculares, en cuanto a la diferenciación y limitación de contenidos y herramientas para el pregrado y el postgrado.

MÉTODO

El enfoque metodológico de la investigación que sustenta este artículo se planteó bajo el paradigma cualitativo. Para Martínez (1999), en este paradigma "...se trata de identificar la naturaleza profunda de las realidades, su sistema de relaciones, su estructura dinámica, aquella que da razón plena de su comportamiento y manifestaciones" (p.173).

En efecto, el objetivo planteado propone la identificación de las competencias que debe manifestar el ingeniero industrial para dar respuesta a los requerimientos del entorno sociolaboral, unificadas finalmente en un perfil normalizado o estandarizado de competencias del magíster en Ingeniería Industrial.

Siendo que el objetivo propuesto es interpretativo, se asume el método hermenéutico-dialéctico, en el cual, según Martínez (1999), desde el inicio se plantea un proceso integrado y dinámico de interpretación y reflexión sobre el contexto real de ocurrencia de los fenómenos, a fin de encontrar significados.

En cuanto al carácter dialéctico del método, el referido autor explica que entre el sujeto y el objeto de investigación se establece un diálogo, en el cual el sujeto, insertándose en la realidad del objeto tal y como esta se presenta, enfrenta, conoce, analiza y comprende el fenómeno y sus posibles significados.

En el marco de este método, el procedimiento que se siguió para concretar el producto final se dividió en cuatro etapas:

1) Identificación de los comportamientos por requerimiento; 2) definición de las competencias a partir de los comportamientos generados por requerimiento; 3) precisión del perfil de competencias del magíster en Ingeniería Industrial, y 4) normalización de las competencias del perfil.

Para la identificación de los comportamientos por requerimiento se partió de los desafíos que el ingeniero industrial debe enfrentar para cumplir de manera efectiva con sus responsabilidades; por lo tanto, se buscó revelar el interrogante: ¿qué debe hacer o cuáles comportamientos debe manifestar el ingeniero industrial para dar respuesta a cada reto?

Los resultados se discutieron a la luz de la experiencia de los autores del proyecto, todos docentes de Ingeniería Industrial en la UNET.

Por su parte, la definición de las competencias se realizó agrupando las contribuciones o comportamientos individuales obtenidos, en función del fin último o capacidad que logrará el profesional al manifestar los comportamientos.

Dichas capacidades se clasificaron en específicas o técnicas (propias del campo profesional), y genéricas o transversales (no exclusivas del ingeniero industrial).

Al relacionar cada competencia con sus respectivos comportamientos, se generó la primera aproximación del perfil, el cual fue validado por docentes de los niveles de pregrado y postgrado relacionados con la carrera de Ingeniería Industrial en la UNET y en otras instituciones nacionales, quienes aportaron algunos ajustes en la definición de las competencias y de los comportamientos.

Una vez identificadas las competencias que debe poseer el magíster en Ingeniería Industrial, se precedió a normalizarlas, es decir, a precisar a partir de los comportamientos relacionados: el rango de aplicación, los criterios de desempeño, los saberes esenciales y las evidencias requeridas.

Al respecto, el rango de aplicación se refiere al contexto donde debe lograrse y demostrarse el desempeño indicado. Los criterios de desempeño son los resultados que el profesional debe demostrar en el manejo de un comportamiento; son pautas concretas y observables que se van a tener en cuenta para evaluarlo.

Los saberes se desprenden de los criterios de desempeño, los cuales requieren de conocimientos que deben ser identificados y

descritos de forma clara y concisa; además, se precisan los saberes de tipo procedimental y actitudinal, es decir, el saber conocer, el saber hacer y el saber ser.

Las evidencias requeridas describen para cada comportamiento los productos y demostraciones requeridos para determinar la idoneidad con la cual se lleva a cabo el desempeño.

El producto final fue sometido nuevamente a un proceso de revisión por parte de los docentes de la carrera en la UNET.

Los resultados se muestran de manera sistemática, en cumplimiento de las etapas del procedimiento planteado, y al final se desarrolla la discusión de los mismos a la luz de fuentes de referencia en el ámbito de la carrera y del diseño curricular propiamente dicho.

RESULTADOS

1. Identificación de los comportamientos por requerimiento

A partir de los requerimientos demandados para la formación del ingeniero industrial emanados del documento de Ugueto y Madriz (2015), los cuales son:

- 1) Incorporación del enfoque logístico en los procesos,
- 2) involucramiento en el proceso de gestión del personal,
- 3) desarrollo de sistemas de comunicación efectivos,
- 4) incorporación de métodos y técnicas novedosas y adecuadas a las prácticas operativas,
- 5) monitoreo e incorporación en el sistema organizacional, de los cambios en las variables del entorno,
- 6) garantizar la operatividad y efectividad de los sistemas de producción,

7) administración eficiente de los recursos financieros de la empresa por parte del ingeniero industrial,

8) incorporar sistemas efectivos de control de gestión,

9) generar procesos de toma de decisiones efectivo,

10) orientación de la organización a la RSE,

11) auto-aprendizaje,

12) innovación y desarrollo de productos y servicios,

13) generación de conocimiento en su campo profesional,

14) modelado de los sistemas productivos, y

15) desarrollo de procesos de aprendizaje organizacional, se procedió a describir los diferentes comportamientos que debe manifestar un ingeniero de esta área para cumplir con los retos inherentes a cada requerimiento.

El primer requerimiento estudiado fue la incorporación del enfoque logístico en los procesos.

Al analizar los retos relacionados con este requerimiento, se pudieron inferir como comportamientos necesarios para su consecución los que se listan en la primera fila de la tabla 1.

En cuanto al requerimiento sobre el involucramiento en el proceso de gestión del personal, se determinaron los comportamientos que se muestran en la segunda fila de la misma tabla, los cuales dicho magíster debe evidenciar para conseguir el desempeño organizacional a través de las personas y para ejercer el liderazgo efectivo.

Para el requerimiento sobre desarrollo de sistemas de comunicación efectivos, los comportamientos se muestran en la tercera fila.

Tabla 1. Comportamientos inferidos de los requerimientos relacionados con logística (1), gestión del personal (2) y comunicación efectiva (3).

Fila	Retos	Comportamientos
1	• Dar salida al proceso de distribución • Optimizar procesos básicos (o de apoyo), intermedios y terminales tanto de manufactura como de servicios para lograr la excelencia de la producción terminal de bienes y servicios • Tomar decisiones con base en información oportuna y veraz • Garantizar el flujo sincronizado de los procesos productivos	• Planifica, organiza, dirige y controla lo relacionado con el aprovisionamiento de los recursos • Planifica, organiza, dirige y controla sistemas de trabajo • Planifica, organiza, dirige y controla el proceso de distribución. • Maneja sistemas de información • Participa en procesos de toma de decisiones efectivas en los procesos organizacionales
2	• Conseguir el desempeño organizacional a través de las personas • Ejercer liderazgo efectivo	• Alinea el personal a su cargo con los objetivos organizacionales, y asigna y controla sus funciones y responsabilidades • Dirige, planifica y supervisa equipos multidisciplinares • Ejerce liderazgo efectivo
3	• Lograr establecer canales formales e informales de información que apoyen el desarrollo de los procesos • Comunicar la información oportuna y veraz respecto a los procesos organizacionales • Lograr conocer información clave para el desarrollo y sostenibilidad de los procesos.	• Identifica los mecanismos de comunicación adecuados a los procesos organizacionales • Implementa los mecanismos de comunicación • Filtra y prioriza la información • Indaga, en el interior y el exterior de la organización, la información clave para los procesos • Interactúa con el personal de la organización con el fin de generar confianza

Para cumplir con la incorporación de métodos y técnicas novedosas y adecuadas a las prácticas operativas, surgieron cuatro comportamientos que debe evidenciar este magíster, los cuales se listan en la primera fila de la tabla 2.

En la segunda fila, se muestran los comportamientos que debe demostrar para evidenciar el monitoreo e incorporación en el sistema organizacional, de los cambios en las variables del entorno, y para garantizar la operatividad y efectividad de los sistemas de producción, debe como mínimo demostrar los comportamientos que se muestran en la tercera

fila. En cuanto a la administración eficiente de los recursos financieros de la empresa, en la cuarta fila se listan los comportamientos relacionados con los desafíos que se le demandan. Igualmente se infirieron dos comportamientos necesarios para dar cumplimiento al desafío de incorporar sistemas efectivos de control de gestión, tal como se evidencia en la quinta fila. Y respecto al requerimiento de generar procesos de toma de decisiones efectivas, se identificaron los comportamientos que se muestran en la sexta fila de la tabla.

PERFIL DEL MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ugueto, M.; Madriz, D.; Castillo, M.

Tabla 2. Comportamientos inferidos de los requerimientos relacionados con métodos, prácticas operativas (1), cambios en las variables del entorno (2), sistemas de producción (3), recursos financieros (4), control de gestión (5) y toma de decisiones efectivas (6).

Fila	Retos	Comportamientos
1	• Estar a la vanguardia en las mejores prácticas operativas • Lograr la máxima razón costo-beneficio en la implantación de propuestas de mejoras organizacionales • Lograr los mejores niveles de eficiencia, eficacia y efectividad de los sistemas organizacionales	• Propicia una cultura orientada a la innovación y mejora continua bajo una concepción sustentada en la productividad • Reconoce problemas y oportunidades para el mejoramiento e innovación organizacional. • Gestiona el desarrollo e innovación tecnológica • Diseña e implanta mecanismos de medición para evaluar y mejorar la eficiencia, eficacia y efectividad con base en las variables que impactan los procesos
2	• Evitar sanciones por regulaciones gubernamentales vigentes • Lograr la sostenibilidad y trascendencia del sistema organizacional, independientemente de las condiciones del entorno	• Interpreta el entorno de la organización • Reconoce el comportamiento actual y tendencial de las variables que influyen en el direccionamiento de la misma
3	• Garantizar el funcionamiento eficiente y efectivo de los equipos	• Identifica oportunidades de mejora relacionadas con el desempeño de los equipos, sistemas e instalaciones • Planifica la gestión del proceso logístico requerido para el mantenimiento de las instalaciones, maquinaria y equipos • Ejecuta los planes para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de las instalaciones, máquinas y equipos asociados a los sistemas de producción • Controla el funcionamiento de los sistemas de producción
4	• Incrementar la rentabilidad de la organización a partir de la gestión de los costos • Disminuir y controlar los costos totales de la empresa	• Diseña, implementa, evalúa y controla el sistema económico financiero de la empresa basándose en la estructura de costos contextualizada en la realidad organizacional y apegada al marco legal vigente
5	• Garantizar el logro de la estrategia • Identificar y solucionar distorsiones en el sistema de gestión organizacional	• Propicia la generación de valor con RSE en términos de los accionistas, los clientes, los procesos y el personal de la organización • Diseña, implementa y da seguimiento al sistema de control de gestión
6	• Tomar decisiones efectivas y oportunas	• Maneja la dinámica y tendencia del entorno • Desarrolla procesos bajo la secuencia lógica de pensamiento

En lo referente a la orientación de la organización hacia la responsabilidad social empresarial, se identificó como único comportamiento el diseño e implantación del sistema organizacional fundamentado en los principios de la responsabilidad social empresarial, como se refleja en la primera fila de la tabla 3.

Para que el magíster cumpla con el desafío del desarrollo de autoaprendizaje continuo, requiere

evidenciar los conocimientos en su campo, para así dar solución a problemas complejos relacionados con el mismo, y es necesario que manifieste el comportamiento que se muestra en la fila quinta de la tabla.

Finalmente, para que cumpla con el desarrollo de procesos de aprendizaje organizacional, debe manifestar los comportamientos listados en la sexta fila.

Tabla 3. Comportamientos inferidos de los requerimientos relacionados con la RSE (1), aprendizaje continuo (2), I&D de productos y servicios (3), modelado de sistemas productivos (4), generación de conocimiento (5), y aprendizaje organizacional (6).

Fila	Retos	Comportamientos
1	Garantizar que el sistema organizacional se oriente a la responsabilidad social empresarial	Diseña e implanta el sistema organizacional y, especialmente, el de producción, fundamentado en programas de RSE sostenibles y sustentables cónsonos con las necesidades e intereses de la comunidad, del personal y del ambiente
2	Estar al día con las nuevas tendencias en su campo profesional	- Busca información en diferentes fuentes para incrementar sus saberes profesionales - Actualiza sus conocimientos a partir de información con carácter predictivo - Fortalece los valores inherentes al trabajo intelectual
3	- Desarrollar e innovar los productos de la organización - Conquistar nuevos mercados	- Detecta y genera necesidades en el mercado - Identifica nuevas tendencias relativas a la naturaleza del negocio - Desarrolla e innova productos y servicios - Diseña y ejecuta la estrategia comercial de los nuevos productos - Mide el impacto interno y externo generado con la innovación y el desarrollo de productos
4	Optimizar las operaciones de la organización	- Aplica métodos cuantitativos para el modelado y análisis de los sistemas de producción de bienes y servicios - Participa en el proceso de toma de decisiones para la optimización de los recursos
5	Dar solución a problemas complejos relacionados con su campo profesional	Genera proyectos de investigación en su campo profesional con base en problemáticas, oportunidades de mejora o explicación de las realidades sociales o productivas, haciendo uso del método científico
6	Lograr el aprendizaje organizacional	- Identifica y contextualiza conocimientos aplicables al logro del aprendizaje organizacional - Ejecuta el proyecto de investigación científica - Transfiere el conocimiento generado - Conforma y lidera equipos de alto desempeño para la generación y aplicación de conocimiento - Evalúa el cambio generado a partir de la aplicación del conocimiento en la organización - Forma a otros miembros de la organización con base en los conocimientos que generan aprendizaje organizacional

2. Definición de las competencias a partir de los comportamientos generados por requerimiento

Con base en el punto anterior, agrupando los comportamientos relacionados inferidos a partir de los requerimientos, se identificaron las nueve competencias que debe poseer el magíster en Ingeniería Industrial, mostradas en la tabla 4.

Del total de competencias, seis son técnicas o específicas (propias del campo profesional), y las tres restantes son genéricas.

Debido a que el orden del listado de competencias está en función de la explicación de los requerimientos, es importante resaltar que las genéricas son las numeradas con 2, 5 y 7.

Tabla 4. Competencias inferidas de los comportamientos generados por requerimiento.

Requerimiento		Competencia
Incorporación del enfoque logístico en los procesos. Involucramiento en el proceso gestión del personal Orientación de la organización a la RSE	1	Capacidad para concebir, diseñar, implementar, evaluar y mejorar sistemas de trabajo eficientes y cónsonos con las tendencias que demanda el mercado y la sociedad
Desarrollo de sistemas de comunicación efectivos	2	Capacidad para propiciar sistemas de comunicación efectiva
Incorporación de métodos y técnicas novedosas y adecuadas a las prácticas operativas Conquistar nuevos mercados, innovando y desarrollando nuevos productos y servicios	3	Capacidad para concebir, diseñar e implementar métodos y técnicas que propicien la innovación y desarrollo de productos y las mejores prácticas operativas
Garantizar la operatividad y efectividad de los sistemas de producción	4	Capacidad para garantizar la seguridad y salud laboral, así como la confiabilidad y disponibilidad de las instalaciones, máquinas y equipos de los sistemas de trabajo
Procesos de toma de decisiones efectivos	5	Capacidad para integrar situaciones con visión sistémica y sistemática
Monitoreo e incorporación en el sistema organizacional, de los cambios en las variables del entorno Administración eficiente de los recursos financieros de la empresa Incorporar sistemas efectivos de control de gestión	6	Capacidad de lograr aumento en los niveles de desempeño organizacional
Desarrollo de autoaprendizaje continuo en su campo profesional	7	Capacidad para el auto aprendizaje continuo
Modelado para el análisis y predicción de sistemas productivos	8	Capacidad para formular, construir y aplicar modelos cuantitativos para el análisis, predicción y optimización de los sistemas de trabajo
Generación de conocimiento en el campo profesional Desarrollo de procesos de aprendizaje organizacional	9	Capacidad para desarrollar investigaciones orientadas a generar conocimiento en su campo profesional

3. Perfil de competencias del magíster en Ingeniería Industrial

El perfil definitivo del magíster en Ingeniería Industrial está constituido por la definición de cada una de las nueve competencias que él debe

poseer y los comportamientos que las evidencian.

En la tabla 5 se muestra una parte de dicho perfil; la primera competencia es específica y la segunda, genérica.

Tabla 5. Parte del perfil de competencias del magíster en Ingeniería Industrial.

Nº	Competencia	Comportamientos
1	Capacidad para concebir, diseñar, implementar, evaluar y mejorar sistemas de trabajo eficientes y cónsonos con las tendencias que demanda el mercado y la sociedad	• Planifica, organiza, dirige y controla lo relacionado con el aprovisionamiento de los recursos • Planifica, organiza, dirige y controla los sistemas de trabajo • Planifica, organiza, dirige y controla el proceso de distribución • Maneja sistemas de información • Participa en la toma de decisiones efectivas en los procesos organizacionales • Alinea el personal a su cargo, con los objetivos organizacionales, y asigna y controla sus funciones y responsabilidades • Dirige, planifica y supervisa equipos multidisciplinares • Ejerce liderazgo efectivo • Diseña e implanta el sistema organizacional y, especialmente, el de producción, fundamentado en programas de RSE sostenibles y sustentables cónsonos con las necesidades e intereses de la comunidad y del ambiente • Diseña el sistema para el control de calidad adaptado al proceso y al producto
2	Capacidad para propiciar sistemas de comunicación efectiva	• Identifica los mecanismos de comunicación adecuados a los procesos organizacionales • Implementa los mecanismos de comunicación • Filtra y prioriza la información • Indaga, en el interior y el exterior de la organización, la información clave para los procesos • Interactúa con el personal de la organización con el fin de generar confianza

4. Normalización de las competencias del perfil

En la tabla 6 se presenta, a manera de ejemplo, la normalización de una de las competencias específicas: capacidad para formular, construir y aplicar modelos cuantitativos para el análisis, predicción y optimización de los sistemas de trabajo; la cual debe ser aplicada y demostrada en la gestión de los procesos tanto medulares como de apoyo que se requieren en las organizaciones. Uno de los comportamientos relacionados con dicha capacidad es la aplicación de métodos cuantitativos para el modelado y análisis de los sistemas de producción de bienes y servicios, el cual se manifiesta si se generan, entre otros resultados, la identificación de los procesos medulares de la cadena de valor de la organización y el reconocimiento de las variables clave del sistema.

Para manifestar los comportamientos a través de los criterios de desempeño, el magíster debe, como mínimo, poseer conocimientos en cuanto a métodos cuantitativos para el modelado y análisis de los sistemas y técnicas cuantitativas para la toma de decisiones y software para modelado de sistemas. Asimismo, debe capturar

y analizar datos e identificar y clasificar las variables que componen el proceso a optimizar y sus interrelaciones, entre otros aspectos.

Finalmente, debe ser analítico, creativo, innovador, intuitivo, proactivo, estratégico y observador. La idoneidad de esta capacidad se demostrará al obtener como producto modelos de optimización del desempeño de alguna organización y al lograr el mejoramiento en la definición y medición de las variables que impactan la productividad.

El perfil normalizado de competencias del magíster en Ingeniería Industrial desarrollado aquí puede ser analizado desde dos perspectivas: una orientada a visualizar la conformación del perfil y las bondades que este evidencia, dada la coherencia interna de los componentes que lo integran; y la otra desde el punto de vista del método utilizado para su obtención y las posibles aplicaciones a otras situaciones, contextos y profesiones. Al respecto, la arquitectura de este perfil es producto de un proceso sistemático y sistémico, en el cual una serie de requerimientos de índole interna de la organización se conjugaron con elementos demandantes del entorno para generar una espiral de necesidades que se complejizaron en la medida en que se

profundizó en el análisis, y con ello quedó en evidencia la hermenéutica como método clave en

el diseño final del perfil sujeto a investigación.

Tabla 6. Normalización de la competencia: Capacidad para formular, construir y aplicar modelos cuantitativos para el análisis, predicción y optimización de los sistemas de trabajo.

Rango de aplicación: En la gestión de los procesos tanto modulares como de apoyo que se requieren en las organizaciones			
Comportamientos	Criterios de desempeño	Saberes esenciales	Evidencias requeridas
Aplica métodos cuantitativos para el modelado y análisis de los sistemas de producción de bienes y servicios. Participa en el proceso de toma decisiones para la optimización de los recursos.	Identifica los procesos modulares de la cadena de valor de la organización Reconoce las variables clave del sistema organizacional Delimita las situaciones a ser optimizadas en el sistema, con el apoyo de las diferentes unidades organizativas Define la función objetivo a optimizar Identifica los modelos apropiados para la optimización Genera propuestas de optimización Cuantifica el impacto de las propuestas Realiza análisis de sensibilidad Plantea sugerencias para el proceso de toma de decisiones	Saber conocer: Métodos cuantitativos para el modelado y análisis de los sistemas Técnicas cuantitativas para la toma de decisiones Software para modelado de sistemas Saber hacer: Capturar y analizar datos Identificar y clasificar las variables que componen el proceso a optimizar y sus interrelaciones Evaluar y seleccionar las tecnologías de simulación disponibles Verificar modelos de optimización Integrar los intereses y necesidades de las unidades organizativas Diseñar el proyecto de optimización de la organización Saber ser: Analítico, creativo, innovador, intuitivo, proactivo, estratégico y observador	Evidencias de desempeño Modelos de optimización Optimización del desempeño de la organización Mejoramiento en la definición y medición de las variables que impactan la productividad Evidencia de producto Resolución de casos prácticos y reales que permitan demostrar las evidencias del desempeño Evidencia de conocimiento Argumentación y discusión con basamento teórico y práctico

El proceso hermenéutico-dialéctico de continuo análisis y síntesis orientó a los elaboradores y asesores de este proyecto a agrupar los quince requerimientos en nueve competencias clave de desempeño. Las competencias fueron producto del sometimiento a análisis crítico de los requerimientos, buscando conceptos de mayor elaboración y complejidad cognitiva y práctica, a fin de que se pudieran evidenciar roles actitudinales y aptitudinales en el abordaje, desarrollo y resolución prospectiva de situaciones de trabajo acordes a los niveles requeridos por el mencionado profesional. El pensamiento complejo fue asumido como un método de construcción humano desde el punto de vista explicativo, interpretativo y comprensivo, tal y como lo establece Tobón (2005), en el marco de los diseños curriculares por competencias.

Las competencias generadas y su desglose en los comportamientos constatables, observables, medibles y evaluables evidencian la visión sistémica del proceso de investigación, que hace clímax en la fase final presentada en este artículo, como normalización de las competencias del perfil. Este proceso de normalización, según Tobón (2005), implicó construir una matriz por competencia, la cual asocia los comportamientos de la misma con criterios de desempeño, en términos de la calidad con que deben lograrse; las evidencias que garantizan su cumplimiento; el rango de aplicación o dónde se pondrán de manifiesto; y los conocimientos, habilidades y actitudes requeridas, aludiendo al resultado esperado con el elemento de competencia y a un enunciado evaluativo de la calidad que ese resultado debe presentar.

En síntesis, el proyecto realizado proporciona operatividad a un procedimiento teórico propuesto por Catalano *et al.* (2004), e incorpora procesos de pensamiento clave en el abordaje de los contenidos y conceptos que facilitan su utilización en otras situaciones que afronten la definición de perfiles por competencias.

CONCLUSIONES

En términos generales, la normalización de las competencias de un perfil se genera siguiendo una sucesión de pasos que lleva a una serie de iteraciones, las cuales requieren de procesos de pensamiento que se van complejizando a medida que se avanza en el desarrollo del mismo; es por esta razón que el uso de la hermenéutica es clave en la consumación del proceso.

Dicha normalización representa la conjugación sinérgica de lo sistemático con lo sistémico en una espiral virtuosa que converge en productos de mayor complejidad traducidos en comportamientos, criterios de desempeño, saberes y evidencias requeridas que nutren significativamente la conformación de un currículo por competencias.

Particularmente, la normalización de las competencias generadas se constituyó en una fase fundamental previa a la construcción del currículo del magíster de Ingeniería Industrial, ya que con estos ingredientes clave será posible la generación de los ejes de formación, los cuales definirán las asignaturas y su encadenamiento en la trama curricular. Las competencias del magíster de Ingeniería Industrial, sometidas a

este riguroso proceso, garantizan que el abordaje de los procesos, punto clave en el desempeño de este profesional, se diferencien en enfoque, perspectiva, calidad, nivel de profundidad y complejidad del egresado de pregrado.

En términos metodológicos, se presenta en el artículo un compendio detallado de las diferentes iteraciones que deben realizarse para la normalización de las competencias. La manera particular en la cual se presentan de talla las consideraciones que se deben asumir en cada fase haciendo énfasis en el incremento de los grados de complejidad a medida que se desenvuelve el proceso, lo cual puede ser aplicable en otras profesiones y contextos.

REFERENCIAS

- Catalano, A., Avolio, S., Sladogna, M. (2004). Diseño curricular basado en normas de competencia laboral. Conceptos y orientaciones metodológicas. Argentina: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Hay Group. (2004). Taller Competencias en la Gestión Humana. Venezuela.
- Martínez, M. (1999). La nueva ciencia. Su desafío, lógica y método. México: Trillas.
- Tobón, S. (2005). Formación basada en competencias. Bogotá ECOE.
- Ugueto, M., Madriz, D. (2015). Requerimientos del entorno sociolaboral para la formación de ingenieros industriales. Revista Científica de la UNET. 27 (1):1-17.

DESARROLLO DE UN MEDIDOR DE FLUJO PARA REFRIGERANTES EN FASE LÍQUIDA BASADA EN IOT

DEVELOPMENT OF A FLOW METER FOR LIQUID PHASE REFRIGERANTS BASED ON IOT

AUTORES:

Contreras, César¹; Molina, José²; Rivero, Angie³, Morales, Alfredo⁴

¹PROFEL, Decanato de Investigación, Universidad Nacional Experimental del Táchira.

²Decanato de Extensión, Universidad Nacional Experimental del Táchira.

^{3,4} Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Corresponding Author:

ccontre@unet.edu.ve

Palabras clave: Caudalímetro, Refrigerante R-22, YF-S201, NodeMCU.

Key words: Flow meter, refrigerant R-22, YF-S201, NodeMCU.

RESUMEN

En la actualidad, el manejo de gases refrigerantes se enfrenta a dos situaciones: elevados costos y regulaciones a nivel mundial, estas últimas tienen como fin cumplir con las normativas de protección medioambiental del protocolo de Montreal, en las que se establece la eliminación progresiva de gases Clorofluorocarbonados (CFC y HCFC) en favor de otros como los Hidrofluorocarbonados (HFC). Entonces, para los vendedores y técnicos de refrigeración es fundamental contar con dispositivos que permitan medir los flujos volumétricos de refrigerante en las maniobras de trasvase, de tal manera que se puedan prevenir pérdidas económicas y disminuir las fugas al ambiente. Una forma comúnmente utilizada es medir el gas trasvasado a partir de la densidad y la diferencia de peso con una balanza sin registradores ya que son de bajo costo. Una alternativa también económica son las aplicaciones IoT con tecnología open source. En este artículo se describe el diseño de un sistema de monitoreo remoto del flujo de gas refrigerante en fase líquida para IoT, de bajo costo y usando tecnología open. El sistema diseñado está basado en el sensor de flujo de agua YF-S201 y el kit de desarrollo embebido NodeMCU que es capaz de tomar lecturas de flujo durante la maniobra de llenado con sistema de trasvase de refrigerante líquido; además de guardarlas en la memoria interna para ser usadas como respaldo, estas se transmiten de forma inalámbrica por medio de una red Wifi (802.11 b / g / n.) a la plataforma IoT Thing Speak. El sensor se calibró empleando el método clásico de pesaje antes y después del llenado del cilindro.

ABSTRACT

Currently, the use of refrigerant gases faces two situations; high costs and restrictions of use due to actions worldwide, in order to fulfill with environmental protection regulations based on the Montreal Protocol; where the progressive elimination of chlorofluorocarbons (CFCs and HCFCs) is established in favor of new developments such as Hydrofluorocarbons (HFCs). Therefore, for marketers and refrigeration technicians, it is essential to have devices that allow measuring the volumetric refrigerant flows in the transfer maneuvers, in order to prevent economic losses and reduce the leakage of contaminants to the environment. A commonly used way by distributors and refrigeration technicians is to measure the transferred refrigerant from the density and weight difference, using a weigh scale without registration. An alternative is the development of IoT applications using open hardware technology and free software. This article describes the development of a remote monitoring system for the flow of refrigerant gas in liquid state for IoT, of low cost and using open hardware and free software. The designed system is based on the water flow sensor YF-S201 and the NodeMCU embedded development kit that is capable of taking flow readings during the filling maneuver with liquefied gas transfer system; in addition, it is used to saving the readings taken in the internal memory to be used as a backup and transmits them wirelessly through a Wi-Fi network (802.11 b / g / n.) to the IoT Thing Speak platform. The sensor was calibrated using the classic weighing method before and after filling the cylinder.

Recibido: 13/04/2018 **Aprobado:** 16/07/2018 **Versión Final:** 19/09/2018

INTRODUCCIÓN

Se estima que los gases de refrigeración y aires acondicionados serán cada vez más costosos debido a las acciones a nivel mundial para cumplir con las normativas de protección medioambiental, consecuencia del Protocolo de Montreal (PNUMA, 2006). Asimismo, los gases en proceso de eliminación como los Clorofluoruroscarbonados (CFC y HCFC) serán cada vez más escasos (Villarreal, 2017), por lo que las comercializadoras y los técnicos de refrigeración deberán contar con dispositivos que permitan registrar, en una base de datos, los flujos volumétricos de refrigerante en las maniobras de trasvase, a fin de prevenir pérdidas económicas y hacer las gestiones de inventario necesarias. De acuerdo con esto, uno de los métodos comúnmente utilizados para trasvasar es el descrito en la patente estadounidense de 1977 y liberada en 1997 (Kaschak, 2018) que consiste en dejar fluir gas desde un cilindro de almacenamiento a un cilindro de menor tamaño sometido a enfriamiento, denominado sistema de trasvase de gas líquido. Una forma usualmente aprovechada por los distribuidores y técnicos de refrigeración para medir la cantidad de gas trasvasado es a partir de la densidad y la diferencia entre el peso inicial y el peso final, utilizando una balanza durante la maniobra. El manejo de balanzas sin registros limita la gestión de las ventas, además, equipos comerciales como un caudalímetro con registro y comunicación con base de datos son costosos (Direct Industry, 2017).

Por tal razón, se requiere poseer conocimientos sobre cómo desarrollar instrumentos con altas prestaciones, pero de bajo costo. Una alternativa es el diseño de aplicaciones IoT empleando tecnología de hardware abierto y software libre. El IoT consiste en la integración de sensores y dispositivos en objetos cotidianos que quedan conectados a Internet a través de redes fijas e “inalámbricas”; dado su tamaño y costo, los sensores son fácilmente integrables en hogares, entornos de trabajo y lugares públicos. De esta manera, cualquier objeto es susceptible de ser

conectado y estar presente en la Internet, aprovechando las infraestructuras de comunicación existente, como es el caso del Wifi.

Algunas experiencias de aplicación de hardware abierto y software libre para IoT al aplicar un sensor de flujo para agua se tiene en (Guacaneme & Pardo, 2016), ya que se usa un sistema embebido o kit de desarrollo como el ESP8266 para implementar un sistema que mide flujo y potencia eléctrica almacenando los datos en un servidor web, además, describe el método de calibración del sensor de flujo (Sugan *et al.*, 2017) que hace uso del sensor de flujo para otro tipo de fluido. En este caso, se diseñó y construyó un sistema de medición de combustible para el trasvase entre dos vehículos utilizando un sensor de flujo de agua y un ATMEGA, pero la medida solo se muestra en una pantalla LCD. Otro trabajo que permitió evaluar la viabilidad de emplear un sensor de agua de bajo costo para gases de combustión se describe en Suguna *et al.* (2016). No obstante, en la revisión bibliográfica realizada no se encontraron trabajos sobre el empleo del sensor de flujo de agua adaptado y calibrado para medir gas refrigerante, pero sí una gama de trabajos usando el sensor de flujo de agua y sistemas embebidos para IoT (Patawala *et al.*, 2017; Michilena & Pujota, 2016). Esto permitió a los autores reconocer las herramientas y arquitecturas actuales necesarias para el diseño de este tipo de aplicaciones.

La motivación para la realización de este artículo es presentar un diseño eficiente que consiste en un sistema de monitoreo remoto del flujo de gas refrigerante en estado líquido con aplicación en el IoT, de bajo costo, empleando hardware abierto y software libre. El sistema diseñado está basado en el sensor de flujo de agua YF-S201 y el kit de desarrollo embebido NodeMCU, el cual es capaz de tomar lecturas de flujo cuando se realiza una maniobra de llenado usando el sistema de trasvase de gas líquido, guardando las lecturas tomadas en la memoria interna; con el objeto de ser usadas como un respaldo para, posteriormente, transmitir las de forma inalámbrica por medio de una red Wifi (802.11 b/g/n.) a la plataforma IoT Thing Speak. El sensor se calibró aplicando el

método clásico de pesaje antes y después del llenado del cilindro.

DISEÑO DEL SISTEMA

Para adoptar el sistema de trasvase de gas líquido es primordial estar seguros de que el cilindro esté preparado para almacenar la carga en R22 deseada, ya que no todos los gases son iguales. Es decir, el hecho de que antes almacenara 2 kilos de otro gas, no significa que pueda almacenar dos 2 kg de un gas diferente, pues la mayoría de cilindros tienen grabado bajo relieve, en la parte superior, el peso del cilindro completamente vacío o tara y la cantidad de gas en peso que pueden recibir; por ejemplo: R22 recibe hasta 2 kg, el R404 hasta 1,6 kg y el R134 alcanza hasta los 1,8 kg, entre otros. Una vez asegurado esto, se debe enfriar el cilindro que se quiere llenar. Una forma simple consiste en dejarlo dentro de un refrigerador, por lo menos media hora o el tiempo necesario, para que el metal se enfríe lo suficiente; posteriormente, se coloca de pie sobre la báscula. Debe comprobarse que el cilindro desde el que se va a descargar el gas se ubique en una posición más alta que el cilindro que va a recibir la carga, de esta forma se garantiza que el gas que salga sea en estado líquido; además, el

cilindro debe estar con la válvula hacia el piso (Kaschak, 2018). Finalmente, se conectan los cilindros con una manguera de servicio, se abre primero la llave del cilindro fuente y se hace una maniobra de purga, aflojando unos segundos la manguera del lado que está enroscada al cilindro receptor de carga. Una vez purgado el aire dentro de la manguera, se abre la válvula y el líquido comenzará a entrar, siempre observando la medición en la balanza; la válvula se cierra cuando la balanza indique el peso total de la tara más el peso que se desea cargar. En la Figura 1 se describe el sistema diseñado.

Como se observa, el sistema lo componen el sensor de flujo YF-S201 conectado a un circuito electrónico de adquisición, procesamiento, almacenamiento y transmisión constituido, principalmente, por el NodeMCU, el cual vía Wifi, a través de un router, envía los valores medidos a la plataforma IoT de ThingSpeak. El esquema general se muestra en la Figura 1. Los criterios usados para la selección de la tecnología fue el uso de la filosofía open-source (software libre y hardware abierto) junto con una conectividad inalámbrica Wifi, debido a su amplia difusión, por tanto, reduce los costos de desarrollo.

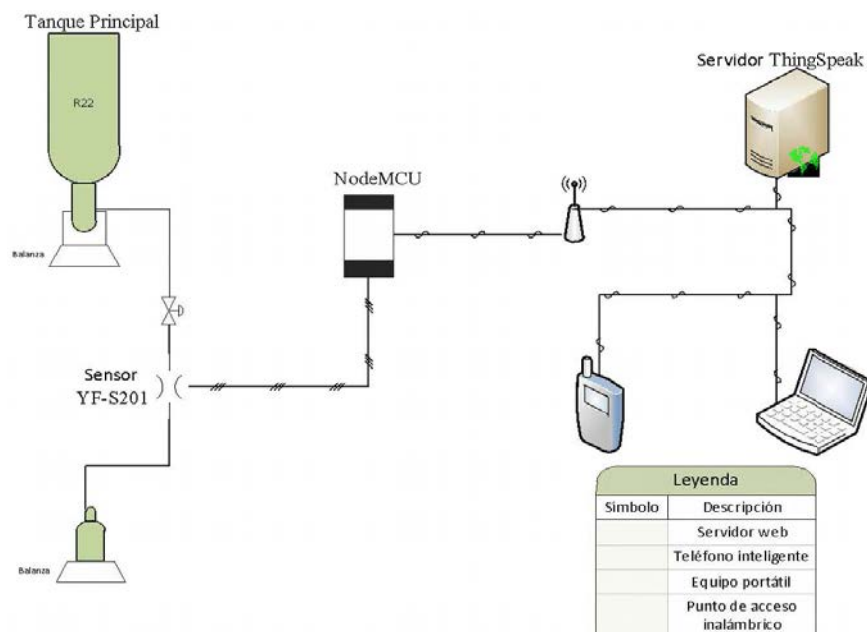


Figura 1. Esquema general del Sistema.

MEDIDOR DE FLUJO IOT DE REFRIGERANTES

Contreras, C.; Molina, J.; Rivero, A.; Morales, A.

Ensamblado del sensor y conexión a la tubería

Mediante dos reducciones roscadas de $\frac{1}{4}$ " por $\frac{1}{2}$ " macho-macho de cobre, se adaptó el sensor a la tubería presentada como se muestra en la Figura 2, haciendo uso de un O-ring (disco) de Buna-N; material resistente al refrigerante, de $\frac{1}{2}$ " de radio. Se acondicionó para que el sensor soportara la presión durante el llenado del tanque secundario, lo que a su vez permite brindar seguridad ante una posible fuga de gas (Colder Product, 2017). Una vez cumplido el ensamblado en la tubería, se procedió a una fase de

acondicionamiento eléctrico que abarca desde la alimentación del sensor y el NodeMCU hasta la correcta generación de la señal de lectura, empleando una fuente DC de 5 V y 500 mA y un circuito integrado 4050, encargado de la reducción de la señal generada por el sensor de 5 V TTL para poder utilizarla en la entrada digital del NodeMCU a 3V DC. Su principal característica consiste en una respuesta rápida ante los pulsos de la señal para mantener la precisión del sensor, como se observa en el esquema de conexiones eléctricas representado en la Figura 3.



Figura 2. Ensamblado del sensor. 1) Sensor YF-S201, 2) reducciones roscadas de $\frac{1}{4}$ de pulgada por $\frac{1}{2}$.

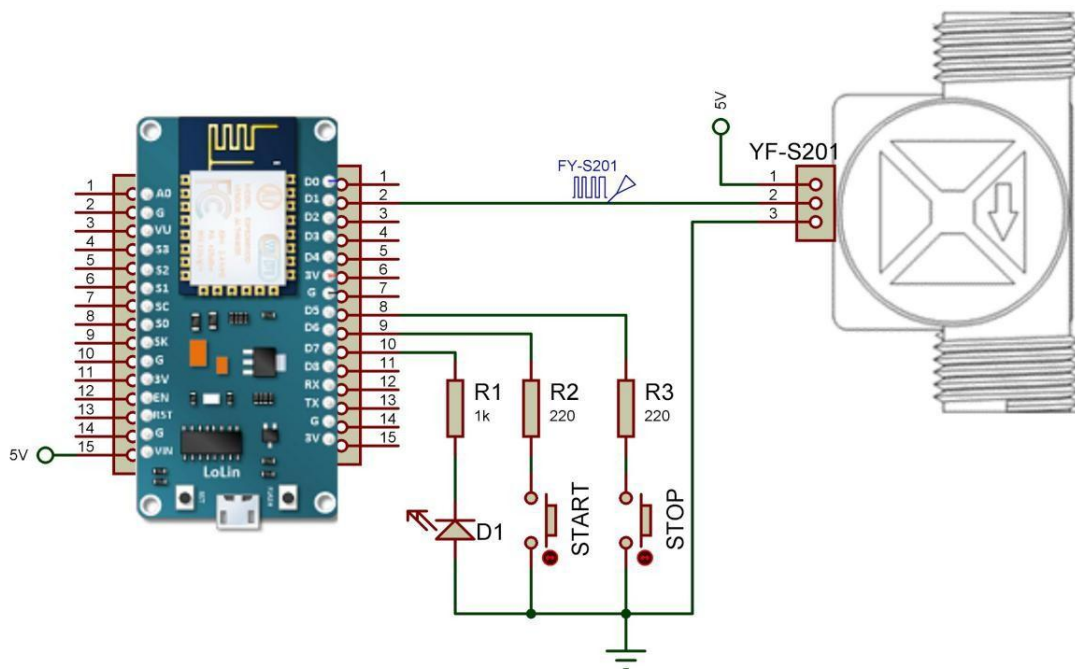


Figura 3. Esquema de conexiones eléctricas.

Existen varios métodos para la medición del volumen y masa de un fluido, el empleado en este trabajo considera que el inicio y el final de una maniobra de llenado coincide con el inicio y final de la rutina que mide el volumen total trasvasado.

La tasa de flujo depende de la velocidad promedio del fluido y la sección transversal de la tubería, de la densidad, viscosidad y la fricción del fluido con las paredes de la tubería y se expresa de esta forma: $Q = v * A$. En este caso el área transversal (A) y los parámetros químicos permanece constante por lo tanto la velocidad del fluido (v) es el indicador del caudal.

Aclarado lo anterior a continuación se muestran los pasos para determinar una expresión de la masa trasvasada en función del número de pulsos registrados durante la maniobra.

El YF-S201 es un rotámetro que genera una señal de pulso cada vez que cierta cantidad del fluido atraviesa el sensor (Water Flow Sensor, 2014), por lo tanto, la relación entre la frecuencia del sensor (f en Hz) y el caudal (Q en l/min) está modelada por La Ecuación (1).

$$f(Hz) = K \left(\frac{pulso}{l} \right) * Q \left(\frac{l}{min} \right) * \frac{1}{60} \left(\frac{min}{s} \right) \dots\dots(1)$$

También, $f(Hz) = K \left(\frac{N(pulso)}{T(s)} \right)$; donde $T(s)$ es el periodo de medición, entonces despejando Q de la ecuación (1) y sustituyendo la expresión de la frecuencia anterior, se obtiene la ecuación (2).

$$Q = \frac{f(Hz)*60}{K \left(\frac{pulsos}{l} \right)} = \frac{N(pulso)*60}{T*K} \left(\frac{l}{s} \right) \dots\dots\dots (2)$$

Para calcular el volumen ($V(l)$), que ha atravesado el sensor en un tiempo $T(s)$, se

multiplica la ecuación (2) por este tiempo, resultando en la expresión de la ecuación (3).

$$V = \frac{N(pulso)*60}{T*K} * T(s) = \frac{N(pulso)*60}{K} \left(\frac{l}{s} \right) \dots (3)$$

Finalmente la masa se despeja de la ecuación de la densidad, resultando en la ecuación (4), de la siguiente forma:

$$M(g) = V(l) * \rho \left(\frac{g}{l} \right) \dots\dots\dots (4)$$

Como se observa en la ecuación (4), no aparece la variable tiempo. De esta manera; la exactitud va a depender de la calibración realizada, que consiste en determinar la constante de pulsos por litro .

Por lo tanto para conocer el volumen y la masa es suficiente con medir el número de pulsos generado por el sensor.

En la Figura 4, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo para la medición del volumen y masa del refrigerante R-22. Al iniciar una maniobra de trasvase se habilita la interrupción, de esta forma cada vez que se active la interrupción por un pulso del sensor, se incrementa la variable del contador “cont”.

Cuando se activa el fin de la maniobra, se deshabilita la interrupción y se calcula el volumen y la masa, aplicando las ecuaciones (3) y (4) almacenando los valores en la memoria flash, a continuación se establece la comunicación con el servidor Thing Speak, y se envían los valores, lo que permite que el programa se regrese a esperar un inicio de llenado.

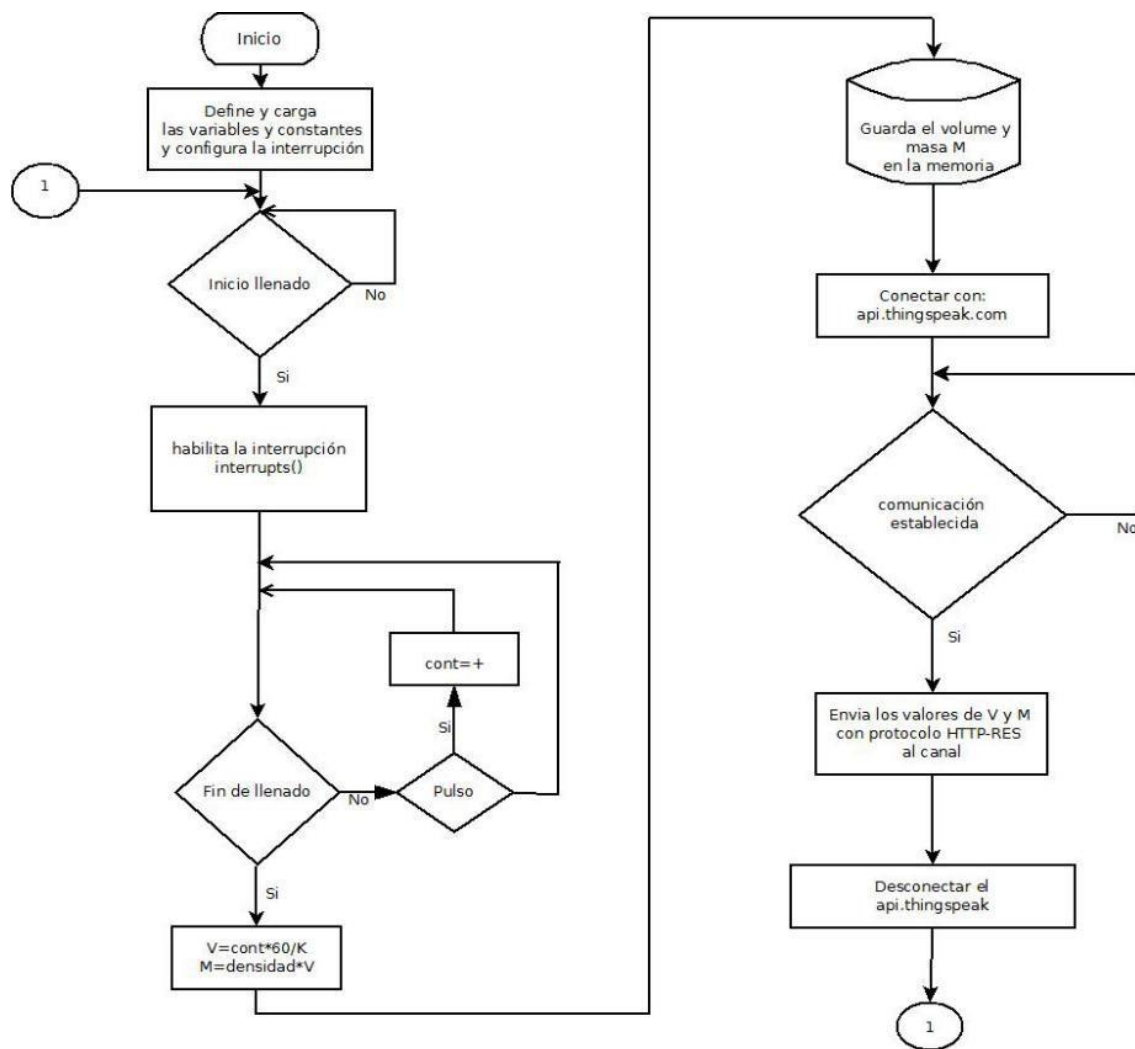


Figura 4. Diagrama de flujo del algoritmo de funcionamiento del módulo.

RESULTADOS Y PRUEBAS

La calibración, finalmente, consistió en determinar el valor del factor de masa por pulso K_m (g/pulso) a partir de la densidad y la constante del rotámetro. Usando las ideas empleadas en la calibración de los sensores del trabajo de Guacaneme & Pardo (2016), se estableció un procedimiento para obtener los datos de calibración el cual se explican a continuación: se inició una maniobra de llenado que consistió en abrir y cerrar la válvula e ir incrementando en 250 g la cantidad de gas hasta un total de 2 kg; es decir; se pesó el cilindro vacío, posteriormente, se abrió la válvula hasta 250 g y se registró el número de pulsos y el

tiempo. Luego se volvió a abrir y se dejó cargar hasta 500 g de gas, seguidamente 750 g y así sucesivamente hasta completar los 2 kg. En la Tabla 1 se registró el peso, número de pulsos y el tiempo y, con base en estos, se calculó el factor K . Con esta data se graficó la masa versus el número de pulsos, tal y como se aprecia en las gráficas de la Figura 5 (a), la cual muestra una pendiente de la recta que es el factor de calibración buscado y que corresponde con 1,96 (g/pulso). Para verificar el funcionamiento del sistema, se programó el NodeMCU con el valor de K obtenido por el proceso de calibración anterior y se construyó una curva de valor real contra valor medido por el sistema. Esto se representa en la Figura 5 (b) de donde se obtuvo una correlación de 0,99.

Tabla 1. Datos para la determinación del factor de masa por pulso.

Masa (g)	Pulsos 1	Tiempo1 (s)	Pulsos2	Tiempo2 (s)	Pulsos3	Tiempo3 (s)
0	0	0	0	0	0	0
250	134	9	135	11	127	12
500	258	20	268	22	246	26
750	386	32	397	35	383	41
1000	510	44	521	49	510	57
1250	640	56	643	64	638	73
1500	772	68	774	80	761	90
1750	896	81	897	96	892	106
2000	1021	94	1022	114	1028	124

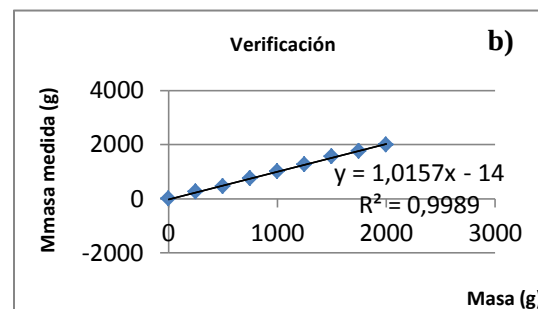
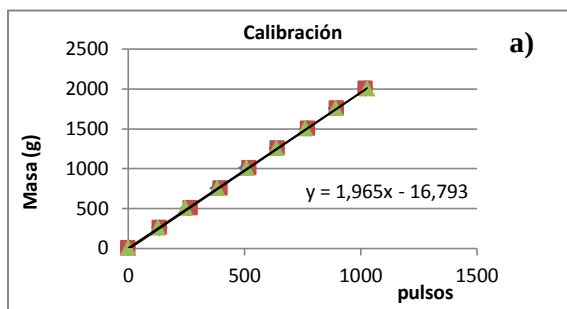


Figura 5. Gráficas a) Calibración y b) Verificación de funcionamiento.

CONCLUSIONES

Se describió la construcción de un sistema de adquisición y transmisión remota del volumen másico de gas refrigerante basado en IoT para maniobras de trasvase. Algunas de las ventajas que aporta su desarrollo es que elimina los errores humanos cuando se hacen mediciones manuales, permite medir en tiempo real, es un sistema de bajo consumo de potencia ya que se emplea la opción de sleep para cuando no se está utilizando. También permite respaldar las mediciones en la memoria flash y transmitirla vía Wifi al servidor

IoT thing Speak, para disponer de la información a través de la nube en cualquier momento y lugar, así se resuelve el problema de fidelidad de las mediciones. Es de bajo costo por estar desarrollado con tecnología open como es el caso del kit IoT NodeMCU y librerías soportadas por comunidades en Internet y el sensor FY-S201 que es muy accesible y al cual se le adaptaron los sellos para adaptarlo al gas refrigerante. Los beneficiarios de este desarrollo son el sector comercial de refrigeración ya que pueden contar con un sistema fácil de instalar, portable, escalable para el registro

permitiéndoles así la contabilidad de las cantidades de gas trasvasado durante las ventas en tiempo real y en cualquier lugar del planeta. El sistema fue calibrado y sometido a pruebas en una empresa distribuidora de gas de refrigeración R-22 y se compararon los resultados con un método de medición tradicional como las balanzas electrónicas de pesaje. Esto arrojó que el equipo se desempeñó de forma robusta y confiable, respaldando y transmitiendo las mediciones de los sensores.

REFERENCIAS

- Colder Product, (2017). Designación y Tipo de Roscas de Tubería, content.cpcworldwide.com, Disponible en: https://content.cpcworldwide.com/Portals/0/Library/Resources/Literature/Catalogs/Documents/international/Spanish_NPT.pdf
- Direct Industry (2017). Caudalímetro de presión diferencial / para gas / para aire /clamp-on - Fluke 922 - FLUKE, [Directindustry.es](http://www.directindustry.es), Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/fluke/product-7570-556738.html>
- Guacaneme, G., Pardo, D. (2016). Diseño e implementación de un sistema de medición de consumo de energía eléctrica y agua potable remoto con interacción al usuario basado en el concepto “internet de las cosas”, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de ingeniería electrónica, Colombia.
- Kaschak, A. (2018) Refrigerant Transfer System, Estados Unidos, patente 4010623, 8 de marzo de 1977. Disponible en: <https://patents.justia.com/patent/4010623>
- Michilena, J., Pujota E. (2016). Electronic system with application IoT of reutilization of gray waters of the shower towards the watercloset to estimate a saving consumption to laborator scale, Facultad de Ingeniería en ciencias aplicadas, carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, Universidad Técnica del norte, Ibarra – Ecuador
- Patawala, A. H., Bansode, N. P., Bhong, Y. P., Zadbuke A. S. (2017). IOT Based Water Management System for Smart City, International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, Volume3, Issue2, ISSN: 2454-132X.
- PNUMA (2006). Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono, Unep.ch, Consultado en: <https://unep.ch/ozone/spanish/publications/MP-Handbook-07-es.pdf>
- Sugan, S., Piyush C. P., Prabhat S., Lekha S., Ashish S. (2017). Design Fabrication and Testing of Fuel Measurement Kit for Two Wheeler Vehicle, IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development, Vol. 5, Issue 01, ISSN (online): 2321-0613
- Suguna, T.D., Sujatha, B. C., Kumar, H.P. (2016). Automatic Airflow Loop Control in Industrial Gas Burner using LabVIEW, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 5, Issue 8, ISSN (Online): 2278 – 8875.
- Villareal, A. (2017). Sin gas para las neveras en 2018: la escasez de refrigerantes aterra a los supermercados. Noticias de Ciencia, El Confidencial, Disponible en: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2017-12-01/gases-refrigerantes-escasez-congeladores-2018_1486332/
- Water Flow Sensor (2014). Disponible en: http://www.seeedstudio.com/wiki/index.php?title=G1%22_Water_Flow_Sensor&oldid=68459

IMPLEMENTACIÓN DE UN ESTIMADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN CON CONTROL VECTORIAL POR MEDIO DE UNA RED NEURONAL

USE OF A SPEED ESTIMATOR OF AN INDUCTION MOTOR WITH VECTOR CONTROL USING A NEURAL NETWORK

AUTORES:

Belandria, Luciano¹; González, Jaime²

¹Laboratorio de Instrumentación Control y Automatización. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela.

²Grupo de investigación en Sistemas Energéticos. Universidad de Pamplona, Colombia.

Corresponding Author:

lbeland@unet.edu.ve

;

Palabras clave: Control vectorial, motor de inducción, red neuronal, variación de velocidad, electrónica de potencia, control sin sensor, transformada de Park.

Key words: Vector control, induction motor, neural network, speed variation, power electronic, sensor less control, Park's transformation.

RESUMEN

Las ecuaciones matemáticas del modelo del motor de inducción, utilizando la transformada de Park, permiten el diseño de un sistema de control vectorial, recurriendo a referenciar el sistema trifásico de corrientes estáticas a un sistema de coordenadas no estacionario que gira sincrónicamente con el campo magnético del rotor. El control vectorial ajusta la velocidad en el eje del motor, a un valor de velocidad de referencia requerida, sea cual fuera la carga mecánica, manteniendo las demás variables del motor, dentro de los valores normales de funcionamiento. Se selecciona y diseña una red neuronal multicapa de propagación hacia adelante. La red es entrenada e implementada utilizando el Matlab. La red neuronal, en el sistema de control vectorial del motor, sustituye la medición directa de velocidad del rotor. El sistema completo queda validado al obtener los mismos resultados, que se obtienen con la medición directa de la velocidad en el control vectorial.

ABSTRACT

The mathematical equations of the induction motor model, using Park's transformation, allow the design of a vector control system by referencing the three-phase system of the stator current to a non-stationary coordinate system that rotates synchronously with the rotor magnetic field. The Vector control adjust the speed on the motor shaft, at a reference speed value required, whatever the mechanical load was, maintaining the rest motor variables, within normal operating values. A multilayer neural network of forward propagation is selected and designed. The network is trained and implemented using Matlab. The neural network, in the vector control system of the motor, replaces the director tor speed measurement. The complete system is validated by obtaining the same results, which are obtained with the direct speed measurement in the vector control.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el uso de motores de inducción en accionamientos con variación de velocidad, se ha conseguido con la aplicación de la electrónica de potencia, generando posibilidades de obtener fuentes trifásicas de tensión y de frecuencias variables. Una solución para controlar la velocidad del motor de inducción, ha sido el Control Vectorial, el cual se fundamenta en el conocimiento exacto de la posición del flujo del campo magnético del rotor. Por lo tanto, este obliga a medir la velocidad del rotor, para luego calcular la velocidad o posición del campo del rotor. Para la medición de la velocidad del rotor son utilizados sensores colocados cerca del eje del rotor, produciendo problemas de robustez, confiabilidad, alto mantenimiento, etc. (González *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2001).

Para eliminar estos problemas, se ha utilizado la estimación de velocidad sin utilizar un sensor físico, llamado “sensor less control” (Holtz, 2002; Bodson *et al.*, 2002; Chin *et al.*, 1997; Aller *et al.*, 2004). Este tipo de control utiliza algoritmos basados, en los modelos del motor, y utilizando como entradas las corrientes y tensiones del estator del motor, generar un estimado de la velocidad del motor.

El propósito de este trabajo, es mediante el uso de las redes neuronales, conseguir un estimador de la velocidad del eje de un motor de inducción con Control Vectorial, para diferentes condiciones de velocidad y carga.

Se consigue un sistema completo de control vectorial de la velocidad de salida del motor de inducción, en donde una red neuronal previamente entrenada estima esta velocidad. Todo este sistema fue simulado con el programa SIMULINK del Matlab, el cual es una buena herramienta para la modelación y simulación de sistemas dinámicos, como los motores de inducción con control vectorial, usando los modelos matemáticos tanto del motor, del control y de la red neuronal, para generar una nueva perspectiva de estudio de las máquinas eléctricas y sus controles. Las simulaciones

dinámicas del motor de inducción y del control vectorial fueron implementadas a partir de la transformada modificada de Park (1929), o de ejes de referencia d-q sincrónicos.

El control vectorial de motores de inducción ha sido un tema muy referenciado en la literatura especializada desde la década de los años 70. Entre los más relacionado con este trabajo, tenemos a González *et al.* (2001), que propuso un método de control de velocidad por variación de la frecuencia de red de alimentación con control vectorial para un motor de inducción, permitiendo mantener el torque nominal durante todo el rango de variación. Y también González *et al.* (2004) presentó un estudio comparativo entre una Red Neuronal y un Filtro de Kalman, dos métodos muy utilizados en la estimación de velocidad. Pero, en este trabajo no hay control de la velocidad del motor.

Ponce y Monroy (2006), propusieron la utilización de la modulación espacial en un esquema de Control Directo del Par. Utilizaron redes neuronales artificiales para la estimación de la velocidad del rotor. Pero, el Control directo del Par, es un sistema de control diferente al Control Vectorial.

Kim *et al.* (2001) utilizó estimadores de velocidad con redes neurales, que se entrenan en línea usando el algoritmo de retropropagación del error y el entrenamiento empieza simultáneamente con el funcionamiento del motor de inducción.

También, en redes neurales, el método de entrenamiento de retropropagación es el más popular para redes progresivas. Fueron Rumelhart *et al.* (1986), quienes propusieron este método. Este proceso, se puede hacer de manera secuencial o de manera simultánea. El algoritmo es bastante complejo, por lo que generalmente es un programa computacional el que lo resuelve.

A. Modelo del Motor Trifásico de Inducción

La Figura 1.a, representa el esquema de la máquina trifásica de inducción, con sus devanados del estator y el rotor idénticos, con un número de espiras efectivas N_s y N_r . El ángulo θ_r , es el

desplazamiento angular entre los ejes del rotor y el estator a_r , a_s , respectivamente. La tensión para un circuito RL viene dada por $v = d(L.i)/dt + R.i$.

Donde el producto de L por i representa el enlace de flujo $\lambda = L.i$. Las expresiones de tensión de fase para cada devanado del estator y del rotor vienen dadas:

$$v_{as} = p\lambda_{as} + R_s \cdot i_{as} \quad (1)$$

$$v_{bs} = p\lambda_{bs} + R_s \cdot i_{bs} \quad (2)$$

$$v_{cs} = p\lambda_{cs} + R_s \cdot i_{cs} \quad (3)$$

$$v_{ar} = p\lambda_{ar} + R_r \cdot i_{ar} \quad (4)$$

$$v_{br} = p\lambda_{br} + R_r \cdot i_{br} \quad (5)$$

$$v_{cr} = p\lambda_{cr} + R_r \cdot i_{cr} \quad (6)$$

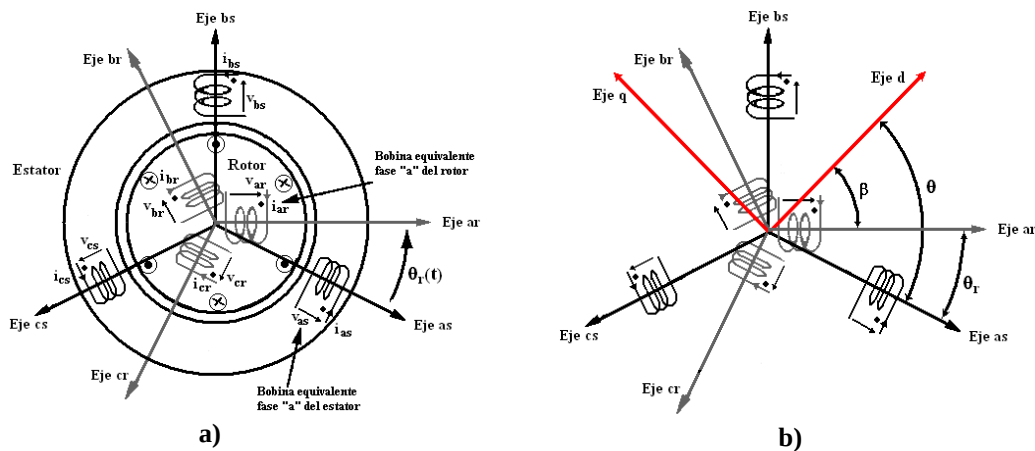


Figura 1. Máquina de inducción trifásica **a)** Con sus ejes del estator y rotor. **b)** Con el nuevo grupo de ejes de referencia.

Donde v_j e i_j son las tensiones aplicadas y las corrientes que circulan por las seis bobinas de la máquina, R_s y R_r , son las resistencias de las bobinas del estator y del rotor. Los subíndices j , cuando son as , bs y cs , se refieren a cantidades del estator, y los subíndices ar , br y cr , se refieren a cantidades del rotor. Se utiliza, el operador diferencial $p = d/dt$.

La transformada de Park o transformación $d-q-0$ (Park, 1929; Clarke, 1950), aplica una transformación lineal que simplifica las ecuaciones de tensión, corriente y flujo, introduciendo un grupo de variables que transforman las ecuaciones de tensión y corrientes para un mismo eje de referencia que puede ser aplicado en cualquier posición de los ejes (González *et al.*, 2001; Moreno *et al.*, 2000; Aller, 1997; Sergey, 2001). En la Figura 1.b, se muestra el nuevo grupo de ejes de referencia.

La transformación $d-q-0$, convierten al motor trifásico en un motor bifásico. El motor modelado, tiene un esquema similar al de una máquina generalizada con cuatro bobinas (Chee-Mun, 1998).

La matriz de transformación $d-q-0$, para el estator está definida como:

$$[T_{dq0}(\theta)] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin\theta & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Y la matriz inversa de transformación $d-q-0$:

$$[T_{dq0}(\theta)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 1 \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

De modo análogo, en el caso del rotor, θ se reemplazara por β , que es el ángulo entre el eje de la fase ar y el del eje de referencia $d-q-0$, $\beta = \theta - \theta_r$.

Se aplica la matriz de transformación $d-q-0$, $[T_{dq0}(\theta)]$ y $[T_{dq0}(\beta)]$, a las tensiones, enlaces de flujo y corrientes de fase para cada devanado del estator y del rotor. Luego la velocidad angular de rotación del eje d , del nuevo marco de referencia, con respecto a eje estacionario as , del estator, queda definida $\omega = d\theta/dt$, y la velocidad angular de rotación, también del eje d , pero con respecto a eje rotatorio ar , del rotor $\omega_\beta = d\beta/dt = \omega - \omega_r$.

Teniendo las ecuaciones de los enlaces de flujo, a partir de las mismas ecuaciones de la transformación. Y con los parámetros del rotor referidos al lado del estator, utilizando el apostrofe ('), para estos parámetros, las ecuaciones definitivas de tensión y de enlaces de flujo, tanto del estator y del rotor, utilizadas para representar al motor de inducción en los ejes $d-q-0$, son:

$$v_{ds} = p \lambda_{ds} - \omega \lambda_{qs} + R_s i_{ds} \quad (9)$$

$$v_{qs} = p \lambda_{qs} + \omega \lambda_{ds} + R_s i_{qs} \quad (10)$$

$$v'_{dr} = p \lambda'_{dr} - (\omega - \omega_r) \lambda'_{qr} + R'_r i'_{dr} \quad (11)$$

$$v'_{qr} = p \lambda'_{qr} + (\omega - \omega_r) \lambda'_{dr} + R'_r i'_{qr} \quad (12)$$

$$\lambda_{ds} = L_{sl} i_{ds} + M (i_{ds} + i'_{dr}) \quad (13)$$

$$\lambda_{qs} = L_{sl} i_{qs} + M (i_{qs} + i'_{qr}) \quad (14)$$

$$\lambda'_{dr} = L'_{rl} i'_{dr} + M (i_{ds} + i'_{dr}) \quad (15)$$

$$\lambda'_{qr} = L'_{rl} i'_{qr} + M (i_{qs} + i'_{qr}) \quad (16)$$

Donde M es la inductancia mutua de magnetización en el lado del estator.

Para el Par Electromagnético, se parte de que la potencia instantánea de entrada en función de las coordenadas $d-q-0$, teniendo que $v_{0s}i_{0s}$ y $v'_{0r}i'_{0r}$ son iguales a cero, es:

$$P_{ent} = \frac{3}{2} (v_{ds}i_{ds} + v_{qs}i_{qs} + v'_{dr}i'_{dr} + v'_{qr}i'_{qr}) \quad (17)$$

Sustituyendo v_{ds} , v_{qs} , v'_{dr} y v'_{qr} de la (9) a (12) y teniendo en cuenta que el par electromagnético lo produce solamente las potencias asociadas con las tensiones de velocidad, la potencia eléctrica transformada en mecánica, queda:

$$P_{ETM} = \frac{3}{2} [\omega (\lambda_{ds}i_{qs} - \lambda_{qs}i_{ds}) + (\omega - \omega_r) (\lambda'_{dr}i'_{qr} - \lambda'_{qr}i'_{dr})] \quad (18)$$

Usando las relaciones de flujo de (13) a la (16) y que la velocidad angular mecánica del rotor viene dada por $\omega_{mr} = \omega_r (2/NP)$. Y que el par electromagnético, viene dado por $T_{ind} = P_{ETM} / \omega_m$. Este, puede expresarse de la siguiente forma:

$$T_{ind} = \frac{N}{2} \left(\frac{NP}{2} \right) (\lambda'_{qr}i'_{dr} - \lambda'_{dr}i'_{qr}) \quad (19)$$

NP es el número de polos magnéticos de la máquina y N es el número de fases de la máquina. El Par es originado por la interacción del flujo y de las corrientes y, si la velocidad de salida varia, difiere del Par exterior aplicado a causa de la inercia de la máquina (Adkins, 1967). El Par exterior aplicado T_L , viene dado por:

$$T_L = T_{ind} - J \frac{d\omega_m}{dt} \quad (20)$$

Donde J es el momento de inercia (kg.m^2) y ω_m es la velocidad angular mecánica del eje (rad/s). Se tiene una expresión para la velocidad de salida:

$$\omega_m = \frac{T_{ind} - T_L}{pJ} \quad (21)$$

B. Control Vectorial

El motor de inducción es una máquina de una sola fuente de excitación y por tanto en la corriente del estator se produce la corriente responsable del flujo y la corriente del torque. Para lograr mantener el torque nominal para las condiciones de frecuencia baja, es aplicado el principio de control vectorial, que consiste en obtener por separado las dos corrientes y poder aplicar entonces dicho control (Muñoz, 2002).

Estas corrientes se obtienen con la transformación de un sistema trifásico estacionario, en un sistema bifásico rotatorio en los ejes en cuadratura $d-q-0$, que gira a la velocidad de rotación del rotor o velocidad sincrónica. En este plano se obtienen

dos corrientes, alineadas con los ejes ortogonales d y q respectivamente (Mantilla, 2000).

El control vectorial desacopla las variables del motor, con un control independiente de la velocidad y del par, equiparables a la sencillez en el control del motor de continua (Sergey, 2001). Esta característica unida a su bajo costo y a su poco mantenimiento hace que estos motores se estén imponiendo en las aplicaciones industriales como servomotores (Gamal, 2000), en donde se requiere un buen comportamiento dinámico en un amplio rango de velocidades (Sergey, 2001).

En un marco de referencia $d-q-0$, que gira a la velocidad sincrónica, las corrientes i_{ds} , i_{qs} , son las componentes de la corriente del estator, en los ejes directo y de cuadratura respectivamente. Si la componente de corriente i_{ds} , se hace coincidir en fase con el flujo magnético del rotor o con la componente de corriente que lo genera, se puede establecer una analogía entre i_{ds} con la corriente de campo i_f en el motor de corriente continua, así como entre i_{qs} y la corriente de armadura i_a .

De esta forma el par en una máquina de inducción se puede expresar como:

$$T = K_t * i_{qs} * i_{ds} \quad (22)$$

Manteniendo el flujo magnético i_{ds} constante, se puede realizar el control del par del motor, mediante la corriente i_{qs} , ya que ambos vectores son ortogonales y están desacoplados, pudiéndose independientemente variar sin afectar la componente ortogonal (Mantilla, 2000).

1) Control vectorial directo

El ángulo θ , del flujo del rotor, está siendo determinado, a partir de la medición directa del flujo del entrehierro. Es complejo de implementar porque necesita una medida del flujo, pero presenta un buen comportamiento dinámico (Muñoz, 2002).

Se realiza el control en lazo cerrado del vector de flujo del rotor y, por lo tanto, el módulo y el ángulo del vector de flujo del rotor se debe medir a través de sensores, o bien estimar a partir del modelo del motor.

2) Control vectorial indirecto

El ángulo θ , del flujo del rotor está siendo determinado a partir de medidas sustitutivas, como la de la velocidad de deslizamiento. Se regula el flujo, sin la medición directa del flujo del entrehierro, el módulo y ángulo del flujo del rotor se obtienen indirectamente de medidas de corriente del estator y velocidad del rotor. La velocidad angular del flujo del rotor se obtiene de la suma de la velocidad angular del rotor y la del deslizamiento.

C. Red Neuronal Artificial

En la Figura 2, se muestra la estructura de una neurona artificial. Una red neuronal artificial RNA, es un modelo computacional que tiene señales de entrada $X_1, X_2, \dots, X_n$, que pasan a través de una ganancia o peso sináptico; este peso W tiene una función similar a la del flujo neurotransmisor de la neurona biológica y puede ser excitador o inhibidor.

El nodo hace la sumatoria de las señales de entrada con su respectivo peso, suma una constante b y luego lo pasa a la salida a través de una función de activación (Ponce *et al.*, 2008).

La expresión matemática puede expresarse como:

$$Y = F(S) = F\left[\sum_{K=1}^N X_K W_K + b\right] \quad (23)$$

Las señales de entrada/salida en una RNA son, en general, señales lógicas, bidireccionales discretas, o continuas. La red puede tener 3 capas de neuronas: la capa de entrada, la capa oculta y la capa de salida. La capa oculta sirve para asociar las capas de entrada y salida. Las capas de entrada y salida tienen el mismo número de neuronas que dé señales.

Una constante es suministrada a la capa oculta y a la de salida a través de un peso para generar la señal de bias. Existe además un factor en cada entrada para convertir señales al sistema al sistema por unidad (normalización) y en la salida se desnormalizan a señales normales.

La red está completamente conectada, si todas las neuronas de una capa están conectadas con cada neurona de la siguiente capa, o parcialmente

conectada si solo lo está con ciertas neuronas.

El reconocimiento de patrones de entrada/salida se basa en la asociación de patrones a partir de entrenamientos de la RNA. Para poder realizar el

reconocimiento de patrones la red debe ser entrenada con un patrón de datos de entrada para así, dar los patrones de salida deseados.

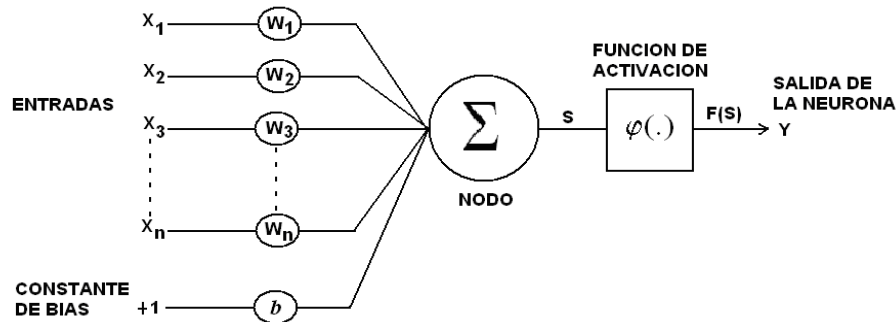


Figura 2. Estructura de una neurona artificial.

MÉTODO

A. Diseño de un Sistema de Control Vectorial

En la Figura 3, se muestra el sistema de control vectorial indirecto de la velocidad de un motor de inducción, que es alimentado por un inversor PWM controlado por corriente, que funciona como una fuente de corriente sinusoidal trifásica.

El inversor suministra las corrientes en el estator del motor según las referencias calculadas por el sistema de control.

La velocidad del motor ω_m , se compara con la referencia ω_{ref} y el error es procesado por el controlador de velocidad para producir un par de referencia $T_{ind(ref)}$.

De la medición de las corrientes por las bobinas y de la velocidad del rotor se calculan los valores de las variables transformadas. Estos valores permiten calcular el Torque inducido y el flujo del rotor del eje d , para compararse con los valores deseados y producir un error que se utiliza para incrementar o disminuir las referencias de la corriente directa y de cuadratura.

Como se muestra en la Figura 3, el flujo del rotor y el par pueden ser controlados por separado por

las corrientes del estator del eje directo i_{ds} y del eje en cuadratura i_{qs} , respectivamente.

Las referencias de corrientes, obtenidas a partir de las diferencias entre torques y velocidades, deseados y calculado, se transforman al sistema de coordenadas $a-b-c$, para lo cual es necesario el cálculo del ángulo, θ , del eje de referencia $d-q-0$.

Las corrientes de referencias $a-b-c$, se aplican como entrada al inversor controlado en corriente. El inversor sigue muy cerca de las referencias de corriente en coordenadas $a-b-c$ e inyecta a las bobinas del motor estas corrientes.

Teniendo como principio del control vectorial, que el marco de referencia $d-q-0$, va a estar girando sincrónicamente y con el eje d , alineado con el campo del rotor (Chee-Mun, 1998), la componente q del campo del rotor, λ'_{qr} , en el marco de la referencia escogido es cero, y de (16), se tendría que:

$$\begin{aligned} \lambda'_{qr} &= L'_{rl} i'_{qr} + M (i_{qs} + i'_{qr}) = 0 \\ i'_{qr} &= -\frac{M}{L'_R} i_{qs} \end{aligned} \quad (24)$$

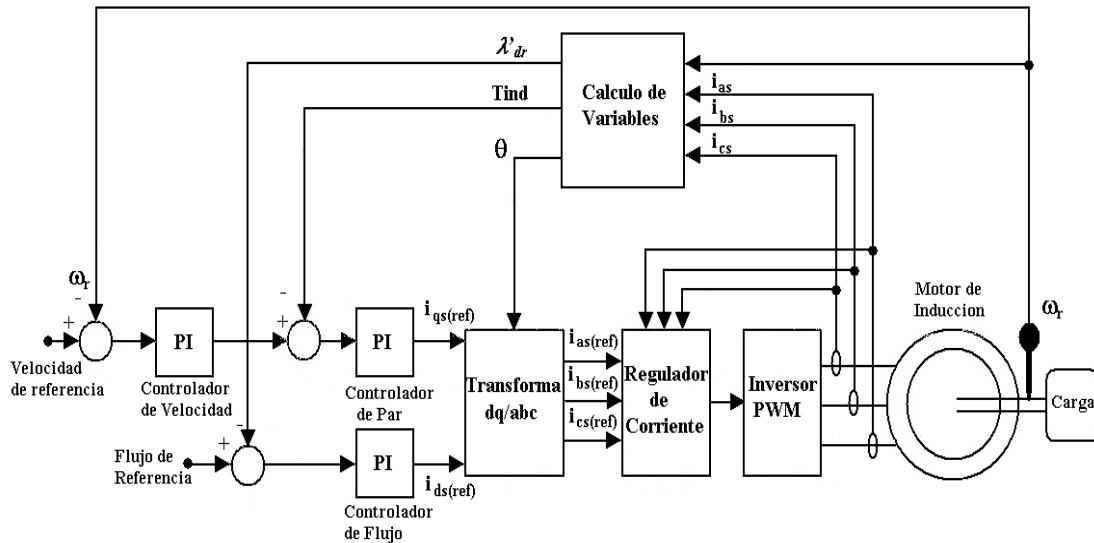


Figura 3. Control de velocidad en coordenadas de campo orientado.

Definiendo una nueva autoinductancia total por fase del rotor, como $L'_R = L'_{rl} + M$. Con λ'_{qr} cero, la (19), para el torque desarrollado se reduce a:

$$T_{ind} = -\frac{N}{2} \left(\frac{NP}{2} \right) (\lambda'_{dr} i'_{qr}) \quad (25)$$

Sustituyendo i'_{qr} de (24) en (25), se puede escribir de la forma siguiente la expresión del torque:

$$T_{ind} = \frac{N}{2} \left(\frac{NP}{2} \right) \frac{M}{L'_R} \lambda'_{dr} i_{qs} \quad (26)$$

Que muestra que si la unión del flujo de rotor, λ'_{dr} , no se perturba, el torque puede ser independientemente controlado, ajustando la componente q de la corriente del estator, i_{qs} .

Si la constante de tiempo del circuito del rotor, está definida por $\tau_r = L'_R / R'_r$, y para que λ'_{qr} , permanezca inalterado en cero, $p\lambda'_{qr}$, debe ser cero, en cuyo caso, de (12), el voltaje del eje q , del devanado del rotor, sin el voltaje del rotor aplicado se reduce a:

$$0 = 0 + (\omega - \omega_r) \lambda'_{dr} + R'_r i'_{qr}$$

Sustituyendo de nuevo i'_{qr} de (24) y de acuerdo a la definición de ω , la velocidad de deslizamiento debe satisfacer:

$$\omega_\beta = \omega - \omega_r = \frac{M}{\tau_r} \cdot \frac{i_{qs}}{\lambda'_{dr}} \quad (27)$$

El ángulo, θ , del eje de referencia $d-q-0$, que también es el ángulo del flujo del rotor, es generado a partir de:

$$\theta = \frac{1}{p} (\omega_\beta + \omega_r) \quad (28)$$

También, si λ'_{qr} , se mantiene en cero en (11), del voltaje del rotor del eje d , se obtiene:

$$0 = p \lambda'_{dr} - (\omega - \omega_r) \lambda'_{dr} + R'_r i'_{dr}$$

De (15), se obtiene la expresión para la corriente del rotor del eje d , como:

$$i'_{dr} = \frac{\lambda'_{dr} - M i_{ds}}{L'_R} \quad (29)$$

Sustituyendo esta expresión en la anterior, el enlace de flujo del rotor del eje d , queda:

$$\lambda'_{dr} = \frac{M}{1 + p\tau_r} i_{ds} \quad (30)$$

La magnitud del flujo del rotor puede ser ajustada controlando i_{ds} , y la orientación del campo del rotor en el eje d , puede mantenerse con la velocidad de deslizamiento o con i_{qs} , de acuerdo con la constante de tiempo del circuito del rotor. Con la orientación

del campo apropiada, la dinámica de λ'_{dr} , se confinará al eje d , y será determinada por la constante de tiempo del circuito del rotor.

El papel de los controladores es mantener la velocidad, el flujo y el par del motor iguales a los valores de referencia de entrada en régimen permanente y proporcionar una buena dinámica durante el régimen transitorio. Estos pueden ser del tipo proporcional-integral.

B. Red Neuronal para la estimación de Velocidad

Se selecciona y diseña una red neuronal multicapa de propagación hacia adelante, "feedforward", con retardos de tiempo, la cual puede aproximar una función, escogiendo una adecuada configuración para la red (Acosta *et al.*, 2000) y un adecuado número de neuronas en la capa oculta. La red Backpropagation es un excelente aproximador de funciones, aunque es imposible determinar una configuración exacta de la red para cada aplicación. Esta es entrenada utilizando Matlab, con el algoritmo "backpropagation".

Se trabaja con las características reales, de un motor trifásico de inducción de 3 Hp, 220 V, 60, Hz, 4 polos. La salida de la red neuronal es la velocidad del eje, ω_m , y los datos de entrada son las corrientes y las tensiones del estator. Estos datos son obtenidos a partir del Sistema de Control Vectorial Indirecto del Motor de Inducción, para diferentes velocidades de referencias y para cierta carga conectada, en este caso se utilizan los ejes de referencia girando con el campo magnético giratorio, $\omega = \omega_e$.

La red se entrenó sólo para las velocidades de 1800 rpm, 1350 rpm, 900 rpm y 450 rpm, y un Par de Carga de 12 N-m para todas las velocidades, teniendo en cuenta que el motor en estudio tiene una velocidad sincrónica de 188,5 rad/seg y un par nominal de 12 N-m.

La red neuronal se entrenó para que aprendiera los datos de las condiciones anteriores y a partir de ellos esté en capacidad de predecir una velocidad de salida, con condiciones diferentes con las que fue entrenada. Las tensiones y corrientes de entradas a la red, fueron primero convertidas a los

ejes $d-q-0$, utilizando el ángulo θ , calculado en el control vectorial, con el propósito de que se aproximarán más a una señal continua que a una alterna, pero debido a las conmutaciones del puente inversor, seguían manteniendo un alto contenido de ruido, por lo que luego de la etapa de transformación $d-q-0$, se utilizaron filtros paso-bajo a una frecuencia de corte de 2 Hz.

En el entrenamiento de la Red Neuronal se utilizó una secuencia de pre-procesamiento de las entradas y las salidas. Esto se consiguió normalizando los datos, de tal forma que el valor máximo de entrada a la red sea 1 y el mínimo -1. La normalización se implementó en Simulink, con:

$$y = (y_{\max} - y_{\min}) * (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) + y_{\min}$$

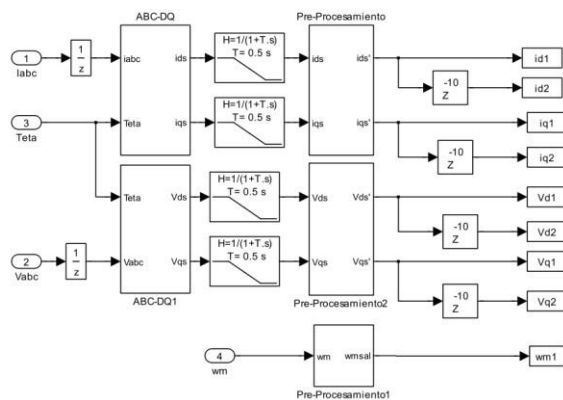
Todo el proceso de adquisición de los datos de entrada y salida, con la transformación $d-q-0$, el filtrado y la normalización, es implementado en Simulink, como se muestra en la Figura 4.a, y el comportamiento de los datos de entrada y la velocidad de salida, para un caso particular, luego de un proceso de filtrado y normalización, se visualiza en la Figura 4.b.

El algoritmo Backpropagation, necesita conocer cuál es la salida esperada, asociada a cada una de las entradas, y así actualizar los pesos y las ganancias con la regla de pasos descendientes (Acosta *et al.*, 2000). Para el proceso de aprendizaje, se escogió una red con una configuración 8:12:4:1, con un vector de entrada de ocho dimensiones, una sola salida, 8 neuronas en la primera capa oculta y 4 neuronas en la segunda capa oculta.

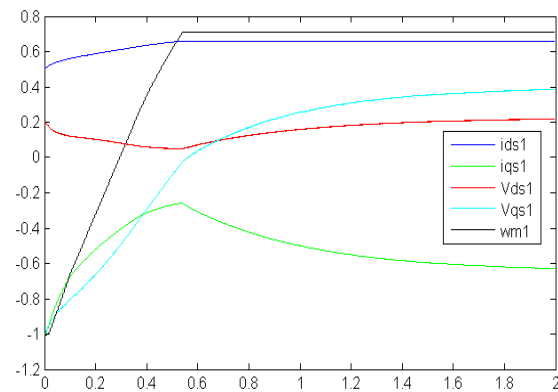
La red es creada con el comando *newff*, con las siguientes características:

```
net = newff(minmax(pn,[12 4 1]),{'tansig'
'tansig' 'purelin'},'trainlm')
```

Para completar el entrenamiento, el algoritmo *trainlm*, del método de Levenberg Marquardt garantiza una alta velocidad de aprendizaje y una excelente generalización de los patrones de entrenamiento que no se le habían presentado inicialmente.



a)



b)

Figura 4. Datos de entrada y salida de la RN a) Adquisición b) Curvas para nref= 1800 rpm y Tcarga= 12 N-m.

Los valores de iniciación de la matriz de pesos se generaron aleatoriamente; después de varias pruebas, los parámetros que determinan el entrenamiento se fijaron en los siguientes valores, mediante los cuales se alcanzó el rendimiento esperado de la red:

```
% Intervalo de visualización de los resultados
net.trainParam.show = 10;
% Máximo número de iteraciones para obtener convergencia
net.trainParam.epochs = 2000;
% Error máximo permitido
net.trainParam.goal = 1e-7;
% Rata de aprendizaje
net.trainParam.lr = 0.075;

% Factor de fraccionamiento de Jacobiano para ahorrar memoria
net.trainParam.mem_reduc = 1;
% Mínimo rendimiento del gradiente
net.trainParam.min_grad = 1e-12;
```

Los valores de entrada a la red se agruparon en el vector pnx, el valor esperado de la velocidad de salida, es representado por el escalar tnx. El entrenamiento se realiza de la siguiente forma:

```
[net,tr] = train(net,pxn,tnx);
```

Luego de varias iteraciones, 564 épocas, en aproximadamente 5 minutos, el error cayó a 1×10^{-7} . Con la red ya entrenada, con la instrucción gensim(net,st), se genera un bloque para ser usado en Simulink, siendo net el nombre de la red neuronal y st el tiempo de muestreo:

```
gensim(net,3e-4)
```

La salida de la red neuronal, es otra vez procesada para llevarla a los valores originales, teniendo en cuenta que se entrenó con valores normalizados.

RESULTADOS

El bloque de adquisición de datos, junto con la red neuronal, se integra al Sistema de Control Vectorial Indirecto del Motor de Inducción, como se muestra en la Figura 5.

Se simula el Sistema de Control Vectorial, para validarlo con las condiciones de funcionamiento con las que se entrenó, luego con otras con las que no se entrenó y luego con una combinación de estas condiciones.

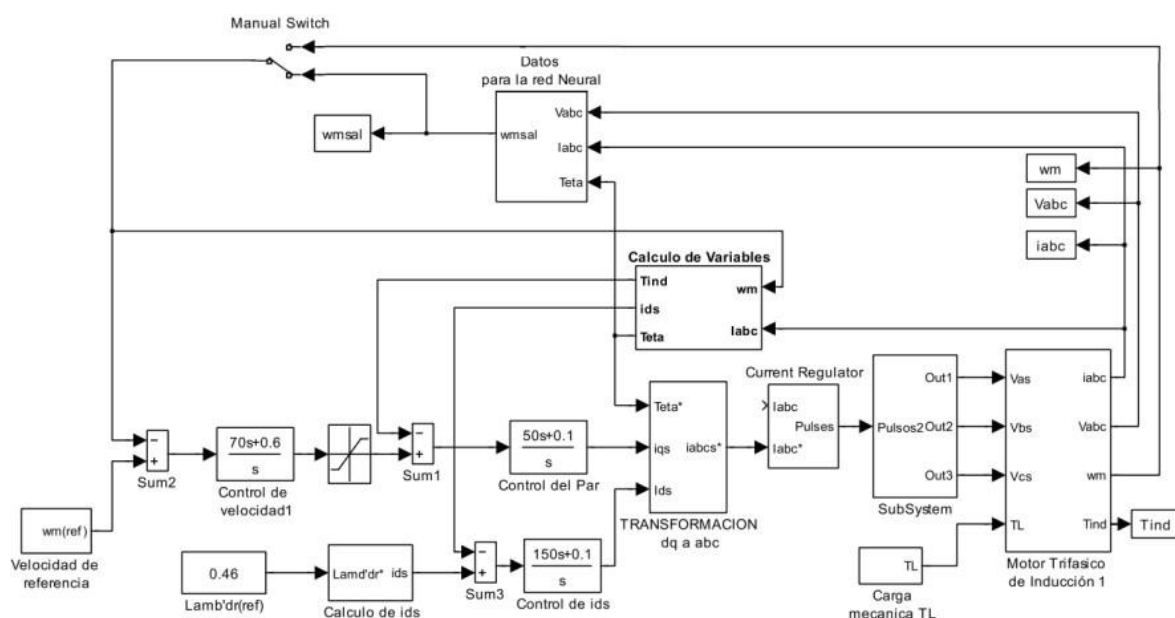


Figura 5. Red Neuronal en el Sistema de Control Vectorial.

En la Figura 6, se muestra la simulación para diferentes condiciones de funcionamiento. En la Figura 6.a y 6.b, se usa la velocidad de referencia 1350 rpm y 450 rpm con par de carga nominal, ambas condiciones se usaron en el entrenamiento.

En la Figura 6.c y 6.d, la velocidad de referencia es de 720 rpm y de 1620 rpm, que no se usaron en el entrenamiento, pero se mantiene el par de carga nominal.

En la Figura 6.e, la velocidad de referencia es de 900 rpm y un par de 5 N.m, que no se usó en el entrenamiento.

En la Figura 6.f, el resultado es una condición que no se usó en el entrenamiento, la velocidad de referencia es 1620 rpm y el par 9 N-m. En la Figura 6.g, la velocidad de referencia varía bruscamente y la carga es la nominal. Y en la Figura 6.h, el resultado es para una velocidad de referencia constante de 1350 rpm y una carga que varía bruscamente.

DISCUSIÓN

A partir de los resultados, de las Figuras 6.a a 6.d, se muestra que el algoritmo utilizando una RN para la estimación de la velocidad tiene un buen rendimiento para una carga nominal utilizada en

el entrenamiento con diferentes velocidades, ya sean parte o no del entrenamiento. Obteniendo en la aceleración unas diferencias entre la velocidad del eje y de la RN de 18 a 40 rpm y en la estabilización errores entre un 0.3 a un 6.2 % entre esas velocidades.

Para cargas que no se usaron en el entrenamiento, en las Figuras 6.e y 6.f, en la etapa de aceleración del motor, la estimación de la velocidad de la RN, presenta algunas variaciones fuertes, de 200 a 300 rpm, debido principalmente a las corrientes, que presentan ruidos y valores altos en la zona del transitorio del motor. Después de 0.55 segundos, se consigue estimar muy bien la velocidad, aun cuando no ha terminado la zona de aceleración del motor, llegando a unos errores entre 1 % a 6 %, luego en la estabilización. En la Figura 6.g, se estima satisfactoriamente la velocidad, para una condición de variación de velocidad compleja.

Se logra una respuesta de salida con un error de 9 % en los cambios bruscos de velocidad, y luego de un tiempo de estabilización de 0.5 segundos, el error es de 2 %. Para variaciones de carga, en la Figura 6.h, se consigue la velocidad con una variación máxima de 35 rpm con respecto a la velocidad de salida del motor, cuando se está acelerando y en la estabilización se tiene un error de 3 % a 2 %.

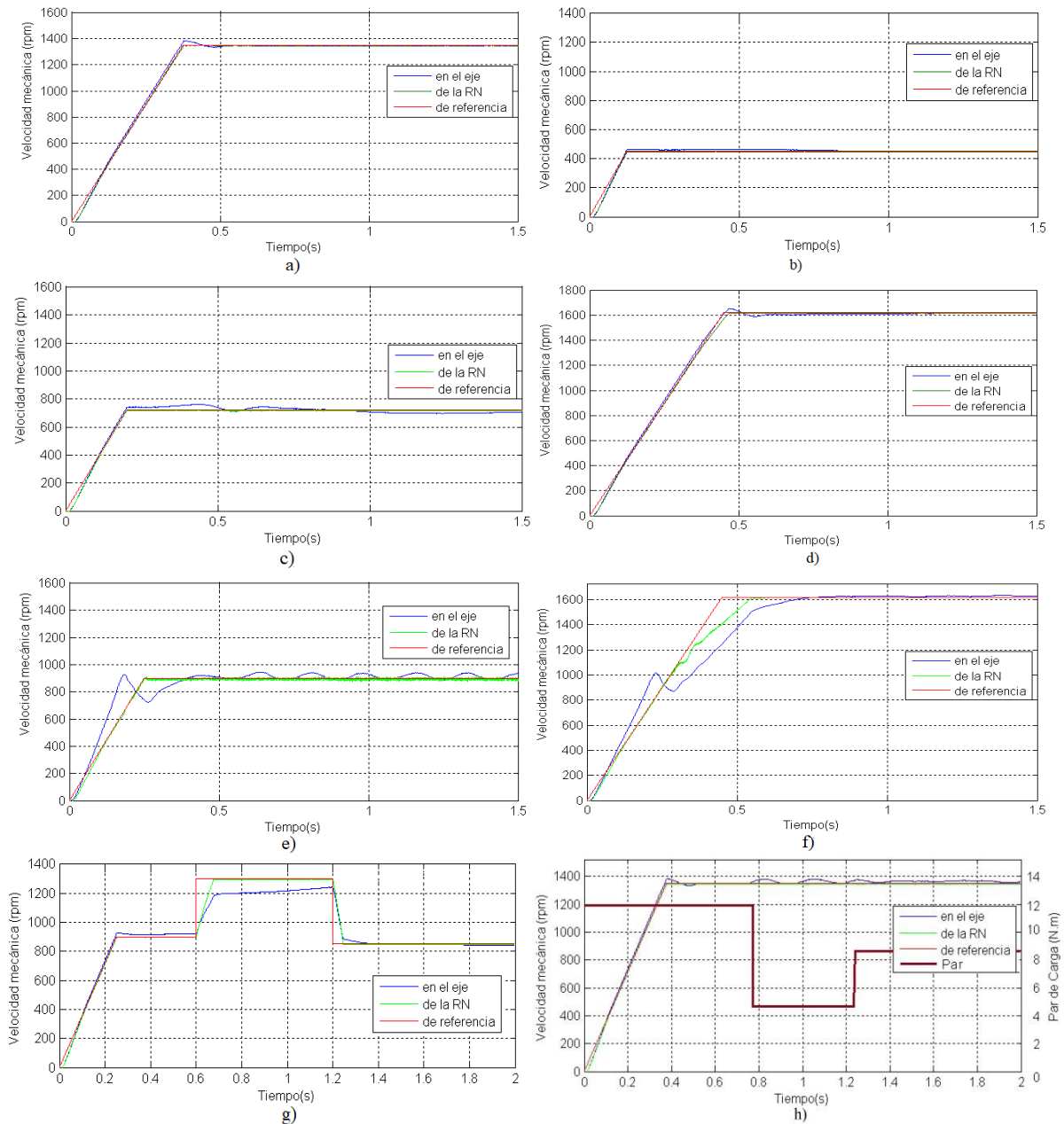


Figura 6. Simulación de la RN, con carga nominal **a)** nref 1350 rpm y **b)** nref 450 rpm **c)** nref 720 rpm **d)** nref 1620 rpm **e)** nref 900 rpm y carga de 5 N.m **f)** nref 1620 rpm y carga de 9 N.m **g)** nref varía entre varios valores y carga nominal **h)** nref 1350 rpm y la carga varía entre varios valores.

CONCLUSIONES

Se propone una red neuronal para la estimación de la velocidad de un motor de inducción para aumentar el desempeño de los drives sin sensores de velocidad.

De los resultados de la simulación usando un sistema de control vectorial de un motor de inducción de 3 hp, se muestra que se estima la velocidad exactamente sobre un rango de velocidad desde la mínima hasta la máxima cercana a la sincrónica, para una carga constante.

Se tiene un buen desempeño de estimación de la velocidad para ciertas variaciones de la carga y velocidad de referencia constante. El sistema de control vectorial sin sensor de velocidad, tiene un buen desempeño dinámico y en estado estable.

La RN, entrenada aprendió la función no lineal de la variable estimada velocidad y las variables de entrada, corrientes y voltajes del estator en el marco de referencia seleccionado.

Para verificar el aprendizaje se comparó la salida de la velocidad estimada, con la velocidad de referencia introducida al sistema de control vectorial y con la velocidad de salida en el eje del motor, usando como datos de validación, los mismos datos de entrenamiento, logrando un error mínimo.

Para chequear la capacidad de generalización de la red se evaluó la misma con un conjunto de datos que no estuvieron en el entrenamiento y los resultados de la comparación fueron satisfactorios, y en algunos casos la velocidad estimada llegó a seguir mejor a la velocidad de referencia que a la velocidad del eje.

En la etapa de entrenamiento, la configuración seleccionada, represento una disminución del tiempo de computación así como una buena calidad de la estimación de la velocidad, garantizando estabilidad en el resultado final.

REFERENCIAS

- Acosta, M., Zuluaga, C., (2000). Tutorial Sobre Redes Neuronales Aplicadas en Ingeniería Eléctrica y su implementación en un sitio Web, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Adkins, B., (1967). Teoría General de las Maquinas Eléctricas. Bilbao, España. Primera Edición. Ediciones Urmo.
- Aller, J., (1997). Introducción a la teoría general de las máquinas eléctricas rotativas. Venezuela. Universidad Simón Bolívar.
- Aller, J., Bueno, A., (2004), Técnica Combinada de Control de la Máquina de Inducción sin Sensores de Velocidad. Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V., Vol. 19, No. 2, pp. 63-73.
- Bodson, M., Chiasson, J., (2002). A Comparison of Sensorless Speed Estimation Methods for Induction Motor Control. American Control Conference Anchorage. Pp. 3076-3081.
- Chee-Mun, O., (1998). Dynamic simulation of electric machinery using Matlab/Simulink, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Chin, T., Miyashita, I., Koga, T., (1997), Sensorless Induction Motor Drive: An innovative component for advanced motion control. Control Eng. Practice, Vol. 5, No. 12, pp. 1653-1659. Pergamon.
- Clarke, E., (1950). Circuit Analysis of AC Power Systems. New York: Wiley, vol. I.
- Gamal, A., (2000). Aplicación de las redes neuronales en los sistemas de control vectorial de los motores de inducción. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- González, J., Da Silveira, M., Pacheco, E., (2001) Control Vectorial del Motor de Inducción para el control de velocidad del rotor por cambio de frecuencia. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 22. No 3. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- González, J., Da Silveira, M., Pacheco, E., (2004), Comparación de la Red Neuronal y del Filtro de Kalman en la Estimación de Velocidad del Motor de Inducción. I Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica (I CIBELEC 2004), Mérida, Venezuela.
- Holtz, J., (2002), Sensorless Control of Induction Motor Drives. Proceedings of IEEE, Vol. 90, No. 8, pp. 1359-1394.
- Kim, S., Park T., Ji Y., (2001), Speed-Sensorless Vector Control of an Induction Motor Using Neural Network Speed Estimation. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 48, No.3, pp. 609-614.
- Mantilla, A., (2000). Control vectorial de motores de inducción usando procesadores digitales de señales (DSP's). Tesis de Maestría, Instituto

Politécnico Nacional, México.

Moreno, A., Camacho, P., Plaza, A., (2000). Modelado y simulación de motores de inducción. Córdoba, España. Universidad de Córdoba.

Muñoz, J., (2002). Control Avanzado de Máquinas de Inducción. Tesis Doctoral, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, España.

Park, R. H., (1929). Two-reaction theory of synchronous machines, AIEE Transactions, vol. 48, p.716.

Ponce, P., Monroy, A., (2006). Using Space

Vector Modulation in a DTC Scheme, Scientific, Vol 10.No 001 Instituto Politécnico Nacional. México.

Ponce, P., Sampe, J., (2008), Maquinas eléctricas y técnicas modernas de control. Primera Edición. México. Alfaomega Editor.

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., Williams, R. J., (1986), Learning representations by back-propagating errors. Nature, 323, 533-536.

Sergey, E., (2001) Control of high performance induction motors: theory and practice. Energy Conversion and Management, Vol. 42, 877-898.

DESARROLLO DE UN SIMULADOR PARA EL ESTUDIO DEL MODELO CINEMÁTICO DE ROBOTS MÓVILES SKID STEER

DEVELOPMENT OF A SIMULATOR FOR THE STUDY OF THE CINEMATIC MODEL OF SKID STEER MOBILE ROBOTS

AUTORES:

García, Jesús; Vecino, Yossuan

Laboratorio de Prototipos. Universidad Nacional Experimental del Táchira. 5001. San Cristóbal, Venezuela.

Corresponding Author:

jmgarcia@unet.edu.ve

Palabras clave: Modelo cinemático, Robots móviles, Robot Skid Steer, Simulador de robot, Robótica educativa.

Key words: Kinematic model, Mobile Robots, Robot Skid Steer, Robot Simulator, Educational Robotics.

RESUMEN

Los robots móviles Skid Steer han demostrado ser más eficientes que otros tipos de robots móviles en cuanto a la transitabilidad sobre terrenos irregulares ya que, el uso de orugas o múltiples ruedas en cada lado del robot, les provee un mayor contacto con el suelo y una mejor capacidad de tracción. Pero, desde el punto de vista cinemático, su control se hace más complicado puesto que el deslizamiento es preponderante en este caso. Además, si se toma en consideración factores como desalineación y otros desperfectos mecánicos, se hace más complicado el desarrollo de modelos cinemáticos que permitan predecir su comportamiento aproximado. Por ello, algunos autores han desarrollado modelos cinemáticos fundamentados en los Centros Instantáneos de Rotación (ICRs) y otros parámetros adimensionales propios de cada robot. A partir uno de estos modelos, se creó un simulador el cual se describe en este artículo, cuyo propósito es estudiar el modelo cinemático de los robots Skid Steer a partir de la variación controlada de los parámetros de simulación (consignas de velocidad y variables que intervienen en el modelo cinemático), mientras un robot móvil simulado en un entorno horizontal 2D puede realizar una de las siguientes tareas: a) Desplazamiento con variaciones instantáneas de los parámetros de simulación; b) Desplazamiento programado donde el robot ejecuta una secuencia de comandos que incluyen todos los parámetros de simulación; y c) Seguimiento de caminos, donde el robot seguirá una trayectoria diseñada por el usuario utilizando el algoritmo de persecución pura mientras el usuario puede modificar los parámetros de simulación. Se espera que este simulador ayude a estudiantes de robótica móvil a entender la relación compleja que existe entre las variables pertenecientes al modelo cinemático del robot Skid Steer y los patrones de desplazamiento que se generan a partir de ellas.

ABSTRACT

The Skid Steer mobile robots have proven to be more efficient than other types of mobile robots in terms of mobility on uneven terrain, since the use of caterpillars or multiple wheels on each side of the robot provides them with greater contact with the ground and better traction ability. But, from the kinematic point of view, its control becomes more complicated since the slippage is preponderant in this case. In addition, if factors such as misalignment and other mechanical defects are taken into account, the development of kinematic models that predict their approximate behavior becomes more complicated. Therefore, some authors have developed kinematic models based on the Instant Rotation Centers (ICRs) and other dimensionless parameters of each robot. From one of these models, a simulator was created which is described in this article, whose purpose is to study the kinematic model of the Skid Steer robots from the controlled variation of the simulation parameters (speed set points and variables that intervene in the kinematic model) while a simulated mobile robot in a 2D horizontal environment can perform one of the following tasks: a) Displacement with instantaneous variations of the simulation parameters; b) Programmed movement where the robot executes a sequence of commands that include all simulation parameters; and c) Path tracking, where the robot will follow a trajectory designed by the user using the pure pursuit algorithm while the user can modify the simulation parameters. It is expected that this simulator will help students of mobile robotics to understand the complex relationship that exists between the variables belonging to the kinematic model of the Skid Steer robot and the displacement patterns that are generated from them.

Recibido: 05/04/2018 Aprobado: 28/06/2018 Versión Final: 06/09/2018

INTRODUCCIÓN

La robótica móvil terrestre ha tenido un gran auge en las últimas décadas y actualmente su rango de acción, se ha ampliado no solo para la realización de tareas en espacios interiores sino que, representan la punta de lanza en la realización de tareas en campos abiertos las cuales son difíciles o incluso, imposibles de realizar por el hombre (Casper & Murphy, 2003). Por ello, se pueden conseguir robots realizando tareas como exploración en terrenos hostiles (Nakano & Hirose, 2012), búsqueda y rescate después de desastres naturales (Suzuki *et al.*, 2013), tareas militares como búsqueda y remoción de explosivos (Guarnieri *et al.*, 2009), labores en agricultura (Feng *et al.*, 2012) y minería, y recientemente, han encontrado un campo de acción casi exclusivo en la exploración planetaria (Li *et al.*, 2014).

Para que los robots móviles puedan realizar estas tareas, se requiere que ellos tengan ciertas características tales como: estabilidad ante el vuelco, capacidad de tracción en terrenos irregulares y buena maniobrabilidad para sobrepasar obstáculos. Para lograrlo, se han desarrollado distintos sistemas de locomoción (González *et al.*, 2015). En primer lugar, se tienen los robots con ruedas: estos resultan ser eficientes para movilizarse rápidamente en terrenos planos y duros; pero, pierden eficiencia cuando el robot se enfrenta a terrenos irregulares con obstáculos o partículas sueltas. En segundo lugar, se diseñaron los robots con patas que permiten el tránsito sobre terrenos con obstáculos; pero, este sistema de locomoción por lo general es lento y requiere sistemas mecánicos complejos con múltiples eslabones y actuadores, además de un sistema de control complejo. Un tercer sistema de tracción empleado está constituido por robots tipo orugas (dos a cada lado del robot) o múltiples ruedas a cada lado del robot (las cuales girarán a una misma velocidad y sentido). A este sistema de tracción se le llama “SkidSteer” (Reina & Galati, 2016) y posee amplias ventajas respecto a los otros tipos de robots; ya que, debido al contacto mayor entre el

robot con el suelo, existe un mejor agarre con el consecuente mejoramiento en la capacidad de tracción. Estas características permiten al robot desplazarse con gran eficiencia sobre suelos que poseen cierta rugosidad o terrenos con partículas sueltas (arena, grava, piedras, etc.), aunque esta eficiencia se pierde en terrenos con obstáculos (siempre que los obstáculos sean mayores al radio de las ruedas o poleas de las orugas que lo conforman); además, la eficiencia energética es menor puesto que hay un consumo considerable de energía en deslizamiento que se hace más prominente en trayectorias curvas (Cholewinski *et al.*, 2016). A pesar de estas desventajas, los robots *Skid Steer* surgen como la mejor alternativa cuando se trata de navegación en entornos naturales con suelos repletos de partículas sueltas.

Por tanto, la navegación con estos robots no es sencilla, ya que el deslizamiento que siempre está presente genera problemas para seguir trayectorias dadas. Además, no es fácil predecir el comportamiento cinemático del robot frente a las interacciones rueda – suelo (Mohammadpour & Naraghi, 2012). Por ello, investigaciones recientes han desarrollado modelos cinemáticos de estos robots; especialmente, utilizando fundamentados en los Centros Instantáneos de Rotación (ICRs) y otros parámetros adimensionales propios de cada robot que permiten cuantificar en un modelo, no solo la interacción del robot con el suelo, sino también, toman en consideración otros efectos tales como desperfectos mecánicos y desalineación presente en estos robots.

En los modelos cinemáticos, definidos en otras investigaciones, es difícil observar el efecto de los ICRs y otros parámetros adimensionales sobre el desplazamiento del robot, lo cual representa un problema para los investigadores y estudiantes de robótica móvil, en especial durante las fases de diseño de robots y/o generación de algoritmos de control para el seguimiento eficiente de trayectorias. Por ello, en este trabajo se describe el desarrollo de un simulador, que modela un robot móvil tipo

SkidSteer bajo el modelo cinemático presentado por Mandow *et al.*, (2007). Este simulador permite, bajo distintas opciones y tareas, observar el efecto de cada parámetro de este modelo sobre el comportamiento del robot, de manera que el usuario puede analizar y sacar conclusiones propias sobre la importancia de cada parámetro estudiado acerca del movimiento del robot.

El uso de este simulador para entender el comportamiento del modelo cinemático de este tipo de robots, sigue el principio dado en investigaciones previas, donde a través de herramientas computacionales de este tipo, los estudiantes de robótica pueden estudiar con mayor efectividad, los principios relacionados con el funcionamiento de robots móviles, brazos robóticos (García & Martínez, 2012), celdas de trabajo robóticas y enjambres de robots (Pérez *et al.*, 2011), entre otros. Por tanto, el aporte de esta herramienta computacional permite estudiar el comportamiento cinemático de este tipo de robots que actualmente continúa en estudio; especialmente, en entornos más complicados como terrenos inclinados y con presencia de partículas sueltas en el terreno (Inotsume *et al.*, 2013).

Modelo Cinemático del robot *Skid Steer*

El modelo cinemático implementado en este trabajo, se fundamenta en los Centros Instantáneos de Rotación (ICRs) de cada par de ruedas de un mismo lado (izquierdo y derecho), mientras el robot se desplaza sobre un terreno horizontal duro.

El centro instantáneo de rotación es un punto perteneciente a cuerpo rígido (o extensión del mismo) en el que la velocidad instantánea del cuerpo es nula. Al simplificar el concepto para un vehículo moviéndose en un plano horizontal, el Centro Instantáneo de Rotación del Vehículo (ICR_v) es el punto donde el movimiento del vehículo puede ser representado solo por rotación sin traslación (Martínez *et al.*, 2005). Si se ubica un sistema de referencia local XY en el centro del polígono formado por los puntos de contacto de las ruedas con el suelo y, con el eje

de las abscisas en dirección transversal y el eje de las ordenadas en dirección longitudinal (ver Figura 1a), el ICR_v tendrá coordenadas locales (x_{ICR_v} , y_{ICR_v}).

Pero, en movimiento planar, también se puede utilizar el principio del centro instantáneo de rotación para modelar el movimiento de cada banda de rotación (o par de ruedas del mismo lado que se mueven a la misma velocidad) en el robot *Skid Steer*. Por ello, se definen los centros instantáneos de rotación del lado izquierdo (ICR_l) y derecho del vehículo (ICR_r), cuyas coordenadas de acuerdo con el sistema de referencia local XY quedan definidas como (x_{ICR_l} , y_{ICR_l}) y (x_{ICR_r} , y_{ICR_r}) respectivamente. Estas coordenadas pueden ser definidas cuantitativamente a través de las siguientes ecuaciones:

$$x_{ICR_v} = \frac{-v_y}{\omega_z} \quad (1)$$

$$x_{ICR_l} = \frac{\alpha_l \cdot V_l - v_y}{\omega_z} \quad (2)$$

$$x_{ICR_r} = \frac{\alpha_r \cdot V_r - v_y}{\omega_z} \quad (3)$$

$$y_{ICR_v} = y_{ICR_l} = y_{ICR_r} = \frac{v_x}{\omega_z} \quad (4)$$

Donde, $v = (v_x, v_y)$ es la velocidad traslacional del vehículo descompuesta respecto al sistema de referencia local XY , y ω_z es su velocidad angular. Además, V_l y V_r son las velocidades tangenciales de las ruedas del lado izquierdo y derecho respectivamente, las cuales pueden ser cuantificadas utilizando sensores instalados en el robot.

Por último, α_l y α_r son factores adimensionales que toman en consideración un conjunto de problemas mecánicos como desalineación y presión en los neumáticos, entre otros. A partir de estas variables, es posible definir el modelo cinemático del robot para encontrar el perfil de

velocidad del vehículo a partir de las velocidades en las ruedas utilizando la Ecuación 5.

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} V_l \\ V_r \end{pmatrix} \quad (5)$$

Donde A es una matriz que depende los ICRs y factores de corrección:

$$A = \frac{1}{x_{ICRr} - x_{ICRl}} \begin{bmatrix} -y_{ICRv}\alpha_l & y_{ICRv}\alpha_r \\ x_{ICRr}\alpha_l & -x_{ICRl}\alpha_r \\ -\alpha_l & \alpha_r \end{bmatrix} \quad (6)$$

Todas las variables presentes en A pueden ser estimadas experimentalmente siguiendo el procedimiento dado por Mandow *et al.* (2007).

Una vez obtenido el modelo cinemático (Ecuación 5) es posible, utilizando métodos de integración, encontrar la trayectoria seguida por el robot conocido el perfil de velocidades en las ruedas (V_l y V_r).

Algoritmo de persecución pura

Una de las tareas que puede ejecutar un robot móvil es el seguimiento de una trayectoria dada a través de algún algoritmo. En el simulador propuesto, se aborda este tema para observar el efecto sobre el seguimiento de los parámetros del modelo cinemático del robot al ejecutar esta tarea.

Para ello, se utiliza el algoritmo de persecución pura (Ollero, 2007) como herramienta para lograr el seguimiento de una trayectoria.

En este algoritmo se debe conocer de manera explícita, la trayectoria a seguir a través de las coordenadas de los puntos que conforman la trayectoria, medidos desde un sistema de referencia global; además, se debe conocer la posición del vehículo respecto al mismo sistema de referencia (x, y).

Como la trayectoria dada estará conformada por n puntos, se debe escoger previamente cuál de estos puntos es el más apropiado para seguir; por lo tanto, la Ecuación 7 permite, a partir de una distancia fija s (*Lookahead*, elegida por el usuario) seleccionar un punto objetivo en la trayectoria (x_{ob}, y_{ob}) que esté dentro del sentido de avance y que sea el que de manera aproximada o exacta cumpla con la igualdad $L=s$ (ver Figura 1b).

$$L = \sqrt{(x_{ob} - x)^2 + (y_{ob} - y)^2} \quad (7)$$

Posteriormente, se puede cuantificar a través de la Ecuación 8, la curvatura necesaria γ_r (o el radio de curvatura r) que se debe suministrar al vehículo para llegar a este punto objetivo:

$$\gamma_r = \frac{1}{r} = -\frac{2(\Delta x)}{L^2} = -\frac{2(x_{ob} - x)}{L^2} \quad (8)$$

Una vez conocida la curvatura necesaria, se utilizan las Ecuaciones 9 y 10 que definen el modelo cinemático del robot diferencial (modelo ideal sin deslizamiento ni problemas mecánicos) para estimar las velocidades en las ruedas del lado izquierdo y derecho (ω_l, ω_r) que debe adoptar el robot para llegar al punto objetivo.

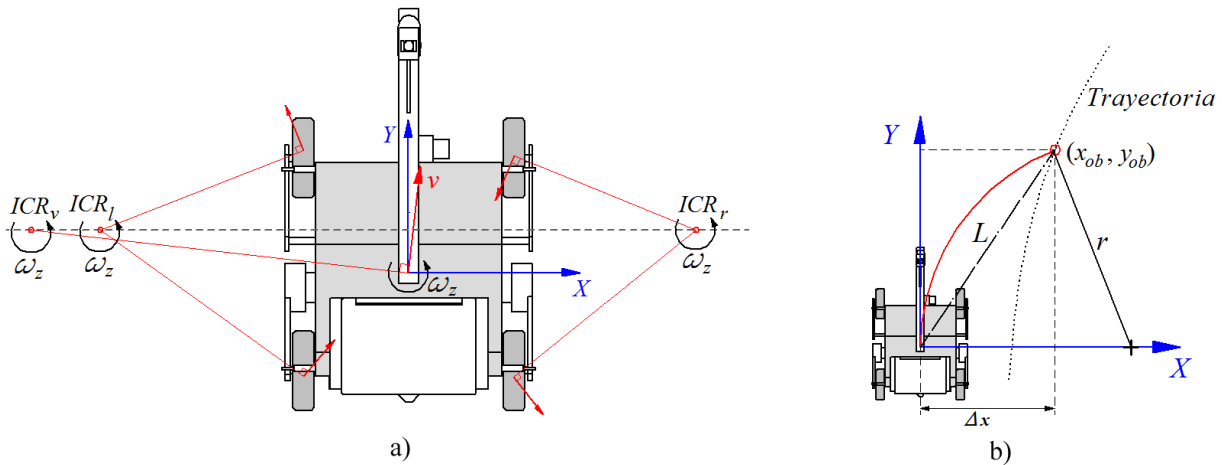


Figura 1. Conceptos básicos utilizados en el simulador: a) ICRs; b) Persecución pura.

$$\omega_l = \frac{V(1 - K \gamma_r)}{R} \quad (9)$$

$$\omega_r = \frac{V(1 + K \gamma_r)}{R} \quad (10)$$

Donde, V es la consigna de velocidad de avance del robot (elegida por el usuario), K es la mitad de la distancia que separa las ruedas del lado izquierdo de las ruedas del lado derecho y R es el radio de las ruedas.

MÉTODO

El desarrollo de este simulador, se hizo sobre la base de la metodología de desarrollo en Espiral (Boehm, 1988), donde cada módulo del simulador fue sometido a una serie de iteraciones que siguieron los siguientes pasos:

1) Se definieron las necesidades y objetivos de cada módulo. 2) Se idearon un conjunto de alternativas para modelar cada módulo y se evaluaron cualitativamente. 3) Se desarrolló cada módulo de acuerdo con la alternativa seleccionada y, finalmente, 4) se realizaron pruebas para detectar necesidades no cubiertas que pudieran dar inicio a una nueva iteración.

RESULTADOS

El simulador descrito en este trabajo posee tres módulos con diferentes tareas a ejecutar, más un módulo adicional para visualización de resultados. En todos los módulos, se utiliza un modelo 3D del robot móvil Lázaro (García *et al.*, 2017), el cual es un robot de ruedas *SkidSteer* con un brazo acoplado (este último no se utiliza en el simulador). A continuación, se describen todos los módulos de la herramienta.

Módulo de simulación en tiempo real

En este módulo, se pretende evaluar en tiempo real, el efecto de los parámetros que intervienen en el modelo cinemático del robot (mostrados en la Ecuación 5) sobre las velocidades de traslación y rotación (v_x , v_y , ω_z) además de observar la trayectoria seguida por el robot desde una vista de planta (2D) o en un entorno 3D (ver Figura 2). Para ello, se puede ejecutar una simulación continua (la parada queda definida por el usuario) y variar en cualquier momento los siguientes parámetros: ω_l , ω_r , α_l , α_r , x_{ICRl} , x_{ICRr} , y_{ICRv} y *Time Step* (paso de simulación en ms).

La mayor utilidad de este módulo está asociada a observar fundamentalmente el efecto de la variación de las velocidades angulares de las ruedas (ω_l , ω_r) sobre la dirección y sentido del

desplazamiento y la trayectoria; ya que son los dos parámetros cuyas variaciones son más

notorias durante una simulación en tiempo real.

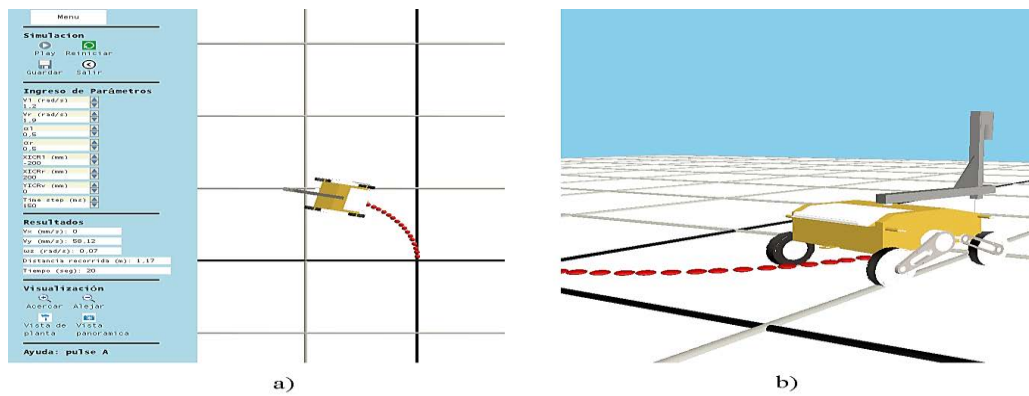


Figura 2. Módulo de simulación en tiempo real con robot describiendo una trayectoria. a) vista de planta. b) vista 3D.

Módulo de simulación en intervalos de tiempo

Aunque visualmente este módulo tiene la misma apariencia del módulo anterior, su funcionamiento cambia; puesto que, se dispone

de una herramienta de programación que para intervalos de tiempo definidos por el usuario, se puede programar y guardar la actuación del robot (tarea) en términos de los parámetros $\omega_l, \omega_r, \alpha_l, \alpha_r, x_{ICRl}, x_{ICRr}$ y y_{ICRv} (ver Figura 3).

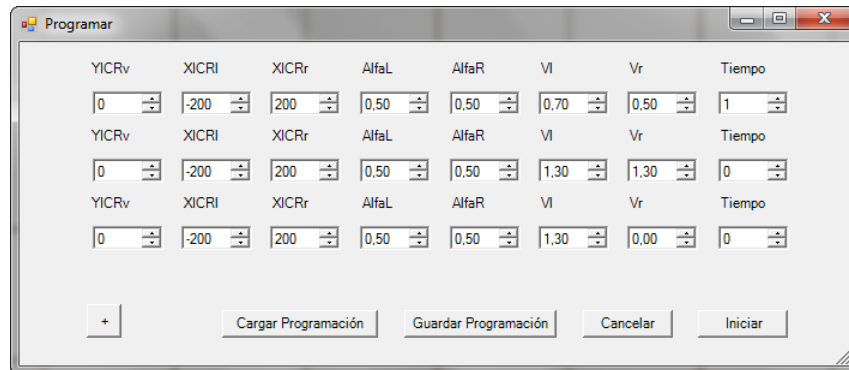


Figura 3. Herramienta de programación de tareas para el módulo de simulación en intervalos de tiempo.

Al efectuar la simulación, el robot ejecutará la tarea de acuerdo a un *Time Step* (paso de simulación definido por el usuario). De manera que el usuario puede, para una tarea definida, realizar estudios de sensibilidad para cualquiera de los parámetros que definen la tarea programada al variar solo uno de ellos; mientras que, el resto permanece invariable dentro de la

secuencia programada. Con este módulo, el usuario puede verificar el efecto sobre el desplazamiento del robot, de los parámetros del modelo con menor influencia sobre el movimiento ($\alpha_l, \alpha_r, x_{ICRl}, x_{ICRr}$ y y_{ICRv}), pero que pueden afectar la exactitud del desplazamiento en una tarea dada.

Módulo de seguimiento de caminos

Este módulo permite al robot ejecutar la tarea de seguir una trayectoria (definida por el usuario) alcanzando el algoritmo de persecución pura. Aunque visualmente, este módulo posee la misma apariencia que los módulos anteriores (ver Figura 4a), su funcionamiento es diferente. El usuario pueda dar como parámetros de

entrada los siguientes: α_l , α_r , x_{ICRl} , x_{ICRr} , y_{ICRv} , $Time Step$, V (consigna de velocidad de avance del robot) y s (*Lookahead*, de acuerdo al algoritmo de persecución pura). Adicionalmente, el usuario debe, a través de una herramienta adicional, definir la trayectoria que espera pueda seguir el robot (a elegir entre trayectorias rectas, parabólicas, circulares y personalizadas, ver Figura 4b).

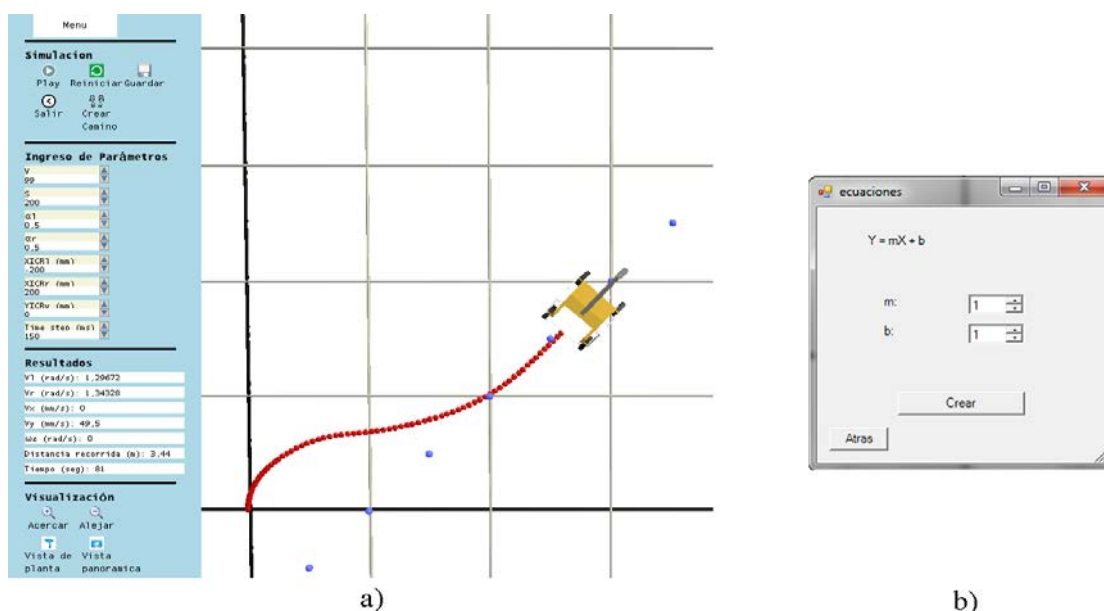


Figura 4. Módulo de seguimiento de caminos: a) Robot siguiendo un camino definido por una recta (puntos azules); b) Herramienta de generación de caminos (en este caso: generación de caminos rectos).

Durante la simulación, el sistema implementa el algoritmo de persecución pura para entregar como salida, las velocidades angulares en las ruedas que debe asumir el robot para seguir el camino ya definido y las velocidades de traslación y rotación en cada instante de tiempo (v_x , v_y , ω_z).

Este módulo permite al usuario observar el efecto de los parámetros de entrada sobre el comportamiento del robot en una tarea común como el seguimiento de una trayectoria; ya que, para una trayectoria fija definida por el usuario, se pueden realizar análisis de sensibilidad al variar uno de los parámetros que el programa permite modificar al inicio de la simulación.

Módulo de representación de trayectorias

Este módulo permite visualizar los resultados de las simulaciones realizadas en cualquiera de los módulos anteriores. Cuenta con un sistema de coordenadas donde, se pueden graficar las trayectorias seguidas por el robot en simulaciones previamente ejecutadas y guardadas por el usuario (ver Figura 5). La ventaja de este módulo está en que se pueden representar en un mismo entorno, los resultados de varias simulaciones a la vez; por lo tanto, es posible comparar las trayectorias obtenidas por el robot en cualquier análisis de sensibilidad realizados cuando, se varían cualquiera de los parámetros que influyen sobre el modelo

cinemático del robot. Adicionalmente, se debe resaltar que los resultados de las simulaciones realizadas en cualquier módulo, se pueden

guardar para ser importadas en otros programas de procesamiento de datos como Excel.

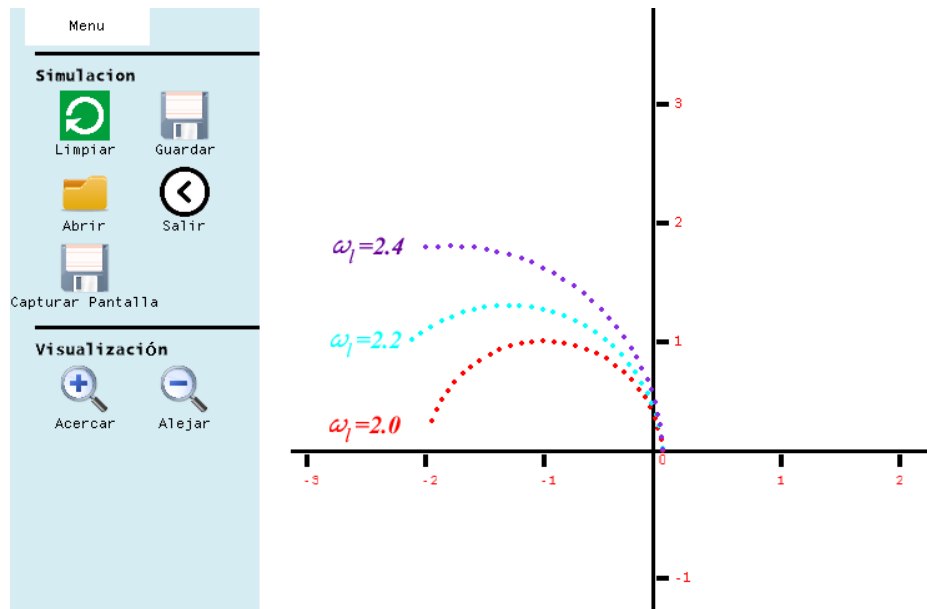


Figura 5. Módulo de representación de trayectorias mostrando tres recorridos seguidos con el robot durante simulaciones de 30 segundos de duración con $\omega_r = 3 \text{ rad/s}$ y varias ω_l .

Ejemplo de aplicación

Para mostrar la aplicabilidad del simulador, se muestran los resultados de un análisis de sensibilidad hecho sobre el robot al variar uno de los parámetros de entrada del modelo cinemático directo, en este caso: x_{ICRI} . Para ello, se programó una tarea a ejecutar en un tiempo (t) de 23 s con consignas de velocidad angular en las ruedas (ω_l, ω_r) definidas de la siguiente manera:

- Para $0 \leq t < 5 \text{ s}$, tomar $\omega_l = 1 \text{ rad/s}$ y $\omega_r = 3 \text{ rad/s}$.
- Para $5 \leq t < 13 \text{ s}$, tomar $\omega_l = 2.5 \text{ rad/s}$ y $\omega_r = 2.5 \text{ rad/s}$.
- Para $13 \leq t \leq 23 \text{ s}$, tomar $\omega_l = 3 \text{ rad/s}$ y $\omega_r = 1 \text{ rad/s}$.

Los demás parámetros del modelo cinemático permanecieron constantes ($\alpha_l = 1$, $\alpha_r = 1$, $x_{ICRI} = 200 \text{ mm}$, $y_{ICRI} = 0$) y su magnitud se definió considerando el modelo ideal (robot diferencial),

donde no existe deslizamiento ni desperfectos como desalineación en las ruedas. Al variar x_{ICRI} desde el valor ideal (-200 mm para el robot diferencial) a otros valores (-300 mm , -400 mm y -500 mm), se espera estudiar el efecto existente sobre el desplazamiento del robot al considerar el deslizamiento solo de las ruedas del lado izquierdo.

La Figura 6 muestra los resultados obtenidos en este análisis. En la medida que el x_{ICRI} se aleja del valor ideal, el robot se desvía de la trayectoria que debería describir para la tarea dada (ver Figura 6a) y el error de posición (e) se hace mayor (ver Figura 6b). Esto se debe a que la velocidad angular del robot $|\omega_z|$ tiende a disminuir durante los períodos de rotación de la tarea ($0 \leq t < 5 \text{ s}$ y $13 \leq t \leq 23 \text{ s}$) en la medida que el x_{ICRI} se aleja del valor ideal (ver Figura 6d); es decir, el móvil va perdiendo la capacidad de direccionarse (girar) a medida que el x_{ICRI} se aleja del origen del sistema de coordenadas

local. Por último, se encontró que el efecto de este parámetro sobre la velocidad de avance (v_y) y velocidad angular del móvil (ω_z), solo existe durante el desplazamiento del robot con rotación

(ver Figuras 6c y 6d). En este caso, se determinó que mientras más alejado esté x_{ICRI} del valor ideal, se producirán mayores variaciones en v_y y ω_z respecto al valor ideal.

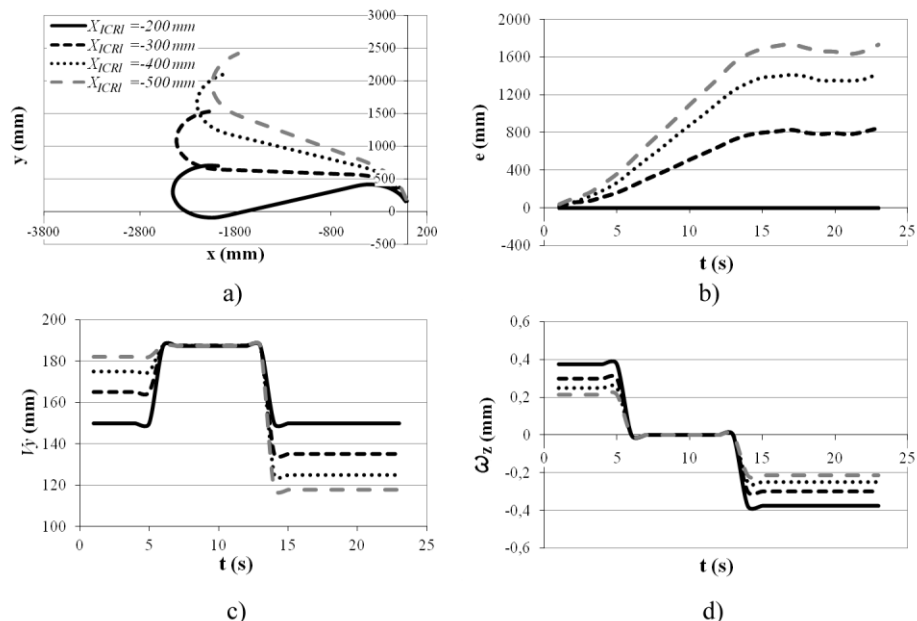


Figura 6. Análisis de sensibilidad del parámetro x_{ICRI} realizado con el simulador. a) Trayectorias seguidas por el robot; b) error de posición respecto del modelo cinemático ideal (diferencial); c) V_y y d) ω_z .

DISCUSIÓN

Establecer comparaciones del simulador desarrollado respecto de otros simuladores para robots *Skid Steer* es difícil puesto que no abundan trabajos de este tipo. Al respecto, solo se encontró el trabajo presentado por García y Martínez (2012), donde se desarrolló un simulador de un robot de orugas realizado en Matlab, en el cual el usuario podía programar tareas para el robot que incluían actuaciones dadas las velocidades angulares de la oruga o dadas trayectorias rectas o circulares bajo un modelo cinemático análogo al de un robot diferencial. El simulador propuesto en este trabajo ofrece un avance sustancial; ya que; utiliza un modelo cinemático apropiado para los robots *SkidSteer*, además de permitir (para algunas tareas) la variación en tiempo real de los parámetros de entrada para verificar el efecto de los mismos sobre el desplazamiento del robot.

Estas características hacen de este simulador una herramienta útil para que los estudiantes de robótica móvil puedan analizar y comprender los parámetros que influyen en el desplazamiento de robots *Skid Steer* sobre terrenos horizontales duros; ya que, por el deslizamiento presente en ellos, no es fácil comprender cómo ciertos factores (incluidos en el modelo cinemático utilizado) pueden influir en que el robot pueda seguir una trayectoria de manera eficiente o realizar alguna tarea relacionada.

CONCLUSIONES

Se presentó, en este trabajo, un simulador para estudiar con fines didácticos el modelo cinemático de los robots *Skid Steer*. Se describió su funcionalidad y se encontró que es una herramienta útil para entender el efecto de los parámetros pertenecientes al modelo cinemático implementado sobre el desplazamiento de estos robots en terrenos horizontales duros.

Los trabajos futuros están asociados a la adición de nuevas tareas al simulador que contribuyan a estudiar el funcionamiento cinemático de este tipo de robots. Además, se espera mejorar el módulo de representación de trayectorias para visualizar no solo las trayectorias descritas, sino la evolución en el tiempo de cualquier parámetro presente en el modelo cinemático que se desee estudiar después de efectuar alguna simulación.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido financiado por el Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira bajo el proyecto No. 01-025-2016.

REFERENCIAS

- Boehm, B. (1988). A spiral model of software development and enhancement. *Computer*, 21 (5), 61 - 72.
- Casper, J., & Murphy, R. (2003). Human – robot interactions during the robot-assisted urban search and rescue response at the World Trade Center. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 33 (3), 367-385.
- Cholewinski, M., Mazur, A., & Domski, W. (2016). Preliminary experimental results of factitious force method implementation for the mobile platform REX. *21st International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics*, (págs. 363-368). Miedzyzdroje.
- Feng, Q., Wang, X., Zheng, W., Qiu, Q., & Jiang, K. (2012). New strawberry harvesting robot for elevated-trough culture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 5 (2), 1-8.
- García, J., & Martínez, J. L. (2012). Desarrollo de un simulador en Matlab para la enseñanza de la cinemática de robots móviles y manipuladores. *VII Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica*, (págs. 1-9). Cusco.
- García, J., Medina, I., Martínez, J., García-Cerezo, A., Linares, A., & Porras, C. (2017). Lázaros: Robot Móvil dotado de Brazo para Contacto con el Suelo. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 14 (1), 174–183.
- González, R., Rodríguez, F., & Guzmán, J. (2015). Robots Móviles con Orugas Historia, Modelado, Localización y Control. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 12 (1), 3-12.
- Guarnieri, M., Kurazume, R., Masuda, H., Inoh, T., Takita, K., Debenest, P., y otros. (2009). Helios system: a team of tracked robots for special urban search and rescue operations. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (págs. 2795-2800). St. Louis.
- Inotsume, H., Sutoh, M., Nagaoka, K., Nagatani, K., & Yoshida, K. (2013). Modeling, Analysis, and Control of an Actively Reconfigurable Planetary Rover for Traversing Slopes Covered with Loose Soil. *Journal of Field Robotics*, 30 (6), 875–896.
- Li, W., Gao, H., Yang, H., Li, N., Ding, L., & Deng, Z. (2014). A Method to Online Estimate Wheel's Slippage for Planetary Rover. *11th World Congress on Intelligent Control and Automation*, (págs. 2469-2474). Shenyang.
- Mandow, A., Martínez, J. L., Morales, J., Blanco, J., García-Cerezo, A., & González, J. (2007). Experimental kinematics for wheeled skid-steer mobile robots. *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (págs. 1222-1227). San Diego, USA.
- Martínez, J. L., Mandow, A., Morales, J., Pedraza, S., & García-Cerezo, A. (2005). Approximating kinematics for tracked mobile robots. *The international Journal of Robotics Research*, 24 (10), 867-878.
- Mohammadpour, E., & Naraghi, M. (2012). Robust Adaptive Stabilization of Skid Steer Wheeled Mobile Robots Considering Slipping Effects. *Advanced Robotics*, 25 (1), 205–227.

- Nakano, H., & Hirose, S. (2012). Crank-wheel: A Brand New Mobile Base for Field Robots. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (págs. 4608-4613). Vilamoura.
- Ollero, A. (2007). *Robótica. Manipuladores y robots móviles*. Barcelona: Marcombo, ediciones técnicas.
- Pérez, W., Zambrano, A., Gil, A., & Collado, Y. (2011). Herramienta de simulacion 3D de sistemas Multi-robots compuestos por manipuladores o robots móviles. *V Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y III de Ingeniería Mecatrónica*, (págs. 1-9). Bogotá.
- Reina, G., & Galati, R. (2016). Slip-based terrain estimation with a skid-steer vehicle. *Vehicle Systems Dynamics*, 54 (10), 1384-1404.
- Suzuki, S., Hasegawa, S., & Okugawa, M. (2013). Warning system for crawler-type mobile robot with passive sub-crawler. *IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*, (págs. 1-6). Linkoping.

MAQUETA SMART CITY CON FINES ACADÉMICOS

SCALE-MODEL OF A SMART CITY FOR ACADEMIC PURPOSES

AUTORES:

Contreras, César¹; Molina, José²; Díaz María³

¹PROFEI, Decanato de Investigación, Universidad Nacional Experimental del Táchira.

²Decanato de Extensión, Universidad Nacional Experimental del Táchira.

³Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Corresponding Author:

ccontre@unet.edu.ve

Palabras clave: Smart City, HMI-InTouch®, PLC-TWIDO.

Key words: Smart Cities, HMI-InTouch®, PLC-TWIDO.

RESUMEN

Actualmente en Venezuela existe una crisis en la prestación de los servicios básicos que no permite el desarrollo de las ciudades. Sin embargo, las tecnologías de la información pueden transformar las ciudades convencionales en Smart Cities o „ciudades inteligentes” y mejorar la calidad de vida. Estas consisten en dispositivos y procesos que pueden comunicarse, configurarse y cooperar entre sí y que ofrecen información a las autoridades para planificar, gestionar y tomar decisiones. En Venezuela poco se sabe de las Smart-Cities y no existe algún servicio público instalado con el cual experimentar y hacer estudios de mejores diseños, compatibles con nuestra realidad. Por lo tanto, lo factible es desarrollar maquetas que permitan estudiar y enseñar las tecnologías involucradas y cómo implementarlas. Por estas razones, y a partir de los principios teóricos de las Smart-Cities, se desarrolló esta investigación, que describe los pasos para la construcción de una maqueta con sensores y actuadores que representan los servicios públicos a gestionar, y la programación y configuración de un PLC TWIDO de Schneider usando Twido Suite para adquirir los datos y enviarlos vía conexión inalámbrica Wifi a la interfaz humano-máquina, diseñada y desarrollada en Wonderware-InTouch®, la cual consiste de paneles de visualización con los cuales se puede acceder a los diferentes servicios y donde se ejecutan los algoritmos de control. Usando como ejemplo un área de la ciudad de San Cristóbal, estado Táchira, se hicieron pruebas de funcionamiento que permitieron optimizar los sistemas y, mediante la presentación a un público experto, se valoró el potencial para su divulgación. Las herramientas de hardware y software empleadas en el proyecto permiten concluir que en el contexto venezolano se cuenta con la tecnología idónea para la implementación de plataformas conducentes al desarrollo de un espacio telemático que desencadene en Smart Cities.

ABSTRACT

Technological development and the use of information technologies can transform conventional cities into smart cities, enabling them to improve their citizens' quality of life. Currently, in Venezuela there is a crisis in the provision of basic services that does not allow a sustainable development of their cities. Therefore, it is necessary to search for new designs of devices and processes that can communicate, configure and cooperate with each other and provide basic information to city authorities to plan, manage and make decisions. In Venezuela there is no public service installed with which you can experiment and make studies of better designs compatible with our reality and make known the Smart Cities, therefore; the most viable is to develop models that allow to study and teach the technologies involved and how these are implemented in the Smart cities. For these reasons, and from the theoretical principles of the Smart Cities, it was developed this research that describes the steps for the construction of a model with sensors and actors that represent the public services to manage and the programming and configuration of a Schneider TWIDO PLC using Twido Suite, to acquire the data of the sensors and to send them via wireless WiFi connection to the human-machine interface (HMI), designed and developed in Wonderware In Touch ®. This consists of a Set of display panels through which you can access the different services and where the control algorithms are run. Using as an example an area of the city of San Cristóbal, Táchira State, Venezuela, there were tests of functioning that allowed to optimize the systems, and through the presentation to a group of people, it was valued the potential for the disclosure and understanding of smart cities. The tools of both hardware and software used in the development of the project allow us to conclude that in the Venezuelan context it has the ideal technology for the implementation of platforms conducive to the development of a telematics space that could become in smart cities.

Recibido: 13/04/2018 Aprobado: 16/07/2018 Versión Final: 06/09/2018

INTRODUCCIÓN

Las llamadas ciudades inteligentes o Smart Cities son el nuevo paradigma que permite avanzar en el uso de las tecnologías para mejorar la calidad de vida y asegurar un desarrollo económicamente sostenible y comprometido con el entorno (Ruiz, 2016).

Actualmente es frecuente un sinnúmero de preguntas como: ¿cuándo pasará el aseo urbano?, ¿dónde y cuáles son las paradas y rutas del autobús?, ¿cómo evitar el congestionamiento vehicular en las calles o avenidas?, ¿cómo puede el ciudadano participar y contribuir con las mejoras de la ciudad? Son algunas de las miles de interrogantes que diariamente se hacen los habitantes de una ciudad, municipio, región o localidad; pero ¿cómo se pueden solucionar todos estos problemas?, ¿cómo lograr que sus habitantes tengan una mejor calidad de vida? (Gutiérrez Sánchez *et al.*, 2012).

Una ciudad inteligente permite consumir menos energía, disminuir las emisiones de CO₂ y disfrutar de una ciudad menos contaminada, lo que la hace muy relevante tanto en lo científico como en lo social. Se dice que las ciudades inteligentes se basan en las tecnologías de información y comunicación, así como en el intercambio inteligente de datos (Cabrera Bejar, 2012).

Bajo esta premisa, resulta impensable que en países en vías de desarrollo no se cuente con entornos que respondan a cánones de sustentabilidad, inclusivos e interconectados. Por lo tanto, en esta investigación se intenta responder un conjunto de preguntas, como: ¿se puede tener una ciudad de este tipo en Venezuela?, ¿qué implicaría?, ¿serían necesarias grandes inversiones, impensables en nuestra economía?, y además, ¿son ciudades creadas desde cero?

No es una tarea fácil y ciertamente representa un gran esfuerzo, tanto para gobiernos nacionales y locales, como para la empresa privada y los propios ciudadanos; pero los beneficios que representa esta evolución tanto en el plano económico como en el social y cultural son tan significativos que vale la pena aceptar el reto

(ALTAG.NET, 2016). Ante esta realidad, mediante la innovación de procesos, se desarrolló una maqueta con sensores y actuadores que representan servicios públicos tales como seguridad, alumbrado, transporte, semaforización, aseo urbano y participación ciudadana. La maqueta consta de un PLC, modelo TWIDO, de la marca Schneider, el cual fue programado y configurado en Twido Suite.

Este adquiere los datos enviados a través de una conexión inalámbrica wifi a la interfaz humano-máquina (IHM), diseñada y desarrollada con el programa Wonderware, de la marca InTouch®, para funcionar en un computador personal. El IHM es un conjunto de pantallas de monitoreo que permite tener acceso a los diferentes servicios y donde se ejecutan los algoritmos de control de los servicios. Para la validación y como ejemplo de prueba, se utilizó para emular los servicios públicos de una zona de Barrio Obrero, de la ciudad de San Cristóbal, estado Táchira (Venezuela).

ETAPA DE DISEÑO

A continuación, se describen las etapas a través de las cuales se fue ejecutando el proyecto y que pueden ser replicadas en microentornos y macroentornos.

Selección de los servicios a gestionar

Para definir los servicios se realizaron encuestas no estructuradas a arquitectos e ingenieros especialistas en urbanismo unos y otros en tecnologías de información y comunicación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), la Universidad Politécnica de Catalunya (España), y una revisión bibliográfica. Seguidamente, la muestra de cantidad y tipo de servicios a gestionar se obtuvo por medio de una selección no probabilística aleatoria intencional en una zona urbana de la capital del estado Táchira, San Cristóbal, específicamente el Barrio Obrero, por ser la zona más comercial de la ciudad. Se caracterizaron y catalogaron en la misma los servicios ausentes, en funcionamiento, prioritarios y urgentes.

De la lista diseñada, los servicios seleccionados e implementados fueron:

1. **Seguridad:** consta de cámaras de seguridad para mayor control de las eventualidades presentadas en la ciudad, tales como robos, accidentes, incendios, incumplimiento de normas, etc.
2. **Iluminación:** se basa en controlar el encendido y apagado del alumbrado público, el cual se implementó a través de un PLC, en un horario preestablecido de la siguiente forma: apagado de 6:00 a. m. a 6:00 p. m., y encendido de 6:00 p. m. a 6:00 a. m. Consta de 36 postes de alumbrado público, los cuales deberían ir ubicados a una distancia de 10 m de las esquinas y a una separación de 20 m entre cada poste.
3. **Transporte público:** el objetivo es brindar al ciudadano la información de las rutas urbanas que funcionan en esa zona, como lugar de destino, trayecto y horario. Para ello, se cuenta con 17 paradas de autobús ubicadas aproximadamente entre 400 m y 800 m de distancia entre sí. El sistema funciona a través de mensajes de texto con la información requerida por el usuario.
4. **Tráfico:** el propósito es controlar el sistema de encendido de los semáforos, para evitar el congestionamiento vehicular y lograr una movilización más fluida en las horas de mayor tráfico en la ciudad. El sistema se implementó a través de un PLC. Cuenta con 18 semáforos y un total de 54 luces, ubicados estratégicamente en las diferentes esquinas de la zona elegida, para controlar el tráfico vehicular.
5. **Aseo urbano:** se basa en brindar un buen servicio de recolección de desechos, para evitar el mal olor en las calles y la contaminación. El sistema está compuesto por 16 contenedores de basura, situados en cada una de las manzanas de la zona. En la maqueta se usaron 16 pulsadores, uno para cada contenedor, para señalar si el contenedor está lleno o vacío.
6. **Participación ciudadana:** ofrece al ciudadano la oportunidad de ser escuchado ante la falla o mal funcionamiento de un servicio. A través de un código el ciudadano

envía un mensaje especificando cuál es su inquietud o queja para que sean solucionadas a tiempo.

Es preciso indicar que en cada servicio a los elementos que se desea controlar se les asignaron variables de salida, compuestas por indicadores que activan los leds, ya sea iluminación, paradas de autobús o luces de semáforos, y a los elementos que se desea medir o monitorear, variables de entrada implementadas con pulsadores. La descripción de las direcciones y las variables se pueden observar en la sección de resultados y pruebas, donde se explica el funcionamiento de cada servicio.

Diseño de los paneles de monitoreo de cada servicio

El InTouch10.0 es un componente de Wonderware Factory Suite para diseñar aplicaciones de visualización, control y supervisión o IHM, bajo el sistema operativo Microsoft Windows.

Esta herramienta de software fue usada para el desarrollo de las aplicaciones del centro de control y supervisión, ya que aprovecha las características de Microsoft Windows, incluyendo los controles ActiveX, OLE, gráficos, redes de computadoras, entre otros, y puede extenderse agregando controles ActiveX personalizados, wizards, objetos genéricos y creando extensiones de InTouch Quick Script. InTouch consta de tres programas: InTouch Application Manager, Window Maker y Window Viewer (Ramírez, 2012; Wonderware InTouch HMI Solutions, 2016).

Los paneles de monitoreo desarrollados en In Touch permiten visualizar los servicios de aseo, iluminación, tránsito y transporte público. El panel principal consiste de un mapa de las 16 manzanas que van desde las calles 11, 12 y pasaje Acueducto hasta las carreras 20 a la 22, las cuales van perpendiculares a las calles, alrededor de la plaza de los Mangos, del sector Barrio Obrero, parte alta de la ciudad de San Cristóbal.

Sobre este mapa se ubicaron dispositivos gráficos y luces que muestran cada uno de los

servicios a medida que se van seleccionando en el menú, como se muestra en la figura 1.

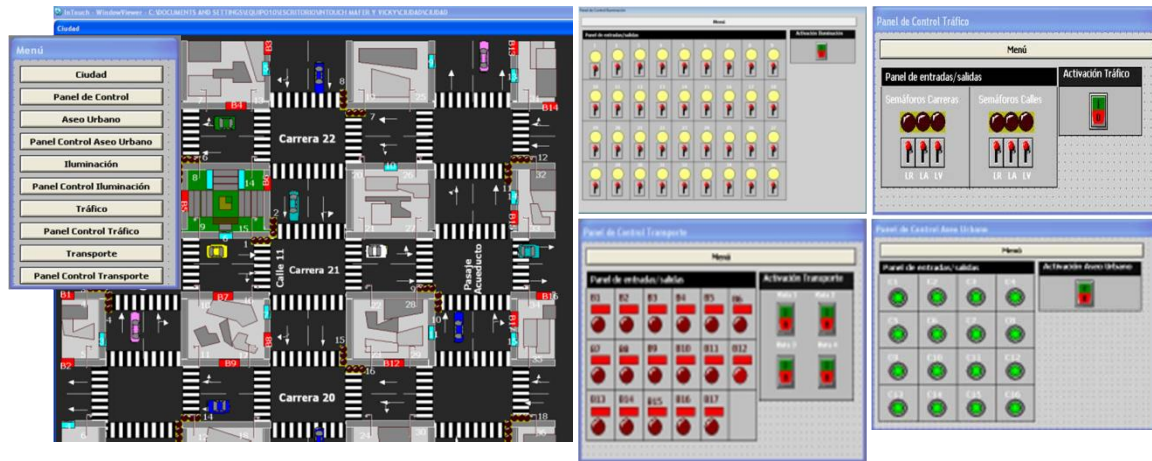


Figura 1. Paneles de monitoreo y control editados en In Touch: iluminación, transporte público, tráfico y aseo urbano.

Programación del PLC Twido y verificación de su funcionamiento

Para poner en funcionamiento los programas de control de cada servicio que también corresponde con cada panel de visualización, se utilizó el PLC TWDLCAE40DRF de Schneider. Primero, se diseñaron los controles con GRAFCET, el cual consiste en un lenguaje gráfico que representa en forma de diagrama las secuencias de etapa y transición de un programa (Autómatas Industriales, 2006) y luego codificados y descargados al PLC usando Twido Suite (Escalante, 2015; Manual Twido Suite, 2008).

En la figura 2 se presenta como ejemplo la programación del servicio de iluminación pública; en esta se puede observar a la izquierda la programación en GRAFCET: etapa 1, que es un estado de espera con dos opciones; etapa 2, apagar las luces, o etapa 3, encender las luces, y en cualquiera de estos dos estados se puede regresar al estado de espera. Las instrucciones se codificaron usando la técnica de etapa-transición con acciones que se asocian a cada etapa, como se muestra al lado derecho para el caso del proceso de iluminación.

Servicio de mensajería para el transporte público

Este servicio consiste en brindar al ciudadano información de las rutas, su destino, trayecto y horario. Consta de 17 paradas de autobús. Los usuarios deben enviar un mensaje con el siguiente modelo: “@ruta X”, donde @ruta se usa para invocar la palabra clave en la plataforma, seguido de espacio y el número de la ruta (X) como parámetro (del 1 al 4, ya que solo se manejaron 4 rutas). Para la implementación de este servicio se optó por la plataforma “041x.com”, debido a que es una plataforma diseñada y desarrollada por profesionales venezolanos para automatizar el envío de mensajes de texto a celulares en Venezuela.

Está construida con una arquitectura distribuida, donde los canales de procesamiento y envío de mensajes son conformados por módems GSM de bajo costo, pero agrupados en nodos colocados en diferentes ubicaciones geográficas y usando servicios de telecomunicaciones de diferentes proveedores, apoyados en esa diversidad para brindar un servicio de alta disponibilidad en el accidentado ambiente de comunicaciones de nuestro país.

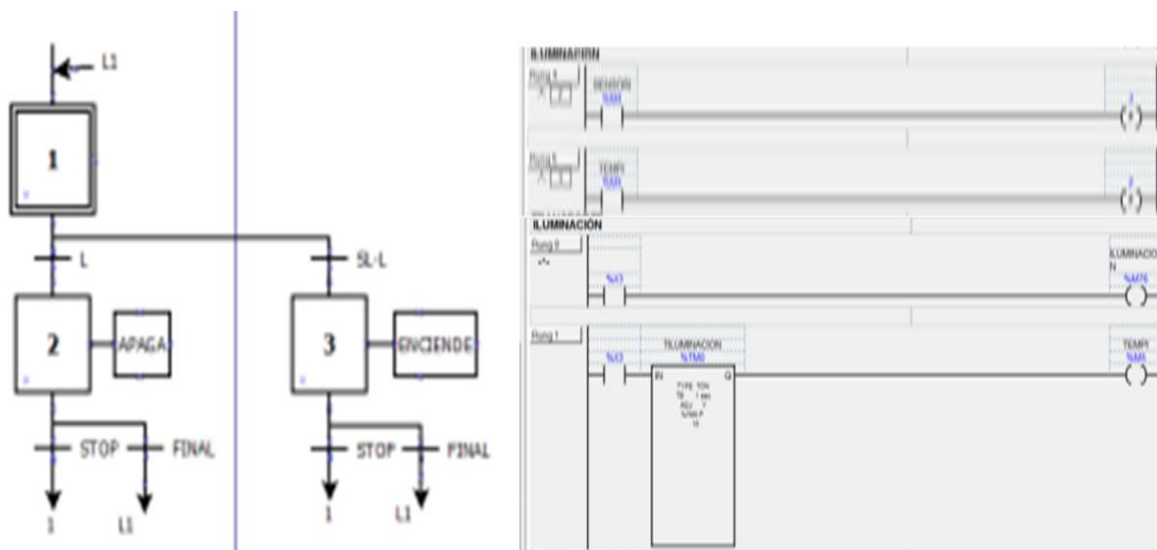


Figura 2. Programación en Grafset y su codificación en etapas-transiciones para iluminación.

La arquitectura de la plataforma consiste en un conjunto de nodos que agrupan canales por ubicación geográfica (usualmente un nodo tiene de 4 a 12 canales diferentes) y un servidor de gestión maestra que se encarga de procesar las solicitudes de envío y recibir y archivar o disparar eventos en base a las respuestas recibidas desde los canales y nodos.

También se ha implementado un proceso especial de monitoreo de la plataforma a fin de automatizar el control y planificar las acciones de mantenimiento. Esto permite que el mantenimiento se limite a unos pocos programados al año y a la resolución de eventos específicos notificados por el sistema a la persona encargada de guardia.

Al crearse una cuenta en la plataforma se crea además una palabra clave reservada con ese mismo nombre de usuario en la plataforma; en este caso el usuario "ruta" tiene la palabra reservada "@ruta". En cualquier momento que

uno de los números recibe la palabra "@ruta" en el contenido de uno de los mensajes el sistema realiza 3 acciones: a) envía un correo electrónico a la cuenta de correo asignada a ese cliente; b) lista el mensaje recibido en la sección de mensajes entrantes del dashboard de nuestros clientes; y c) si lo tiene configurado hace una llamada a una dirección web especificada por el cliente pasando los datos de número remitente, mensaje, fecha y hora de recepción.

Este último paso es el que permite crear un script en PHP y hospedarlo en algún servidor web. De tal forma que, si se recibe el mensaje con la palabra @ruta, el servidor verifica si tiene algún número adicional en el mensaje y, si ese número existe (si es 1, 2, 3 o 4), realiza un encolado de un mensaje de respuesta con la información deseada.

En la figura 3 se observa la secuencia del envío de la mensajería de texto del servicio para el caso anteriormente descrito.

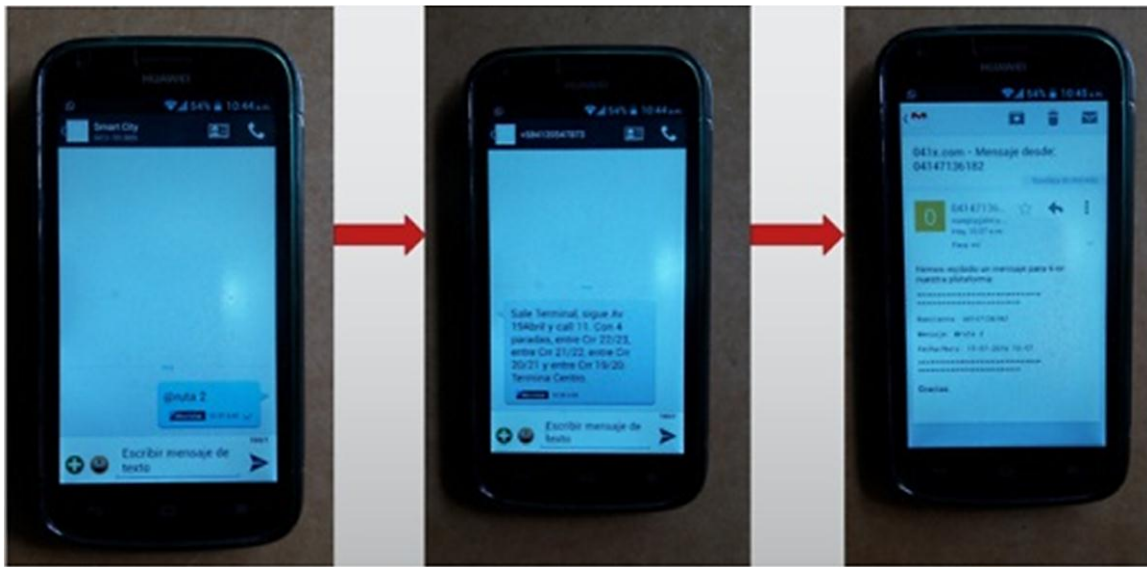


Figura 3. Imagen de la secuencia de servicio de mensajería.

RESULTADOS Y PRUEBAS

A continuación, se describe el procedimiento para la construcción de la maqueta que sirvió de prueba del sistema desarrollado.

Construcción de la maqueta de una zona de la ciudad

Se diseñó en AutoCAD de Autodesk el plano de las carreras 20, 21 y 22, calles 11, 12 y pasaje Acueducto del sector Barrio Obrero de la ciudad de San Cristóbal, abarcando los alrededores de la plaza los Mangos (Loján, 2010).

Después de hacer la simulación en Autocad, se procedió a realizar el plano de la maqueta en físico en lámina de papel bond, a escala 1:100, como se ve en la fotografía de la izquierda de la figura 4.

En el plano se aprecian 16 cuadras, en las cuales se ubicaron 18 semáforos, 16 contenedores de basura, 17 paradas de bus y 36 postes de luz. Para los semáforos, paradas de bus y postes de luz se utilizaron LEDs rojos, verdes y amarillos; y para los contenedores de basura se utilizaron pulsadores conectados a una fuente DC de 24V.

Como se observa en la fotografía, el plano fue colocado en una base metálica movable con

madera MDF, permitiendo que por la parte de atrás se puedan hacer todas las conexiones al PLC como se aprecia en la fotografía del lado derecho de la figura 4.

Para unir y conectar todo el cableado se construyeron tarjetas de circuitos electrónicos en baquelita; estos circuitos están compuestos por resistencias pulldown, que sirven de adaptación de niveles de voltaje entre el PLC y los circuitos TTL, inversores (74LS04) y latch (DM74LS373N) (CIRCUITO 74373 TTL, 2012; Tutorial circuito integrado 7404, 2012).

Las señales que parten del PLC son 8 bits de data más 3 señales para la habilitación de los latch; cada una de ellas tiene conectada una resistencia pulldown de 100ohm a tierra.

El primer latch controla los semáforos y los otros dos controlan la iluminación y las paradas de autobús. Las salidas de los latch llevan una resistencia en serie de 100 ohm a cada uno de los leds.

A las entradas del PLC llegan las señales de los pulsadores de los contenedores de basura, ya que estos trabajan con un nivel de voltaje de 24V.

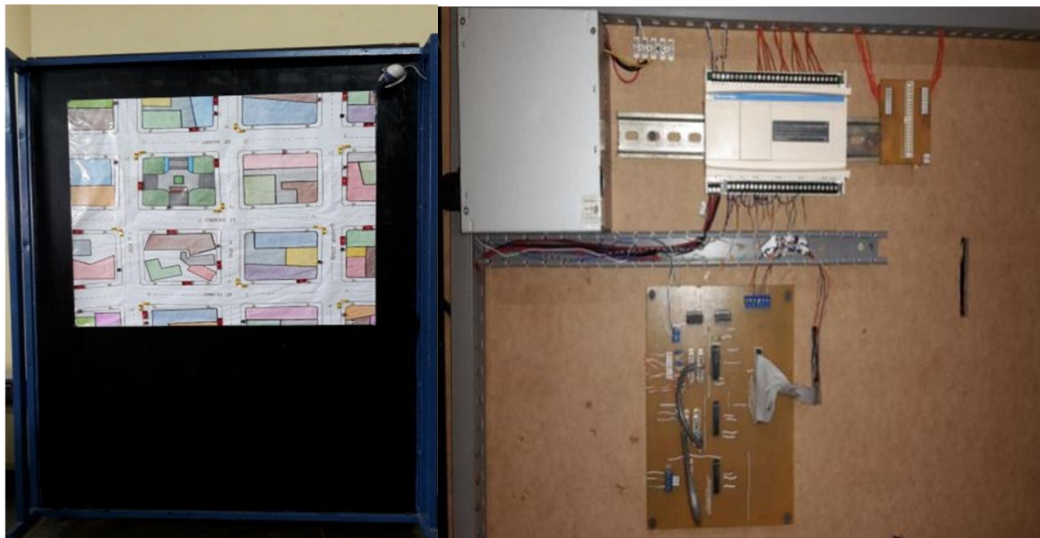


Figura 4. Imágenes fotográficas: a) Plano con los componentes sobre una estructura de madera, b) Parte de atrás de la estructura con la vista de las conexiones al PLC.

En la tabla 1 se codificó la lógica para realizar la operación de las señales de los semáforos, donde el semáforo 1 (V1, A1, R1) es el semáforo de las calles y el semáforo 2 (V2, A2, R2) es el de las carreras; esto implica una sincronización por hardware de los semáforos de las carreras y de las calles. Se decidió

hacerlo de esta forma, debido al limitado espacio físico en la maqueta y además para reducir costo de materiales; sin embargo, en la realidad esta sincronización se hace por medio del software y se lleva a cabo a través de los dispositivos de comunicación de los controles de cada esquina.

Tabla 1. Código de los semáforos.

O0	O1	V1	A1	R1	V2	A2	R2
0	0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	1
1	1	0	0	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0	1	0

Integración del sistema desarrollado y verificación del funcionamiento

Al integrar todos los componentes del sistema se procedió a verificar el funcionamiento de cada etapa del mismo. Primero, la conexión entre los leds y las tarjetas, luego las tarjetas con el PLC TWDLCAE40DRF, y por último el sistema

completo con el programa del PLC y los paneles de monitoreo en In Touch de Wonderware.

En la figura 6 puede observarse un esquema de la integración de los servicios del sistema, a través de las diferentes etapas, comenzando de izquierda a derecha con los paneles de monitoreo en la IHM de Wonderware InTouch®, seguido

de la conexión entre la PC y el PLC, que se hace a través del router wifi; finalmente, con los sensores y actuadores de la maqueta de la zona de la ciudad a través de la tarjeta de acondicionamiento de las señales (Vergara Cabañero, 2013). Este prototipo permite

observar la IHM y el sector al mismo tiempo, lo que lo hace una herramienta para la evaluación y valoración a escala de los detalles y requerimientos tecnológicos y logísticos para la implementación de las tecnologías en una ciudad.

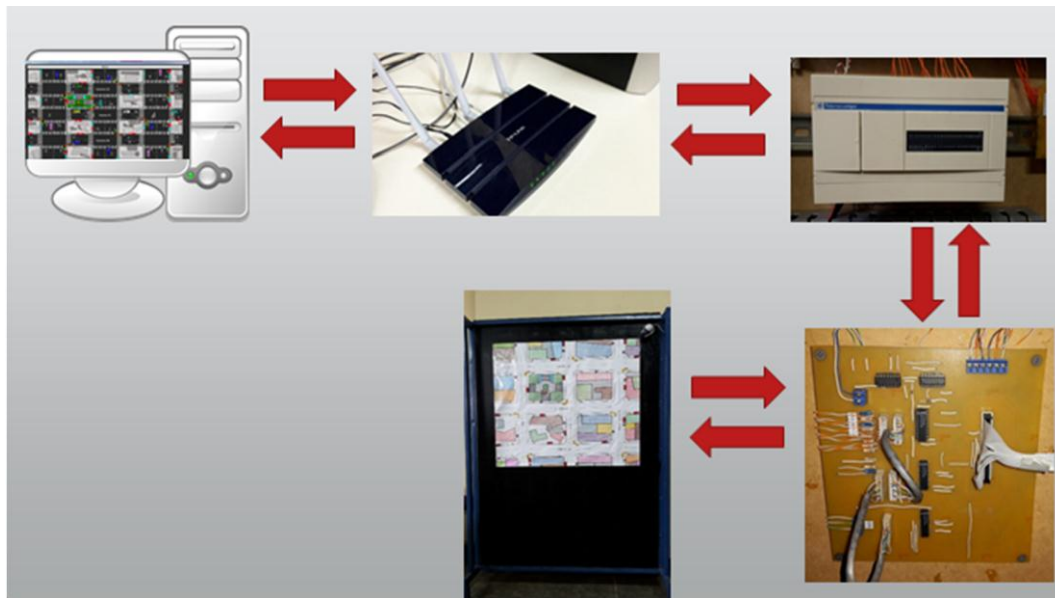


Figura 6. Integración de todo el sistema.

CONCLUSIONES

A partir de la opinión de diferentes especialistas entrevistados para esta investigación quedó evidente que, desde el punto de vista de políticas públicas, para tener éxito es necesario asumir las Smart Cities como una oportunidad para el desarrollo social y no como una moda, y que además son las políticas más que la tecnología el freno para la implementación de los servicios públicos inteligentes.

Las Smart Cities son posibles con la tecnología y los profesionales con que contamos en Venezuela, ya que en esta investigación se usaron materiales, equipos y herramientas conocidas y utilizadas normalmente en procesos tanto de producción, como es el caso del PLC o comunicaciones como el router, a los cuales profesionales locales les dieron otra aplicación; como el monitoreo de servicios públicos. Por lo tanto, la viabilidad financiera se puede lograr si

se aplican los pasos descritos en esta investigación por servicio público y de forma escalada, ya que de esta forma implicaría que los proyectos se puedan adaptar al uso progresivo de los recursos financieros con que se cuenten.

La construcción de la maqueta permitió visualizar toda la comunicación y la transferencia de datos entre el PLC y el In Touch. La aplicación se comunica vía ETHERNET inalámbrico con el PLC TWIDO que opera el prototipo de ciudad. Este desarrollo permitió probar que estas plataformas se pueden operar intuitivamente debido a la fácil asociación con los servicios públicos.

EL hecho de usarse ETHERNET demostró la viabilidad técnica de esta plataforma de comunicación que por demás es la más usada y disponible en las ciudades hoy en día. Con el diseño del proceso de gestión se logra un aporte para la solución de la problemática general de los servicios y es un gran avance tecnológico

para la construcción y desarrollo de ciudades inteligentes en Venezuela. Finalmente, queda establecido que las fases de desarrollo aquí descritas son un marco de referencia para llevar a cabo con éxito una plataforma tecnológica para una ciudad inteligente.

REFERENCIAS

- ALTAG.NET. (2016). Así serán las ciudades inteligentes. Consultado en: <http://www.altag.net/asi-seran-las-ciudades-inteligentes/>
- Autómatas Industriales. (2006). Introducción al estándar IEC 1131-3. Consultado en: <http://www.automatas.org/software.htm>
- Cabrera Bejar, O. (2012). Infraestructuras que dan soporte a ciudades inteligentes. II Simposio de Becarios y Ex Becarios del CONACyT (edición europea). Estrasburgo (Francia), 29 y 30 de noviembre de 2012, Parlamento Europeo. Consultado en: http://www.mufm.fr/sites/mufm.univ-toulouse.fr/files/evenement/symposium/ponenci as/oscar_jair_cabrera_bejar.pdf
- CIRCUITO 74373 TTL. (2012). [Blog] Electrónica: teoría y práctica. Consultado en: <http://electronica-teoriaypractica.com/circuito-74373-ttl/>
- Escalante, L. (2015). Procesos industriales virtuales controlados con un PLC Schneider Twido TWDLCAE40DRF, para el laboratorio de proyectos de sistemas de control de la UNET. San Cristóbal: UNET.
- Gutiérrez Sánchez, A., Moreno Herrera, L. (2012). Ciudades inteligentes: oportunidades para generar soluciones sostenibles. Estudios sectoriales, Cintel proyectos TIC innovadores. Bogotá Colombia: CINTEL. Consultado en: http://cintel.org.co/wp-content/uploads/2013/05/01.Ciudades_Inteligentes_CINTEL.pdf
- Loján, J. (2010). Manual de Autocad 2D y 3D. 1ra. ed. [ebook], Venezuela: Universidad de Oriente. Consultado en: http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2015-04-25_01-17-11120379.pdf
- Manual Twido Suite. (2008). Instituto Schneider Electric de Formación. Disponible en: http://www.equiposdidacticos.com/pdf/catalogos/Manual_Twido.pdf
- Ramírez, A. (2012). Desarrollo de una plataforma de integración industrial basada en sistemas abiertos para el Laboratorio de Automatización de la UNET. San Cristóbal: Instituto Universitario de Tecnología, región Los Andes.
- Ruiz, K. (2016). Smart City. [Blog] Proyectos Electrónicos CETI. Consultado en: <http://ppeceti.blogspot.com/2014/05/smart-city-las-ciudades-tienen-un-gran.html>
- Tutorial circuito integrado 7404. (2012). [Blog] Kit Electrónica Proyectos y Experimentos. Consultado en: <http://www.kitelectronica.com/2016/02/tutorial-circuito-integrado-7404.html>
- Vergara Cabañero, M. (2013). Redes de comunicaciones en Smart Cities. Trabajo de maestría. España: Escuela Superior de Ingeniería Informática, Universidad de Castilla-La Mancha.
- Wonderware InTouch HMI Solutions. (2016). Wonderware Spain. Consultado en: <http://www.wonderware.es/intouch-hmi-solution>

METAHEURÍSTICA HÍBRIDA ENTRE FIREFLY ALGORITHM Y HARMONY SEARCH PARA ENTONACIÓN DE CONTROLADOR PID

PID CONTROLLER TUNING BASED ON HYBRID METAHEURISTIC BETWEEN FIREFLY ALGORITHM AND HARMONY SEARCH

AUTORES:

Aspée, Catherine¹; Amaya, Jhon²

¹Departamento de Ingeniería Electrónica. UNET, Venezuela.

²Laboratorio de Computación de Alto Rendimiento. UNET, Venezuela.

Corresponding Author:

catherine.aspee@unet.edu.ve

Palabras clave: Metaheurística híbrida, entonación control PID, Firefly Algorithm, Harmony Search.

Key words: Hybrid metaheuristic, PID tuning, Firefly Algorithm, Harmony Search.

RESUMEN

La entonación de un controlador PID ha sido un campo de investigación activo por mucho tiempo, durante el cual diversas técnicas computacionales han sido utilizadas, entre ellas las metaheurísticas. La investigación se centró en diseñar la metaheurística híbrida integradora FA/HS, tomando como base las metaheurísticas Firefly Algorithm y Harmony Search y comparar la eficiencia entre las metaheurísticas y la propuesta híbrida, para la entonación de un controlador PID en procesos lineales estables e inestables. Los algoritmos fueron implementados en Java, en conjunto con una GUI en MATLAB que permite configurar tanto los parámetros de cada metaheurística, como la función de transferencia del proceso a simular, así como el despliegue gráfico de la respuesta del sistema a los casos de prueba. Los resultados obtenidos, usando como índice de desempeño el error cuadrático medio (MSE), muestran que la metaheurística híbrida FA/HS desarrollada es admisible y que permite obtener una eficiencia al menos comparable con las metaheurísticas Firefly Algorithm y Harmony Search.

ABSTRACT

The tuning of a PID controller has been an active field of research for a long time. For years, diverse computing techniques have been used, among them meta-heuristics. This research focused on designing an integrative hybrid metaheuristic FA/HS, considering as foundations the firefly algorithm and Harmony Search. The study compared the efficiencies of pure and hybrid metaheuristics, for the purpose of tuning a PID controller in stable and unstable linear processes. The tuning algorithms were implemented using Java and a graphical user interface (GUI) was developed with MATLAB. The MATLAB GUI allows configuring the metaheuristics parameters, to define the process transfer function, and display the system responses. The results were evaluated using mean square error (MSE). The study results show that the integrative hybrid metaheuristic FA/HS is valid and allows obtaining levels of efficiency comparable to those of the Firefly Algorithm and Harmony Search.

INTRODUCCIÓN

El controlador proporcional, integral y derivativo (PID) es, sin lugar a dudas, el de mayor utilización en control en sistemas monovariantes y multivariantes (Colmenares et al., 2005). Para conseguir un comportamiento del sistema de control aceptable y robusto, en conformidad con algún criterio de desempeño establecido, es necesario realizar el ajuste de los parámetros de cada término del controlador PID. A este procedimiento, se le conoce como entonación del controlador. Dentro de las técnicas de entonación, se encuentran las clásicas como Ziegler-Nichols y las computacionales, también llamadas técnicas de optimización, entre las cuales están los algoritmos genéticos, enjambre de partículas entre otros (Gholap et al., 2017).

Para el ajuste de estos parámetros, se han realizado numerosos estudios de variadas técnicas de optimización, entre ellas el desarrollo de técnicas metaheurísticas (Velez, 2007). Los algoritmos metaheurísticos son procedimientos iterativos que guían una heurística subordinada, combinando de forma inteligente distintos conceptos para explorar y explotar adecuadamente el espacio de búsqueda. Son algoritmos aproximados de optimización y búsqueda de propósito general. Las técnicas metaheurísticas son capaces de proporcionar muy buenas soluciones (no necesariamente la óptima pero si aproximada) en tiempo y con recursos computacionales razonables.

Durante las dos últimas décadas, han existido dos tendencias en el desarrollo de las metaheurísticas: la primera, se refiere al desarrollo de un algoritmo inspirado en diferentes metáforas, y la segunda está relacionada con la hibridación de metaheurísticas (Yi, Duan, & Liao, 2013). En la primera tendencia, se pueden observar algunos algoritmos como *Harmony Search* (HS) --- basado en la improvisación musical---, *Firefly Algorithm* (FA) ---ideado al observar el comportamiento de las luciérnagas---, entre otros. Cabe destacar, que para la optimización de los parámetros de controladores PID han sido

implementadas algunas de ellas, con las metaheurísticas FA (Kumanan et al., 2013), HS (Dexuan et al., 2011) y CMA-ES (Estrategia de Evolución mediante Adaptación de la Matriz de Covarianza) (Wakasa et al., 2009).

El desarrollo de metaheurísticas híbridas nació dada la necesidad de aprovechar las mejores características de dos o más metaheurísticas a la vez (Raidl, 2006). Para la optimización continua, se han desarrollado algunas metaheurísticas híbridas, y específicamente en el campo de los controladores PID, por ejemplo, algoritmos genéticos y FA (Roeva & Slavov, 2013), enjambre de partículas y algoritmos genéticos (Wang et al., 2017).

Considerando el teorema del *No Free Lunch* (Wolpert, 1997), el cual establece que no puede haber una estrategia de optimización general que sea globalmente mejor que otra en todos los problemas de optimización, y tomando en cuenta las hibridaciones realizadas hasta ahora, entre metaheurísticas para la entonación de un controlador PID, resultaría novedoso comprobar la eficiencia de algún algoritmo híbrido que implique algunas metaheurísticas conocidas por sus capacidades de búsqueda global y local.

Dado el buen desempeño para optimización continua de algoritmos híbridos entre *Firefly Algorithm* y *Harmony Search*, según Tahershamsi (2014) y Guo (2013), la investigación se centró en implementar una metaheurística híbrida entre HS y FA para verificar su eficiencia como técnica en la entonación de los parámetros de un controlador PID, con respecto a algoritmos sin hibridación.

Firefly Algorithm

Firefly Algorithm (FA) es una metaheurística inspirada en el comportamiento de la luminosidad de las luciérnagas (Yang & He, 2013). Este algoritmo fue diseñado utilizando tres reglas como guía para el comportamiento de las luciérnagas (Subotic et al., 2012): todas las luciérnagas son del mismo sexo y son atraídas entre ellas; el atractivo está asociado con la intensidad de luz emitida por cada una; la

luminosidad de una luciérnaga está determinada por la distribución de la función objetivo. Estas

reglas, se pueden observar en el pseudocódigo en la Figura 1.

Pseudocódigo Firefly Algorithm

Requerimientos

- 1: Función objetivo $f(x)$ en cualquier dimensión.
- 2: Generar una población inicial de luciérnagas x_i , ($i=1,2,\dots,n$)
- 3: Intensidad de luz I_i en x_i determinada por $f(x)$
- 4: Se define γ y $numeroDeGeneraciones$

Pasos

```

5: while t < numDeGeneraciones do
6:   for i=1 to n luciérnagas do
7:     for j=1 to I do
8:       if  $I_j < I_i$  then
9:         Mover la luciérnaga I hacia j
10:        Variar el atractivo con la distancia r y la propiedad de
            absorción del ambiente  $\gamma$  a través de la función exponencial
11:        Evaluar nuevas soluciones, actualizar intensidad de luz
12:      end if
13:    end for
14:  end for
15: end while

```

Figura 1. Pseudocódigo de Firefly Algorithm.

Para poder explicar la atracción generada por una luciérnaga, se puede contemplar una función objetivo $f(x)$, la cual codifica la luminosidad de una luciérnaga dada. Entonces, se puede pensar en la intensidad de luz en una locación x como $I(x) = f(x)$. Pero hay problemas con respecto a la distancia y el punto de vista. La luminosidad, se percibe de manera diferente desde la fuente de los destellos y desde un punto lejano donde se observen los destellos. También hay que considerar la capacidad del medio de absorber la luz emitida por la luciérnaga, disminuyendo la intensidad de la luciérnaga observada (Subotic et al., 2012).

Se puede concluir que el atractivo de una luciérnaga β , el cual depende de la intensidad, es relativo. Se conoce que la intensidad de luz $I(r)$ varía de acuerdo al inverso del cuadrado de la distancia $I(r) = \frac{I_0}{r^2}$, donde I_0 es la intensidad en la fuente de emisión. Se agrega el coeficiente de absorción de luz γ a la ecuación, así como un 1 al denominador para evitar una singularidad en la fuente ($r=0$):

$$I(r) = \frac{I_0}{1+\gamma r^2} \quad (1)$$

Como se describió previamente, el atractivo es proporcional a la intensidad, así que puede describirse con la ecuación:

$$\beta(r) = \frac{\beta_0}{1+\gamma r^2} \quad (2)$$

El movimiento se basa en el principio de atractivo de las luciérnagas. Cuando la luciérnaga j es más atractiva que la i , se determina por la siguiente ecuación: (Krasnogor, 2005).

$$x_i = x_i + \beta \exp^{-\gamma r} (x_j - x_i) + \alpha_j (\text{rand} - 0.5) \quad (3)$$

La distancia r_{ij} entre las luciérnagas i y j puede obtenerse por la forma de distancia cartesiana. El parámetro γ caracteriza la variación del atractivo de la luciérnaga, y su valor es crucialmente importante para determinar la rapidez de la convergencia y el comportamiento del FA. En teoría, $\gamma \in [0, \infty)$, pero en la práctica típicamente varía entre 0.1 y 10 (Kumanan, 2013).

El tercer término es el de aleatoriedad, donde $\alpha \in [0,1]$, *rand* es un generador de números al azar con distribución uniforme entre 0 y 1.

Harmony Search

Harmony Search (HS) es una metaheurística de optimización basada en la improvisación durante la composición musical. Fue inspirada por la observación de que el objetivo de la música es alcanzar un perfecto estado de armonía.

El esfuerzo para encontrar la armonía en la música es análogo a un problema de optimización. (Yang, 2009).

Para poder explicar el HS, se debe considerar el proceso de improvisación realizado por un músico calificado. Cuando un músico improvisa, tiene las siguientes posibilidades:

- 1) Tocar cualquier melodía conocida de manera exacta de memoria.
- 2) Tocar una melodía similar a una conocida (ajustando el tono levemente).
- 3) Componer una melodía nueva o tocar notas al azar. Estas opciones, se formalizaron para el proceso de optimización cuantitativo, transformando en los siguientes componentes del algoritmo: uso de la memoria de armonía, ajuste de tono y aleatoriedad.

El uso de la memoria de armonía (HM) es importante porque asegura que se consideraran las buenas armonías como elementos en los vectores de solución nuevos.

Para poder usar esta memoria de manera efectiva, el HS adopta un parámetro $r_{accept} \in [0,1]$ llamado tasa de aceptación de memoria de armonía. Si esta tasa es muy baja, solo algunas armonías élites son seleccionadas y la convergencia sería lenta. Si la tasa es extremadamente alta (cerca de 1), los tonos en la memoria de armonía son mayormente usados y otros no son explorados, por lo que no conduce a buenas soluciones.

El valor típico usado de esta tasa $r_{accept} = 0.7 \sim 0.95$ (Yang, 2009).

El segundo componente es el ajuste de tono, el cual tiene parámetros como el ancho de banda del tono b_{range} y la tasa de ajuste de tono r_{pa} .

El ajuste de tono, se refiere a un cambio en la frecuencia a nivel musical; pero, a nivel del HS significa la generación de un valor ligeramente diferente. En teoría, el tono puede ser ajustado linealmente o no, pero en la práctica se utiliza el ajuste lineal. Entonces se tiene:

$$x_{new} = x_{old} + b_{range} \varepsilon \quad (4)$$

Donde x_{old} es el tono existente almacenado en la memoria de armonía, y x_{new} el nuevo valor del tono después de una acción del ajuste del mismo. Esta acción produce un nuevo tono al añadir una cantidad aleatoria pequeña al tono existente. Aquí ε es un número al azar de distribución uniforme en el rango $[-1,1]$.

Se puede asignar la tasa de ajuste de tono r_{pa} para controlar el grado de ajuste. Una tasa de ajuste baja con un ancho de banda estrecho puede desacelerar la convergencia del HS debido a la limitación en la exploración de solo un subespacio pequeño dentro de todo el espacio de búsqueda.

Por otra parte, una tasa de ajuste muy alta y un ancho de banda amplio puede ocasionar que la solución se disperse alrededor de algunos óptimos potenciales como en una búsqueda aleatoria. Por esta razón, el valor usado de la tasa es $r_{pa} = 0.1$ para la mayoría de las aplicaciones.

El tercer componente es la aleatoriedad, la cual incrementa la diversidad de las soluciones. Aunque el ajuste de tono cumple un rol similar, está limitado dentro de una cierta área, correspondiendo a una búsqueda local.

El uso de la aleatorización puede llevar al sistema a explorar varias soluciones diversas, como corresponde a la búsqueda de óptimos globales (Yang, 2009). En la Figura 2 se observa el pseudocódigo de HS.

Pseudocódigo Harmony Search

Requerimientos

- 1: Función objetivo $f(x)$ en cualquier dimensión.
- 2: Generar armonías iniciales (arreglos de números reales)
- 3: Definir la tasa de ajuste de tono r_{pa} , límites de tono y ancho de banda.
- 4: Definir la tasa de aceptación de memoria de armonía r_{accept}
- 5: Se define $maxNumeroDeIteraciones$

Pasos

- 6: **while** $t < maxNumeroDeIteraciones$ **do**
- 7: Generar nuevos armónicos aceptando los mejores
- 8: Ajustar el tono para obtener nuevos armónicos (soluciones)
- 9: **if** $rand > r_{accept}$ **then**
- 10: Escoger un armónico existente al azar
- 11: **else if** $rand > r_{pa}$ **then**
- 12: Ajustar el tono al azar dentro de los límites establecidos
- 13: **else**
- 14: Generar armónicos aleatoriamente.
- 15: **end if**
- 16: **end while**

Figura 2. Pseudocódigo de Harmony Search.

MÉTODO

Desarrollo

Para el diseño se tomaron como referencia las implementaciones de Tahershamsi (2014) y Guo (2013), escogiendo finalmente la de Tahershamsi

(2014), dado que aprovecha la capacidad de búsqueda global del *Firefly Algorithm*, y emplea el *Harmony Search* para la búsqueda local de nuevas posiciones para las luciérnagas más brillantes. El diagrama de flujo del híbrido entre *Firefly Algorithm* y *Harmony Search* (FA/HS), se muestra en la Figura 3.

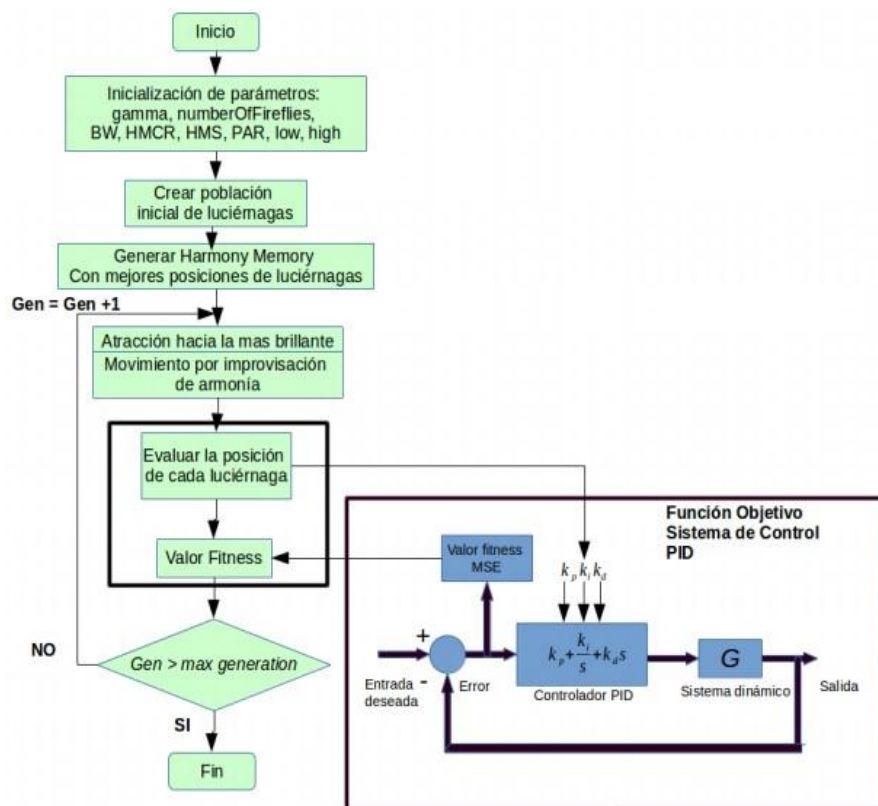


Figura 3. Diagrama de flujo de la metaheurística híbrida FA/HS para entonación de controlador PID.

Una vez inicializados los parámetros de configuración, se establecen los límites bajos y altos para las variables K_p , T_i y T_d . Seguidamente, se genera la población inicial de luciérnagas con valores aleatorios. El paso principal de este algoritmo, es el movimiento de las luciérnagas, el cual en principio debe ser hacia la más brillante, y si no consiguen una más brillante que ellas, deben moverse a través de una improvisación de armonía.

Implementación y pruebas

Se realizaron dos tipos de pruebas de desempeño: las primeras relacionadas con el funcionamiento de los algoritmos FA, HS y FA/HS con algunas funciones de prueba seleccionadas, mostradas en la Tabla 1; las segundas, se refieren al comportamiento de estos algoritmos al utilizarlos con MATLAB para la entonación de controlador PID en diferentes tipos de sistemas.

Tabla 1. Promedio de valores encontrados por las metaheurísticas para minimización de funciones de prueba.

Función	Xmin	f(Xmin)	FA		HS		FA-HS	
			Xmin	f(xmin)	Xmin	f(xmin)	Xmin	f(xmin)
Himmelblau	(3,2)	0	(-3.779;-3.282)	5.72E-5	(-3.778;-3.281)	2.29E-4	(-3.77;-3.28)	0.004
	(-2,8, 3,13)	0	(3.587;-1.848)	3.49E-4	(3.587;-1.847)	3.85E-4	(3.581;-1.846)	6.3E-4
	(-3,77, 3,28)	0	(-2.801; 3.132)	5.72E-4	(-2.805; 3.133)	1.15E-4	(-2.801; 3.132)	5.72E-4
	(3,58, -1,84)	0	(3; 1.994)	6.10E-4	(2.995; 2.016)	0.0037	(2.999; 1.998)	1.44E-4
Cube	(1,1)	0	(0.98; 0.942)	4.65E-4	(1.086; 1.318)	0.145	(1.01; 1.033)	8.28E-4
Chichinadze	(6.189, 0.5)	-42.944	(6.191; 1.195)	-42.848	(6.192; 0.462)	-42.942	(6.19; 0.518)	-42.944
Miele-Cantrell	(0, 1, 1, 1)	0	(0.004; 0.996; 0.99; 0.99)	4.66E-12	(0.037; 0.976; 0.978; 0.979)	4.66E-12	(0.035; 0.966; 0.962; 0.962)	2.68E-12

Para la minimización de funciones de prueba, los parámetros de configuración para cada metaheurística se muestran en la Tabla 2. Estos

valores son los recomendados por otros autores para las metaheurísticas base, y fueron ajustados de igual manera para el híbrido FA/HS.

Tabla 2. Parámetros de configuración de cada metaheurística para minimización de funciones de prueba.

	Número de Fireflies	γ	δ	α_0	β	BW	HCMR	HMS	PAR	Generaciones
FA	30	1	0,95	0,2	0,1	-	-	-	-	30
HS	-	-	-	-	-	0,2	0,95	4	0,7	15000
FA/HS	30	1	0,95	0,2	0,1	0,2	0,95	4	0,7	25

Para simular el sistema y el controlador PID con los parámetros ajustados por la metaheurística

específica, se utilizaron modelos en Simulink®, en los cuales, se define el sistema realimentado, el

controlador PID con los parámetros proporcionados por la metaheurística de forma *offline*, una entrada escalón unitario y la salidas el error cuadrático medio (MSE), usada como índice de desempeño.

Se utilizaron dos procesos lineales de orden superior, uno estable y el otro inestable para probar la entonación del controlador PID utilizando FA, HS y FA/HS.

El proceso estable fue seleccionado de Mora *et al.* (2016) y dado por la ecuación 4. El proceso inestable se tomó de Lugo y Moreno (2015) y dado por la ecuación 5. En estas investigaciones previas, se utilizaron estos procesos para probar el desempeño de GA, PSO y CE en la entonación de un controlador PID.

$$G(s) = \frac{25,2s^2 + 21,2s + 3}{s^5 + 16,5s^4 + 25,41s^3 + 17,18s^2 + 11,7s + 1} \quad (4)$$

$$G(s) = \frac{e^{-0,5s}}{(5s-1)(0,5s+1)(2s+1)} \quad (5)$$

En las pruebas para cada proceso, se ajustaron los parámetros de cada metaheurística con los mismos valores utilizados para la optimización de las funciones de prueba, mostrados en la Tabla 2, exceptuando el número de generaciones de cada una: 25 para *Firefly Algorithm*, 3000 para *Harmony Search*, 20 para el híbrido FA/HS. Los rangos de búsqueda de los parámetros del PID utilizados fueron: Kp (0-10), Ti (0-100), Td (0-100), los cuales fueron también utilizados por Mora (2016).

RESULTADOS

Para la minimización de funciones de prueba, en la Tabla 1, se muestran los promedios de los mejores resultados obtenidos para cada función, proporcionados por *Firefly Algorithm*, *Harmony Search* y el híbrido FA/HS. Para cada función, se hicieron diez (10) ejecuciones por algoritmo.

En la Tabla 3, se pueden observar los valores promedio de los parámetros del controlador PID, obtenidos por las metaheurísticas, para la entonación del controlador PID del proceso estable seleccionado. El número de ejecuciones por algoritmo se estableció en diez.

Tabla 3. Entonación de controlador PID para proceso estable mediante FA, HS y FA/HS.

	Kp	Ti	Td	MSE
FA	8.58±1.13	11.5±10.77	0.33±0.08	0.025±0.001
HS	9.99±0.00	8.17±0.54	0.31±0.01	0.0206±0.0015
FA/HS	10.1±0.09	8.19±0.97	0.29±0.00	0.0204±0.001

En la Tabla 4, se pueden observar los valores promedio de los parámetros del controlador PID, obtenidos por las metaheurísticas, para la entonación del controlador PID para el proceso

inestable. El número de ejecuciones por algoritmo se estableció en diez (10).

Tabla 4. Entonación de controlador PID para proceso inestable mediante FA, HS y FA/HS.

	Kp	Ti	Td	MSE
FA	6.42±1.06	11.33±4.74	1.93±0.72	0.86±0.21
HS	5.14±2.72	5.9±2.34	13.45±25.32	0.98±0.43
FA/HS	6.58±1.03	8.99±2.54	2.2±1.01	0.8±0.28

DISCUSIÓN

Para la minimización de funciones de prueba, como se puede observar en la Tabla 1, las metaheurísticas obtuvieron resultados bastante aproximados a los valores mínimos de todas las funciones de prueba. En el caso de los procesos lineales de orden superior, se contrastaron los resultados obtenidos para la entonación del

controlador PID mediante FA, HS y FA/HS con los arrojados por las investigaciones de Lugo (2015) y Mora (2016), en las cuales, la entonación fue realizada con los algoritmos GA, PSO y CE. Se estableció como punto de comparación los valores arrojados por el algoritmo PSO, por ser aquellos con menor desviación estándar. En la Tabla 5, se muestran los parámetros de entonación mencionados previamente.

Tabla 5. Entonación de controlador PID para proceso estable e inestable usando PSO.

Proceso	Evaluaciones	Kp	Ti	Td	MSE	ITSE
Estable	2500	10.0±0.00	8.2±0.0	0.3±0.0	0.0192±0.0	-
Inestable	2500	7.72±0.25	8.37±3.32	1.8±0.08	-	8.093

Fuentes: Mora (2016) y Lugo y Moreno (2015).

En el caso de la entonación del controlador PID para el proceso estable escogido, al comparar los resultados de FA, HS y FA/HS en la Tabla 4 con los del PSO en la Tabla 5, se observa que sus valores son bastante próximos entre sí. Cabe resaltar, que el algoritmo híbrido FA/HS presentó un resultado más cercano al del PSO y con menor desviación estándar, en relación a las metaheurísticas puras.

Con respecto a la respuesta transitoria, en la Figura 4^a, se puede visualizar el comportamiento del proceso estable, ante una entrada escalón unitaria, con los controladores entonados por los algoritmos: PSO, FA, HS y FA/HS; adicionalmente, se agrega el comportamiento de un PID diseñado con Ziegler-Nichols para este mismo proceso, realizado por Saad (2012).

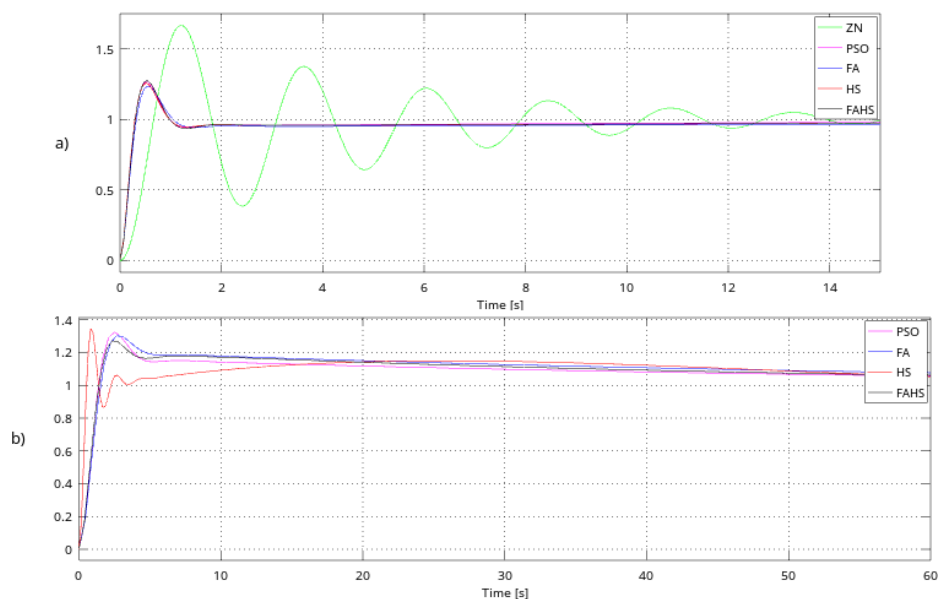


Figura 4. a) Respuesta transitoria para una entrada escalón en el proceso lineal estable con los controladores: diseñado con Ziegler-Nichols, PID entonados con PSO, FA, HS y FA/HS. b) Respuesta transitoria para entrada escalón para el proceso lineal inestable con los controladores: PID entonado con PSO, FA, HS y FA/HS.

Se puede observar que los controladores entonados usando metaheurísticas tienen un comportamiento superior con respecto al diseñado con Ziegler Nichols; el sobrepaso y las oscilaciones fueron reducidos. Entre la metaheurística híbrida y las puras, se puede decir que la solución arrojada por FA es mejor, dado que genera menor sobrepaso que las demás.

Para el proceso inestable, al comparar los resultados de la Tabla 5 con los de la Tabla 6, se encuentra una diferencia observable entre estos resultados, determinado en parte por el cambio de la función objetivo. En este caso, el algoritmo que presentó menor desviación estándar y encontró el mejor MSE, fue el híbrido FA/HS. En la Figura 4b, se puede observar el comportamiento del proceso inestable controlado por PID entonados con PSO, FA, HS y FA/HS. La solución encontrada por el esquema híbrido FA/HS produce menor sobrepaso que las otras, aunque desmejora en el tiempo de alcance del valor estable; el HS resultó ser el menos eficiente para este proceso.

CONCLUSIONES

Las respuestas del algoritmo híbrido FA/HS sobre los procesos de prueba fueron consistentes, mostrando una rápida y buena convergencia en la búsqueda de una buena solución para cada proceso analizado. Cabe resaltar, que para ambos procesos, las soluciones encontradas por la metaheurística híbrida, son bastante efectivas como las de las metaheurísticas puras como el FA, HS y el PSO.

En el caso particular del proceso lineal estable, el algoritmo híbrido FA/HS halló al menos una solución más eficiente que la encontrada por el método Ziegler Nichols. La selección del *Firefly Algorithm* como algoritmo base en el esquema híbrido permitiendo una exploración del espacio de búsqueda de soluciones más efectivo.

Como trabajo futuro, se puede realizar un estudio para ajustar los parámetros de las metaheurísticas en pro de una mejor respuesta de los sistemas de prueba, así como extender las pruebas a procesos no lineales, y además evaluar la eficiencia de la metaheurística híbrida FA/HS sobre un proceso real, así como, probar la eficiencia de este

mecanismo híbrido con respecto a otros procesos.

REFERENCIAS

- Bansal, H. O., Sharma, R., & Shreeraman, P. R. (2012). PID Controller Tuning Techniques: A Review. *Journal of Control Engineering and Technology*, 2(October), 168–176.
- Colmenares, W., Mata, E., Revollar, S., & Pérez, E. G. O. (2005). Entonación de controladores industriales tipo PID Tuning industrial PID controllers. *Ciencia E Ingeniería*, 26 (1), 9– 16.
- Dexuan, Z., Haikuan, L., & Liqun, G. (2011). A modified global harmony search algorithm for robust PID controller tuning. In *Control Conference (CCC), 2011 30th Chinese* (pp. 2158–2163).
- Gholap, V., Dessai, C. N., & Bagyaveereswaran, V. (2017). PID controller tuning using metaheuristic optimization algorithms for benchmark problems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263(5), 52021.
- Krasnogor, N. (2005). Recent Advances in Memetic Algorithms, 166.
- Kumanan, D., & Nagaraj, B. (2013). Systems Science & Control Engineering: An Open Tuning of proportional integral derivative controller based on firefly algorithm, (November), 37–41.
- Lihong Guo, Gai-Ge Wang, Heqi Wang, and D. W. (2013). An effective hybrid firefly algorithm with harmony search for global numerical optimization. *The Scientific World Journal*.
- Lugo, R., Moreno, C. (2015). Optimización de un controlador PID basado en metaheurística. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela.
- Mandal, A., Zafar, H., Ghosh, P., Das, S., & Abraham, A. (2011). An efficient memetic algorithm for parameter tuning of PID controller in AVR system. 2011 11th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS), 265–270.

AGROPECUARIA

EVALUACIÓN DE *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae* Y *Bacillus subtilis* EN LA PROMOCIÓN DEL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE TOMATE Y PIMENTÓN

EVALUATION OF THE *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae* and *Bacillus subtilis* IN THE GROWTH PROMOTION OF TOMATO AND SWEET PEPPER SEEDLINGS

AUTORES:

Bautista, Luis; Cordón, Eduard

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

Corresponding Author:

lbautis@gmail.com

Palabras clave: Solanáceas, biocontroladores, microorganismos, antagonistas, hongos.

Key words: Solanaceae, biocontrol, microorganisms, antagonist, fungi.

RESUMEN

Muchos microorganismos benéficos, además de su desempeño como agentes de control biológico, pueden actuar como agentes promotores del crecimiento vegetal. En este trabajo se evaluó el efecto de 3 cepas de los biocontroladores: *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae* y *Bacillus subtilis*, aplicados solos y en consorcio para la promoción del crecimiento de plántulas de tomate y pimentón. Los microorganismos fueron aplicados al 5% V/V (Volumen del microorganismo/Volumen del sustrato de siembra) en el momento de la siembra. *Trichoderma* y *Metarhizium* se aplicaron en gránulos finos constituidos por los propágulos de los hongos más restos de arroz (concentración: 5×10^9 y 9×10^8 esporas.g⁻¹ para *Trichoderma* y *Metarhizium*, respectivamente) y *Bacillus* en suspensión (concentración: 8×10^8 ufc.ml⁻¹). Bajo un arreglo completamente al azar se prepararon 7 tratamientos más un testigo, con 4 repeticiones de 10 plantas cada una. Se usaron bandejas plásticas germinadoras de 200 celdas y previo a la colocación de los inóculos el sustrato fue parcialmente humedecido. A los 30 días para el tomate y 40 días para el pimentón, se midieron las variables: altura de las plántulas, diámetro del tallo, peso seco de raíz y parte aérea y biomasa seca total. Se encontraron diferencias significativas entre las variables de crecimiento evaluadas en las 2 especies de plantas. El hongo *T. asperellum*, aplicado solo o en consorcio, ejerció el mayor efecto promotor del crecimiento induciendo plántulas de mayor desarrollo y vigor para el trasplante, en comparación con *M. anisopliae* y *B. subtilis* que no mostraron efectos destacables en la promoción del crecimiento. Por el contrario, la cepa de *M. anisopliae* afectó el desarrollo de las plántulas. Los resultados demostraron que el *T. asperellum* tiene capacidad para promover el crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate y pimentón.

ABSTRACT

In addition to their role as agents of biological control, many beneficial microorganisms can act as plant growth promoting agents. In this work, the effect of 3 strains of the antagonist: *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae* and *Bacillus subtilis*, applied alone and in consortium, for the growth promotion of seedlings of tomato and sweet pepper was evaluated. The microorganisms were applied at 5% V/V (volume of microorganism/Volume of planting substrate) at the time of planting. *Trichoderma* and *Metarhizium* were applied in fine granules composed of the propagules of fungi plus the remains of rice (concentration: 5×10^9 and 9×10^8 spores.g⁻¹ for *Trichoderma* and *Metarhizium*, respectively) and *Bacillus* in suspension (concentration: 8×10^8 UFC.ml⁻¹). Seven treatments and one control were randomly prepared, with 4 repetitions of 10 plants each one. Germination plastic trays of 200 cells were used and prior to placement of inoculum, the substrate was partially moistened. The variables: height of seedlings, shoot and root dry weight, and total dry weight were measured at 30 days for tomatoes and 40 days for sweet pepper. Significant differences in the evaluated growth variables were found in the 2 species of plants. The fungus *T. asperellum*, applied alone or in consortium, had the greatest growth promotion effect, inducing seedlings of better development and vigor for the transplant, unlike the *M. anisopliae* and *B. subtilis* that showed no notable effects on the promotion of growth. On the contrary, the strain of *M. anisopliae* negatively affected the development of the seedlings. The results showed that *T. asperellum* has capacity to promote the growth and development of tomato and sweet pepper seedlings.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y el pimentón (*Capsicum annum* L.) son 2 de las solanáceas más importantes que se cultivan en el estado Táchira. Por ser plantas cuyo cultivo es por siembra indirecta, deben pasar por una fase de semillero antes de llevarlas al sitio definitivo de plantación. Por tanto, la etapa de semillero representa una fase crítica que afecta el posterior desarrollo de la plantación. Esta situación conlleva la necesidad de desarrollar plántulas sanas y vigorosas que aseguren un cultivo exitoso. La necesidad de obtener plántulas sanas y de buen desarrollo implica la utilización de insumos como los fertilizantes químicos.

Los microorganismos promotores del crecimiento se han descrito como una alternativa para reducir los problemas asociados al uso de fertilizantes químicos, debido a su capacidad para mejorar los procesos de nutrición y de sanidad de las plantas mediante una amplia gama de mecanismos directos e indirectos. Este tipo de microorganismos se conocen con el nombre de biofertilizantes, los cuales se definen como productos que contienen microorganismos vivos, que al aplicarse a las semillas, a las plantas o al suelo, colonizan el suelo y/o las raíces promoviendo el crecimiento vegetal al aumentar la disponibilidad de nutrientes y la sanidad de las plantas. Shores et al. (2010) sugieren que la aplicación de esta tecnología tiene grandes ventajas en comparación con el uso de productos químicos, ya que no son tóxicos para humanos, animales y plantas, además, no se constituyen como fuente de contaminación ambiental. Así mismo, proporciona una oportunidad para reducir la entrada de químicos en la agricultura, así como la contaminación de aguas subterráneas y superficiales.

Además de actuar como agentes de control biológico directo, los microorganismos antagonistas a fitopatógenos como *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg y *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn, así como el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin son señalados con capacidad

para promover el crecimiento de plantas (García et al., 2011; Gómez et al., 2013; Cabra et al., 2017), incluso son capaces de asociarse con raíces de plantas sin causarles ningún daño colateral, estableciéndose una estrecha interacción que deriva en una mejora de la productividad vegetal.

Los hongos del género *Trichoderma* son ampliamente utilizados como biofertilizantes y biocontroladores en formulados comerciales debido a los múltiples efectos beneficiosos sobre el crecimiento y resistencia a las enfermedades de las plantas (Harman et al., 2004, Lorito et al., 2010). Este efecto benéfico ha sido relacionado con el control de los microorganismos perjudiciales, la degradación de compuestos tóxicos, la estimulación en el desarrollo de raíces (por la producción de hormonas o de compuestos similares) y/o la promoción y absorción de agua y nutrientes (Bae et al., 2009; Contreras-Cornejo et al., 2009).

Trichoderma asperellum es una de las especies de *Trichoderma* que se asocia con las raíces, proporcionándoles un mayor vigor y crecimiento a la planta así como una mayor tolerancia frente a diferentes tipos de estrés tanto abióticos (fertilización, salinidad, riegos y condiciones climáticas no óptimas, tal es el caso de sequía, temperaturas, etc.) como bióticos (ataques de patógenos) (Chang et al., 1986; Saba et al., 2012; Gómez et al., 2013).

Dentro del género *Bacillus* se incluyen más de 100 especies, la mayoría de interés agronómico por sus capacidades como agentes promotores del crecimiento vegetal y como agentes de control biológico de plagas (Tejera-Hernández et al., 2011). Una de las especies mejor estudiada corresponde a *B. subtilis* (Qiao et al., 2017).

Metarhizium anisopliae es el agente causal de la enfermedad conocida como muscardina verde (Poinar y Thomas, 1982) que afecta diferentes órdenes de insectos y arácnidos (Domsch et al., 1980). Esta especie ha sido usada como agente de control biológico de plagas como *Aeneolamia varia* (F.) (Ávila y Umaña, 1988) e

Hypothenemus hampei (De La Rosa *et al.*, 1995), entre otras. También se ha demostrado que *M. anisopliae* tiene actividad endofítica y puede promover el crecimiento de plantas de tomate (García, *et al.*, (2011).

La aplicación de microorganismos promotores del crecimiento, solos o en consorcio en el momento de la siembra, puede estimular la generación de beneficios directos desde las primeras fases de la plántula, confiriendo mayores ventajas a la hora del trasplante. En el presente estudio se evaluó el efecto, individual y conjunto, de 3 cepas de los agentes de control biológico; *T. asperellum*, *M. anisopliae* y *B. subtilis* en la promoción del crecimiento vegetativo de plántulas de tomate y pimentón.

MÉTODO

El trabajo se realizó en la finca El Pinar, ubicada en el sector Pan de Azúcar, Municipio Independencia, estado Táchira, a una altura de 860 msnm, temperatura promedio de 23,2°C y precipitación media anual de 1400 mm. Se midió el efecto de 3 cepas de las especies *T. asperellum* (aislada de suelo, El Cobre, estado Táchira), *M. anisopliae* (aislada de *Phyllophaga* sp., sector Baritalia, municipio Junín, Estado Táchira) y una cepa de *B. subtilis* obtenida de un producto comercial.

Estas cepas forman parte de la colección de microorganismos del Laboratorio de Control Microbiológico UNET. Como material vegetal, se utilizaron semillas de tomate (híbrido Shanty) y pimentón (Traizer F1); por su parte, como sustrato de siembra se empleó la marca Sunshine.

Masificación de los biocontroladores: Las cepas de *T. asperellum* y *M. anisopliae* fueron reactivadas, por 12 días, en medio Papa Dextrosa Agar (39 g/L). Las cepas fueron masificadas en arroz tipo vaporizado, humedecido y esterilizado. Para ello, se utilizaron bolsas plásticas autoclavables, de 2 kg de capacidad, donde se

colocaron 100 g de arroz (previamente molido en malla de 5 mm de diámetro de poro) y 80 ml de agua destilada. Este preparado se esterilizó por vapor a presión a 121°C por 25 min. Luego, se dejó enfriar y se inoculó con 4 discos (1 cm de diámetro) de colonias (12 d) con micelio y esporas. La inoculación se realizó bajo cámara de flujo laminar, con posterior incubación a condiciones de laboratorio (25±2°C) durante 15 d. Posteriormente, la biomasa obtenida fue secada en bandejas plásticas a temperatura ambiente por 8 d.

El producto resultante, constituido por una masa granular con esporas, micelio de los hongos y restos del arroz, fue refrigerado a 4°C hasta su utilización. La concentración del producto final fue determinada en cámara de Neubauer resultando en 5×10^9 y 9×10^8 esporas.g⁻¹ para *Trichoderma* y *Metarhizium*, respectivamente.

La cepa de *B. subtilis* fue reactivada en medio agar nutriente. A partir de colonias de 48 h se preparó una suspensión en agua destilada estéril, ajustada en cámara de Neubauer a 1×10^8 ufc/ml, con la que se inocularon recipientes de vidrio (200 ml) con medio de cultivo líquido (Tryptona 10 g/L, extracto de levadura: 2,5 g/L) esterilizado por vapor a presión a 121°C por 30 min. Cada recipiente fue inoculado con 2 ml de suspensión bacteriana. Los recipientes se mantuvieron en agitación durante 5 d a temperatura de 25±2°C. En cámara de Neubauer, el cultivo líquido obtenido resultó con una concentración de 8×10^8 UFC/ml de medio. El cultivo fue refrigerado a 4°C hasta su utilización.

Bioensayo de promoción del crecimiento: El ensayo consistió en la aplicación de 8 tratamientos (Tabla 1) para cada tipo de cultivo. Se consideró como tratamiento la inoculación de cada microorganismo al sustrato, de manera individual y los consorcio o mezclas entre ellos, más un testigo o control sin ningún agente.

Tabla 1. Código y composición de los diferentes tratamientos aplicados en tomate y pimentón.

Código	Tratamientos (5% V/V)
T0	Testigo sin microorganismos, solo agua
Ta	granulado* de <i>T. asperellum</i>
Ma	granulado de <i>M. anisopliae</i>
Bs	Cultivo líquido de <i>B. subtilis</i>
Ta + Bs	<i>T. asperellum</i> (granulado)+ <i>B. subtilis</i> (líquido)
Ta + Ma	<i>T. asperellum</i> (granulado) + <i>M. anisopliae</i> (granulado)
Ma + Bs	<i>M. anisopliae</i> (granulado) + <i>B. subtilis</i> (líquido)
Ta + Ma + Bs	<i>T. asperellum</i> (granulado)+ <i>M. anisopliae</i> (granulado) + <i>B. subtilis</i> (líquido)

Granulado: gránulos finos de arroz con crecimiento de los hongos.

5% V/V: 5 ml de medio de cultivo con hongo o bacteria aplicado en 95 ml de sustrato comercial para plántulas.

Los agentes benéficos fueron aplicados al sustrato previo a la siembra, en una proporción del 5%V/V (5 ml de cada agente, en granulado o líquido, para 95 ml de sustrato de cultivo). Los microorganismos en consorcio fueron igualmente aplicados en la proporción de 5% V/V. En recipientes plásticos de 10 L, se procedió a mezclar el sustrato, parcialmente humedecido, con cada uno de los tratamientos. Una vez aplicados, los microorganismos se mezclaron lo más uniformemente posible con el sustrato comercial. Por cada tratamiento se prepararon unos 3000 ml de sustrato inoculado, el cual fue colocado en bandejas plásticas de 200 celdas.

Finalmente, se realizó la siembra por separado del tomate y el pimentón colocando una semilla por celda. Las bandejas fueron distribuidas al azar en mesas de malla metálica y mantenidas bajo casa de cultivo con techo de plástico transparente. Para cada cultivo se empleó un diseño completamente al azar, en el que cada tratamiento (biocontrolador) constó de 4 repeticiones y cada repetición estuvo conformada por 10 plantas.

Variables medidas: A los 30 días después de la siembra para las plántulas de tomate, y a los 40 días, para las de pimentón, se tomaron al azar 20 plántulas por tratamiento realizándose la medición de: Altura de plántula; desde el cuello de la plántula hasta el ápice meristemático (cm/plántula). Diámetro del cuello de las plántulas (mm/plántula). 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.

Análisis de datos: Los datos fueron sometidos al análisis de la varianza y comparación de medias por la prueba de Tukey ($P<0,05$), con el programa estadístico Info Stat versión libre (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS

A los 30 días para las plántulas de tomate y 40 días para las de pimentón se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P<0,05$) en todas las variables medidas por efecto de las cepas aplicadas (Tabla 2). Para la altura de plántulas en tomate, los mayores promedios ocurrieron con la aplicación de *Ta+Bs*, *Ta+Bs+Ma* y *Ta+Ma* y *Ta*, no existiendo diferencias estadísticas entre ellos.

Además, estos tratamientos resultaron estadísticamente diferentes y superiores al testigo. La aplicación de *Bs* promedió altura de plántulas similares al testigo. La aplicación de *Bs+Ma* y *Ma* rindieron los menores promedios de altura, resultando con plántulas más bajas que el testigo. En pimentón, la aplicación de *Ta+Bs*, *Ta+Ma*, *Ta+Bs+Ma*, *Ta* y *Bs* alcanzaron los mayores promedios de altura, siendo estadísticamente similares entre sí y diferentes del testigo.

La aplicación de *Ma* rindió una altura estadísticamente similar al testigo, mientras que *Bs+Ma* alcanzó el menor promedio.

Tabla 2. Promedios de variables biométricas de crecimiento vegetativo de plántulas de tomate y pimentón tratadas con *T. asperellum*, *M. anisopliae* y *B. subtilis*, aplicados solos y en consorcio.

Tratamientos	Altura (cm)		Diámetro (cm)		Peso seco raíz (g)		Peso seco aéreo (g)		Materia seca total (g)	
	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P
Testigo	14,1 ^c	10,8 ^b	3,4 ^b	3,4 ^d	0,04 ^{cd}	0,09 ^{bc}	0,09 ^c	0,13 ^c	0,12 ^{cd}	0,23 ^b
<i>T. asperellum</i> (<i>Ta</i>)	18,6 ^{ab}	13,7 ^a	3,6 ^b	3,9 ^{ab}	0,28 ^a	0,24 ^a	0,14 ^a	0,20 ^a	0,34 ^a	0,44 ^a
<i>M. anisopliae</i> (<i>Ma</i>)	12,0 ^d	10,8 ^b	2,6 ^c	2,9 ^e	0,01 ^e	0,05 ^c	0,05 ^d	0,10 ^d	0,06 ^e	0,16 ^c
<i>B. subtilis</i> (<i>Bs</i>)	14,8 ^c	13,7 ^a	3,4 ^b	3,6 ^{cd}	0,05 ^{bc}	0,18 ^{ab}	0,11 ^{bc}	0,16 ^{bc}	0,16 ^c	0,34 ^{ab}
<i>T. asperellum</i> + <i>B. subtilis</i> (<i>Ta+Bs</i>)	20,1 ^a	14,4 ^a	4,2 ^a	3,8 ^{bc}	0,14 ^{ab}	0,22 ^{ab}	0,11 ^{bc}	0,15 ^{bc}	0,24 ^{ab}	0,37 ^{ab}
<i>T. asperellum</i> + <i>M. anisopliae</i> (<i>Ta+Ma</i>)	18,8 ^{ab}	14,1 ^a	3,5 ^b	4,1 ^a	0,08 ^{ab}	0,18 ^{ab}	0,12 ^{ab} _c	0,19 ^{ab}	0,19 ^{bc}	0,37 ^{ab}
<i>M. anisopliae</i> + <i>B. subtilis</i> (<i>Ma+Bs</i>)	6,2 ^e	7,8 ^c	2,2 ^c	2,3 ^f	0,02 ^c	0,07 ^{bc}	0,04 ^d	0,09 ^d	0,08 ^d	0,17 ^c
<i>T. asperellum</i> + <i>M. anisopliae</i> + <i>B. subtilis</i> (<i>Ta+Ma+Bs</i>)	19,1 ^{ab}	13,9 ^a	3,5 ^b	3,6 ^{bcd}	0,12 ^a	0,20 ^{ab}	0,12 ^a	0,17 ^{bc}	0,24 ^{ab}	0,36 ^{ab}
C.V. (%)	14,05	13,9	13,7	9,9	12,5	14,9	24,6	25,6	12,4	14,1

Promedios seguidos con letras comunes no son significativamente diferentes. Prueba de Tukey (P<0,05)

C.V.: Coeficiente de variación. T: tomate, P. Pimentón.

Para el diámetro del tallo, en tomate, la aplicación de *Ta+Bs* alcanzó el mayor diámetro promedio siendo estadísticamente diferente de los restantes tratamientos. Los tratamientos con *Ta*, *Ta+Ma+Bs*, *Ta+Ma*, *T0* y *Bs* resultaron estadísticamente similares, mientras que *Ma* y *Bs+Ma* alcanzaron los menores diámetros de tallo. En pimentón, la aplicación de *Ta+Ma* obtuvo el mayor diámetro aunque sin diferir estadísticamente de *Ta*. Además, las aplicaciones de *Ta*, *Ta+Bs* y *Ta+Ma+Bs* resultaron estadísticamente similares entre ellos y diferentes de *Bs* y el testigo. El menor promedio de diámetro de tallo se presentó con la aplicación de *Ma* y *Bs+Ma*.

Con respecto al peso seco de raíz, tanto en tomate como en pimentón, las aplicaciones de *T. asperellum*, de manera individual y en consorcio con los otros microorganismos, indujeron la mayor acumulación de materia seca en raíz,

siendo estadísticamente similares entre si y diferentes al testigo. Mientras que la aplicación de *B. subtilis* tuvo una acumulación de materia seca radicular similar a las plantas testigo. La aplicación de *M. anisopliae*, individual y en consorcio con *B. subtilis*, tuvo promedios de materia seca radicular inferiores al testigo.

Para el peso seco de la parte aérea en tomate, los tratamientos que obtuvieron mayor peso aéreo fueron *Ta*, *Ta+Ma+Bs*, *Ta+Ma*, siendo estadísticamente similares y superiores al testigo. Las aplicaciones de *Ta+Bs* y *Bs* promediaron un contenido de materia seca de raíz similar al testigo. El menor peso en la materia seca de raíz se presentó en *Ma* y *Bs+Ma*. Para el pimentón, las aplicaciones que rindieron la mayor materia seca fueron *Ta*, *Ta+Ma*, siendo mejores que el testigo y sin diferencias significativas entre ellos. Las aplicaciones de *Ta+Bs*, *Ta+Ma+Bs* y *Bs* promovieron contenidos de materia seca aérea

BIOCONTROLADORES COMO PROMOTORES DEL CRECIMIENTO

Bautista, L.; Cordón, E.

estadísticamente similares al testigo. Los menores promedios de materia seca se presentaron en *Bs+May Ma*.

Para la materia seca total, tanto en tomate como en pimentón, la aplicación de *T. asperellum*, individual y en consorcio con los otros microorganismos, indujeron los mayores contenidos biomasa seca total, siendo superiores y estadísticamente diferentes al tratamiento testigo. La aplicación de *T. asperellum*

incrementó el contenido de materia seca con respecto al testigo en 64,71% para tomate y en un 47,73 % para pimentón.

Un aspecto del efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de las plántulas de tomate y pimentón es presentado en la figura 1. En la misma se aprecia la promoción del crecimiento en las plántulas donde se aplicó *T. asperellum*, bien sea de manera individual o en mezcla con las otras cepas.



Figura 1. Aspecto del desarrollo de las plántulas a los 30 días para el tomate (A) y 40 días para el pimentón (B). Se destaca el mayor desarrollo de las plántulas en los tratamientos donde se aplicó *T. asperellum*, tanto individual (T1) como en mezclas (T4: *T. asperellum*+*B. subtilis*, T5: *T. asperellum*+*M. anisopliae* y T7: *T. asperellum*+*M. anisopliae*+*B. subtilis*). T2: *M. anisopliae*. T3: *B. subtilis*. T6: *M. anisopliae*+*B. subtilis*.

DISCUSIÓN

Tomando en consideración el conjunto de variables medidas, podemos evidenciar que en los tratamientos donde se utilizó la cepa del hongo *T. asperellum*, de manera individual o en consorcio, rindieron las mejores respuestas. Es decir, en todos los casos donde se aplicó *T. asperellum* al sustrato; ya sea solo o en mezcla con *M. anisopliae* o *B. subtilis* o la combinación de los 3, las plántulas de tomate y pimentón resultaron con la mayor promoción del crecimiento. Lo anterior nos conduce a señalar que esta respuesta se debe o está relacionada con la cepa de *T. asperellum* utilizada. La promoción del crecimiento que causó el *T. asperellum* se vio reflejada en una mayor altura, un mayor grosor del cuello, un

mayor contenido de materia seca de raíces y de la parte aérea de las plántulas de tomate y pimentón.

Efecto similar sobre el crecimiento de plántulas de tomate es señalado por Gómez *et al.* (2013), quienes reportaron el incremento en la longitud de tallos y raíces, así como del peso seco total de plántulas de tomate por efecto de una cepa de *T. asperellum*. Además, incrementos en las variables de crecimiento de plantas de tomate es reportado para otras especies de *Trichoderma*, como *T. harzianum* (Jiménez *et al.*, 2011; Santana *et al.*, 2016). Así mismo, Ozbay *et al.* (2004) encontraron que el número de hojas verdaderas, altura y peso de retoño, peso seco y fresco de las raíces de tomate aumentaron cuando fueron tratadas con *Trichoderma* spp. Igualmente, *T.*

atroviride y *T. harzianum* son reportadas por Tucci *et al.* (2011) como promotoras del crecimiento del tomate.

En pimentón, también han sido reportados efectos positivos en la promoción del crecimiento por el uso de cepas de *Trichoderma*. Por ejemplo, Gugón *et al.* (2004) reportaron incrementos en la altura, número de hojas, área foliar, así como de biomasa de raíz y aérea de plantas de pimentón por la acción *Trichoderma* spp. También, Candelero *et al.* (2015) encontraron incrementos en la altura de plantas, longitud de la raíz y biomasa seca total de *Capsicum chinense* Jacq. por el tratamiento con cepas de *Trichoderma*.

Aunque no fueron estudiados, la respuesta positiva que generó *T. asperellum* está relacionada con algunos de los mecanismos que han sido descritos para la promoción del crecimiento en *Trichoderma*. Entre estos mecanismos tenemos: capacidad para incrementar la solubilidad del zinc, cobre, hierro e iones de manganeso, así como fosfato y otros micronutrientes, producción de compuestos orgánicos y fitohormonas e inducción de resistencia sistémica (Shores *et al.*, 2010; Saba *et al.*, 2012).

Sobre el efecto de *B. subtilis* y para la mayoría de las variables medidas, la sola aplicación de la cepa tendió a generar respuestas similares al testigo, tanto en tomate como en pimentón. Es decir, la cepa de *B. subtilis* no mostró un efecto destacable en la promoción del crecimiento de las plántulas. Por otro lado, cuando se aplicó en consorcio con *T. asperellum*, las respuestas fueron superiores al testigo y cuando se mezcló con *M. anisopliae*, las respuestas fueron menores. En estos casos, el efecto positivo se debe al *T. asperellum* y el efecto negativo al *M. anisopliae*. Resultados diferentes son reportados por Cabra *et al.* (2017) quienes hallaron que una cepa de *B. subtilis* promovió el crecimiento de plántulas de tomate, originando un aumento significativo en la biomasa, con una mayor longitud de tallo y raíz. Mencionan que las cepas de *B. subtilis* evidenciaron capacidad para solubilizar fosfatos y producir ácido indolacético, lo cual influyó

positivamente en el desarrollo de las plántulas de tomate. También, Guzmán *et al.* (2013) reportan que la inoculación con *B. subtilis* aumentó la materia seca radical de plántulas de tomate de mesa. Además, Qiao *et al.* (2017) han demostrado que *B. subtilis* actúa como un agente protector de las raíces de plantas, sin causar efectos perjudiciales sobre la comunidad microbiana de la rizósfera.

La cepa de *M. anisopliae* utilizada en este trabajo provocó efectos adversos o negativos sobre las plántulas de tomate y pimentón, ya que las variables de crecimiento obtenidas con la aplicación de la cepa fueron inferiores al tratamiento testigo. Además, cuando se aplicó en consorcio con *B. subtilis* todavía resultó menos favorable para el desarrollo de las plántulas. Mientras que cuando se aplicó en consorcio con *T. asperellum*, las respuestas fueron superiores al testigo, lo que indica que el efecto se debió a la cepa de *Trichoderma*. Controversialmente a este resultado, García *et al.* (2011) reportaron que 3 cepas de *M. anisopliae* promovieron el crecimiento y mostraron actividad endofítica en plantas de tomate. Reportan que 3 cepas de *M. anisopliae* incrementaron significativamente el peso de las plantas. También, Dutta *et al.* (2015) encontraron que una cepa de *M. anisopliae* causó un aumento significativo en la germinación de las semillas, incrementó la longitud de la raíz y la producción de biomasa de plántulas de tomate a los 35 días de sembradas.

Otras especies de *Metarhizium* como *M. robertsii* son señaladas con capacidad para estimular el crecimiento de las raíces de *Phaseolus vulgaris* L. (Sasan y Bidochka, 2012). Además, en otras plantas como el sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), Mantzoucas *et al.* (2015) no reportaron ningún efecto detrimental sobre la fisiología y el crecimiento de plantas jóvenes cuando fueron asperjadas con una cepa de *M. robertsii*.

El efecto negativo sobre el crecimiento de plántulas de tomate y pimentón por el hongo entomopatógeno *M. anisopliae* puede estar relacionado con su adaptación ecológica para interactuar con insectos y no con plantas. La cepa

utilizada en esta investigación fue aislada de larvas del insecto *Phyllophaga* sp. Además, es conveniente señalar que *M. anisopliae* es reportado como hongo capaz de producir diferentes compuestos metabólicos y enzimas (Domsch *et al.*, 1980) que probablemente pudieron afectar la fisiología de las plántulas.

A parte de su papel como promotores del crecimiento, microorganismos con *T. asperellum* y *B. subtilis* han sido ampliamente documentados como agentes protectores contra fitopatógenos del tomate y pimentón. Por ejemplo, Fousia *et al.* (2016) encontraron que *B. subtilis* puede conferir protección sistémica contra la bacteria *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* causante de la peca bacteriana del tomate. Igualmente, Araujo y Menezes (2009) reportan el incremento en la actividad de las peroxidasas en plantas de tomate, como respuesta a la aplicación de *B. subtilis*, lo cual evidencia inducción de resistencia sistémica. En pimentón, Segarra *et al.* (2013) mencionan reducción de la enfermedad causada por *Phytophthora capsici* Leonian debido a una cepa de *T. asperellum*. Además, *T. asperellum* es reportado como un importante agente de control de nematodos agalladores del tomate como *Meloidogyne incognita* (Hernández-Ochandía *et al.*, 2015).

Los resultados sugieren que la aplicación de una cepa altamente rendidora como *T. asperellum* es suficiente para generar una respuesta positiva, sin la necesidad de recurrir al consorcio o mezcla de cepas de diferentes especies que puede conducir a interacciones antagónicas entre los microorganismos.

Desde el punto de vista práctico, la utilización de *T. asperellum* puede ser incorporada en la producción de plántulas de tomate y pimentón, visto el potencial para incrementar el desarrollo de las plántulas. Además de que, como es señalado en la literatura, pudiera proteger a las plántulas contra agentes fitopatógenos. También es importante resaltar que con una sola aplicación del hongo se pueden obtener plántulas más vigorosas y con mayor potencial de adaptación al terreno en el momento del trasplante.

CONCLUSIONES

1. La cepa de *T. asperellum*, aplicada al sustrato, incrementó los parámetros de crecimiento vegetativo, con lo cual se promovió el crecimiento de las plántulas obteniéndose plántulas de tomate y pimentón de mejor porte, sanas y vigorosas para el trasplante a campo.
2. La cepa de *B. subtilis* no mejoró las variables de crecimiento de las plántulas de tomate y pimentón, mientras que la cepa de *M. anisopliae* afectó el crecimiento de las mismas.
3. La aplicación de una cepa de una única especie, rindió mejores respuestas que la aplicación conjunta de 2 o 3 cepas de especies distintas.

REFERENCIAS

- Araujo, F., Menezes, D. (2009). Induction of resistance in tomato by biotic (*Bacillus subtilis*) and abiotic (Acibenzolar-S-Metil) inducers. *Summa Phytopathologica* 35(3):169-172.
- Ávila, M. de C., Umaña, M.I. (1988). Aspectos de la biología y patogenicidad del hongo *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin, sobre *Aeneolamia varia* (F). *Revista ICA* 23:155-161.
- Bae, H., Sicher, R.C., Kim, M.S., Kim, S.H., Strem, M.D., Melnick, R.L. Bailey, B.A. (2009). The beneficial endophyte *Trichoderma hamatum* isolate DIS 219b promotes growth and delays the onset of the drought response in *Theobroma cacao*. *J. Exp. Bot.* 60:3279-3295.
- Cabra, T., Rodríguez, C., Villota, C., Tapasco, O., Hernández, A. (2017). *Bacillus* effect on the germination and growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Acta Biol. Colomb.* 22(1):37-44.
- Candelero, D.J. Cristóbal, A., Reyes, R.A., Tun, S., Gamboa, A., Ruiz, S.E. (2015). *Trichoderma* spp. Promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y

- antagónicas contra *Meloidogyne incognita*. Revista FYTON 84:113-119.
- Chang, Y., Baker, R., Kleifeld, O., Chet, I. (1986). Increased growth of plants in the presence of the biological control agent *Trichoderma harzianum*. Plantdisease 70:145-148.
- Contreras-Cornejo, H.A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Penagos, C. López-Bucio, J. (2009). *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. Plant. Physiol. 149:1579–1592.
- De La Rosa, W., Godínez, J.L., Alatorre, R. 1995. Biological activity of five strains of *Metarhizium anisopliae*, upon the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Col.: Scolytidae). Entomophaga 40(3/4):403-412.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., Robledo, C.W. (2008). Info Stat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Domsch, K.H., Gams, W., Anderson, T.H. (1980). Compendium of soil fungi. Academic Press, London. UK.1380p.
- Dutta, P., Kaushik, H., Bhowmick, P., Puzari, K.C., Hazarika, G.N. (2015). *Metarhizium anisopliae* as endophyte has the ability of plant growth enhancement. Int. J. Curr. Res. 7(4): 14300-14304.
- Fousia, S., Paplomatas, E., Tjamos, S. (2016). *Bacillus subtilis* QST713 confers protection to tomato plants against *Pseudomonas syringae* pv *tomato* and induces plant defense-related genes J. Phytopathol. 164:264-270.
- García, J.L., Posadas J.B., Perticari, A., Lecuona R. (2011). *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin promotes growth and has endophytic activity in tomato plants. Advances in Biological Research 5 (1): 22-27.
- Guzmán O., Castaño, J., Sánchez, M.(2013). Estudio preliminar del efecto de microorganismos benéficos sobre el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y el nematodo del nudo radical (*Meloidogyne* spp.). Agron. 21(2):51-64.
- Gómez, S., Gilchrist, E., Reynaldi, S. (2013). Importancia del aislamiento y del rango de concentración de conidias en el efecto de *Trichoderma asperellum* sobre el crecimiento de plántulas de *Solanum lycopersicum* L. Rev. Colomb. Biotecnol. XV (1):118-125.
- Guigón, C., González, P.A. (2004). Selección de cepas nativas de *Trichoderma* spp. con actividad antagónica sobre *Phytophthora capsici* Leonian y promotoras de crecimiento en el cultivo de chile (*Capsicum annum* L.). Revista Mexicana de Fitopatología 22(1):117-124.
- Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I., Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts. Nat. Rev. Microbiol. (2):43–56.
- Hernández-Ochandía, D., Rodríguez, M., Peteira, B., Miranda, I., Arias, Y., Martínez, B. (2015). Efecto de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt y Nirenberg sobre el desarrollo del tomate y *Meloidogyne incognita* (Kofoid Y White) Chitwood. Rev. Protección Veg. 30(2): 139-147.
- Jiménez, C., Sanabria, 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.
- Lorito, M., Woo, S.L., Harman, G.E., Monte, E. (2010). Translational research on *Trichoderma*: from omics to the field. Annu. Rev. Phytopathol. 48:395–417.
- Mantzoucas, S., Chondrogiannis, C., Grammatikopoulos, G. (2015). Effects of three endophytic entomopathogens on sweet sorghum and on the larvae of the stalk borer *Sesamia nonagrioides*. Entomologia Experimentalis et Applicata 154:78–87.
- Ozbay, N., Newman, S.E., Brown, W.M. (2004). The Effect of the *Trichoderma harzianum* strains on the growth of tomato seedlings. Acta Hort. 635: 131-135.

- Poinar G.O., Thomas G.M. 1982. Diagnostic manual for the identification of insect pathogens. 1 ed., Plenum Press. New York, USA. 218p.
- Qiao, J., Yu, X., Liang, X., Liu, Y., Borriess, R., Liu, Y.(2017). Addition of plant-growth-promoting *Bacillus subtilis* PTS-394 on tomato rhizosphere has no durable impact on composition of root microbiome. BMC Microbiol. 17:131-143.
- Saba, H., Vibhash. D., Manisha, M., Prashant, K.S., Farhan, H., Tauseef, A. (2012). *Trichoderma* – a promising plant growth stimulator and biocontrol agent. Mycosphere 3(4):524-531.Disponible en: http://www.mycosphere.org/pdf/MC3_4_No14.pdf
- Santana, Y., Busto, A., González. Y., Aguiar, I., Carrodegua, S., Páez, P., Díaz, G. (2016). Efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai y Fito Mas-E como bioestimulantes de la germinación y crecimiento de plántulas de tomate. Revista Centro Agrícola (Cuba). 43(3): 5-12.
- Sasan, R., Bidochka, M.J. (2012). The insect-pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* (Clavicipitaceae) is also an endophyte that stimulates plant root development. American Journal of Botany 99(1):101-107.
- Segarra, G., Avilés, M., Casanova, E., Borrero, C., Trillas, I. (2013). Effectiveness of biological control of *Phytophthora capsici* in pepper by *Trichoderma asperellum* strain T34. Phytopathologia Mediterranea 52(1): 77-83.
- Shoresh, M., Harman, G., Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. Annu. Rev. Phytopathol. 48:21-43.
- Tejera-Hernández, B., Rojas-Badía, M., Heydrich-Pérez, M. (2011). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. Revista CENIC Ciencias Biológicas. 42(3):131-138. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181222321004>
- Tucci, M., Ruocco, R., Masi, L., Palma, M., Lorito, M. (2011).The beneficial effect of *Trichoderma* spp. on tomato is modulated by the plant genotype. Molecular Plant Pathology 12(4):341-354.

LOS BIOFERTILIZANTES COMO UNA HERRAMIENTA DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE EN LOS CULTIVOS DEL PIMENTÓN Y DEL CAFÉ

BIOFERTILIZERS AS A TOOL OF SUSTAINABLE AGRICULTURE IN THE PEPPER AND COFFEE CROPS

AUTORES:

Sánchez, Luberto-Argenis; Dávila, Belsy; Briceño, José; Valery, Alexis.

Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental. Decanato de Investigación. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

Corresponding Author:
lasanchez@unet.edu.ve

Palabras clave: Fertilizantes, agricultura sostenible, microorganismos rizosféricos.

Key words: Fertilizers, sustainable agriculture, rhizospheric microorganisms.

RESUMEN

La contaminación ambiental está relacionada principalmente al incremento en la atmósfera de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), producto de diferentes procesos naturales y de actividades antropogénicas como la agricultura convencional. Uno de los insumos ampliamente utilizados en esta agricultura son los fertilizantes sintéticos, con los que se busca suplir las necesidades nutricionales de los cultivos agrícolas; sin embargo, estos contribuyen en las emisiones de CH_4 y N_2O a la atmósfera. Existen alternativas tecnológicas sostenibles al uso de fertilizantes sintéticos, como los biofertilizantes. Estos insumos biológicos son a base de microorganismos rizosféricos benéficos, principalmente hongos y bacterias, con relaciones simbióticas mutualistas en la rizósfera de las plantas, que estimulan el crecimiento de los cultivos agrícolas a través de mecanismos como la fijación biológica del nitrógeno, la disolución de fosfatos y la síntesis de fitohormonas. El propósito del trabajo fue evaluar el uso de los biofertilizantes en cultivos como el pimentón y el café, bajo diferentes condiciones ambientales, mediante la inoculación de las semillas con los microorganismos con potencial biofertilizante. Las variables medidas en los cultivos consistieron en el porcentaje de germinación de las semillas, la altura de la planta y el rendimiento. Los resultados demuestran el beneficio del uso de los biofertilizantes en los cultivos agrícolas a través del uso racional de los recursos naturales, lo cual permitiría reducir las emisiones de GEI a la atmósfera e impulsar un modelo productivo.

ABSTRACT

Environmental pollution is mainly related to the increase of greenhouse gases concentrations (GHG) in the atmosphere, product of different natural processes and anthropogenic activities such as conventional agriculture. One of the products widely used in this agriculture is the synthetic fertilizer, which is used in order to meet the nutritional needs of agricultural crops; however, it contributes to the emissions of CH_4 and N_2O into the atmosphere. There are sustainable technological alternatives to the use of synthetic fertilizers such as biofertilizers. These biological products are based on beneficial rhizospheric microorganisms, mainly fungi and bacteria, with mutualistic symbiotic relationships in the rhizosphere of plants, which stimulate the growth of agricultural crops through mechanisms such as the biological fixation of nitrogen, the dissolution of phosphates and the synthesis of phytohormones. The aim of the work was to evaluate the use of biofertilizers in crops such as paprika and coffee, under different environmental conditions; by inoculating the seeds with microorganisms with biofertilizing potential. The variables measured in the crops consisted of the percentage of germination of the seeds, the height of the plant and yield. The results show the benefits of using biofertilizers in agricultural crops through the rational use of natural resources, which would reduce GHG emissions to the atmosphere and promote a productive model.

INTRODUCCIÓN

Un incremento de 2°C en la temperatura de la Tierra pudiera desencadenar una catástrofe ambiental. En tal sentido, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) deben ser disminuidas en los próximos años, principalmente a través del uso de tecnologías más amigables con el ambiente. Sin embargo, hoy en día existen actividades antropogénicas, como la agricultura convencional, que vienen afectando categóricamente los ecosistemas naturales, pues algunas prácticas agrícolas como la preparación del suelo con maquinaria que depende de combustibles fósiles, el control de plagas y enfermedades con el uso de plaguicidas químicos y la nutrición mineral de las plantas a través del uso excesivo de fertilizantes sintéticos, han generado pérdida de diversidad biológica, contaminación de los acuíferos, alimentos menos saludables y emisiones de GEI.

La fertilización química sintética en los cultivos agrícolas tiene como finalidad suministrar las cantidades suficientes de los nutrientes esenciales a los sistemas suelo-planta, de tal manera que se cubran los requerimientos nutricionales y así alcanzar altos niveles de productividad (Solórzano 2001).

Uno de los principales fertilizantes utilizados en la agricultura convencional son los nitrogenados, los cuales aplicados en exceso pueden alterar el equilibrio de las especies vegetales terrestres, generar excedentes de nutrientes en los sistemas acuáticos y originar la presencia en la atmósfera de gases ricos en nitrógeno como el óxido nítrico (causante de fenómenos como la lluvia ácida) y el óxido nitroso (productor del efecto invernadero) (Martínez *et al.* 2011).

Finalmente, una vez incorporados los fertilizantes sintéticos en el ecosistema suelo pueden generar más de 136 millones de kg de emisiones de GEI (Niles 2008). Existen alternativas tecnológicas sostenibles al uso de fertilizantes químicos, como los biofertilizantes. Estos insumos biológicos son a base de microorganismos rizosféricos benéficos, principalmente hongos y bacterias, con

relaciones simbióticas mutualistas en la rizósfera de las plantas.

Entre las principales funciones de los biofertilizantes se puede señalar la estimulación del crecimiento de los cultivos a través de mecanismos como la fijación biológica del nitrógeno, la disolución de fosfatos y la síntesis de fitohormonas. Además, se conoce que la biofertilización promueve la diversidad microbiana del suelo, lo cual puede implicar para los suelos agrícolas mayores tasas de descomposición de la materia orgánica y de transformación del N atmosférico en formas orgánicas (Niles 2008). Entre los hongos del suelo rizosférico más estudiados como promotores de crecimiento se encuentran distintas especies de los géneros *Trichoderma*, *Gliocladium*, *Penicillium* y *Fusarium* (Silvana 2011); y entre las bacterias se encuentran los géneros pertenecientes a *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Pseudomonas* (Fuentes-Ramírez y Caballero-Mellado 2005).

El efecto benéfico de los microorganismos rizosféricos en lo referente a la productividad de los cultivos agrícolas ha sido argumento de estudio de diferentes investigadores, los cuales han encontrado beneficios en la asociación entre los microorganismos promotores de crecimiento y los cultivos, con la ventaja de sustituir o reducir el uso de los fertilizantes sintéticos en la agricultura, los cuales pueden tener un impacto negativo en el secuestro del carbono (Niles 2008).

Entre los efectos positivos de los microorganismos en las plantas se han registrado incrementos significativos respecto al testigo químico fertilizado no inoculado, de hasta 125% en el número de frutos por planta de ají, producto de tratamientos fertilizados e inoculados con consorcios microbianos de *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum* sp. (Rodríguez *et al.* 2010).

El rendimiento por planta también se ha favorecido con la utilización de microorganismos benéficos; en tal sentido, se ha reportado en

plantas de tomate que con solo aplicar 75% del fertilizante recomendado, pero al mismo tiempo inoculado con *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. pumilus* y *Glomus intraradices*, se han encontrado rendimientos equivalentes al tratamiento con 100% de fertilizante sin inóculo (Adesemoye *et al.* 2009).

En pimentón se ha reducido 25% la aplicación de fertilizante químico completo (N-P-K), con el empleo de consorcios microbianos de *Azotobacter* sp. y *Azospirillum* sp. (Trimurtulu *et al.* 2011), y en plantas de ají con la utilización de tratamientos fertilizados e inoculados con *Penicillium janthinellum* se encontró un incremento significativo de 15% sobre el rendimiento, en comparación con el tratamiento no inoculado (Rodríguez *et al.* 2010).

Por todo lo anterior, se consideró oportuno realizar una investigación sobre el uso de los biofertilizantes en cultivos agrícolas como el pimentón y el café, y su efecto en algunas variables de crecimiento de la planta y propiedades químicas y biológicas del suelo, con la finalidad de disminuir o sustituir el uso de los fertilizantes químicos y por tanto contribuir en la reducción de emisiones de CH₄ y N₂O a la atmósfera, provenientes de la actividad agrícola convencional.

MÉTODO

Desarrollo de los experimentos

Los experimentos con los biofertilizantes para los cultivos agrícolas se desarrollaron en diferentes condiciones ambientales (Tabla 1).

Biofertilizantes evaluados

Para cada cultivo agrícola se evaluaron diferentes biofertilizantes en forma individual y en consorcios microbianos (Tabla 2), y se aplicaron de la siguiente manera: en pimentón se realizó en la siembra mediante la inoculación de la semilla de acuerdo a la metodología descrita por Reyes *et al.* (2008). Seguidamente, en el trasplante de las plántulas se realizó una segunda inoculación microbiana y a los 15 días después del trasplante se realizó una última inoculación microbiana en dosis de 20 ml por planta. En el cultivo del café, en la etapa de vivero los biofertilizantes se aplicaron en la siembra, a los 15 días del trasplante y a los 4 meses del trasplante, utilizando una dosis de 5 ml por planta. En condiciones de campo, al cultivo del café se le realizaron tres inoculaciones microbianas, al trasplante y posteriormente dos cada 5 meses; en cada aplicación se utilizó una dosis de 20 ml por planta. En todos los cultivos agrícolas las inoculaciones microbianas se realizaron en una concentración aproximada de 1×10^7 UFC.ml⁻¹.

Tabla 1. Lugar y condiciones ambientales de los experimentos con los biofertilizantes, en los distintos cultivos agrícolas.

Lugar del experimento	Condiciones ambientales	Cultivo agrícola
U. A. "La Primavera", Cordero, municipio Andrés Bello.	Altitud: 1100 msnm Temperatura: 19° C	Pimentón, cv "cacique".
Umbráculo del Laboratorio de Biofertilizantes (UNET), San Cristóbal.	Altitud: 1000 msnm Temperatura: 28° C	Café en etapa de vivero, cv "caturra".
U. A. "La Tuquerena", Rubio, municipio Junín.	Altitud: 910 msnm Temperatura: 23° C	Café en el primer año de establecimiento en campo, cv "INIA 01".

U. A.: Unidad Académica; msnm: metros sobre el nivel del mar; cv: cultivar.

Tabla 2. Biofertilizantes utilizados en los distintos cultivos agrícolas.

Cultivo agrícola	Biofertilizantes evaluados
Pimentón, cv “cacique”.	2 cepas fúngicas (IR y VP), 1 cepa bacteriana (17) y los consorcios microbianos de las cepas fúngicas con la bacteriana (biofertilizante IR17 y VP17).
Café en etapa de vivero, cv “catarra”.	2 cepas fúngicas (IR y VP), 2 cepas bacterianas (AB y 17) y los consorcios microbianos de las cepas fúngicas con las bacterianas (biofertilizante IR17, IRAB, VP17 y VPAB).
Café en el primer año de establecimiento en campo, cv “INIA 01”.	Se evaluó la cepa fúngica (IR) en consorcio con la cepa bacteriana AB (biofertilizante IRAB).

IR: *Penicillium rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; 17: *Enterobacter* sp.; AB: *Azospirillum brasilense*; cv: cultivar.

Tratamientos y variables

En el experimento con pimentón fueron 6 tratamientos biológicos, con 3 niveles de fertilización química, para un total de 18 tratamientos. En el experimento con café en etapa de vivero cv “catarra” se establecieron 9 tratamientos biológicos, con 2 niveles de roca fosfórica, sin uso y con aplicación de la roca fosfórica, para un total de 18 tratamientos. Por último, en el cultivo del café en condiciones de campo se conformaron 9 tratamientos. Todos los tratamientos se establecieron totalmente aleatorizados (Tabla 3).

Análisis estadístico

Los datos del rendimiento por planta en el cultivo del pimentón, la AP, el Pd en el suelo del experimento del cultivo de café cv “catarra”, y el NH y esporas de micorrizas en el suelo del experimento del cultivo de café cv “INIA 01”, se sometieron a la prueba de Kruskal Wallis, debido a que no cumplían con los supuestos de normalidad y de homocedasticidad de las varianzas. Los datos de las evaluaciones de la AP del cultivo del café cv “INIA 01” se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) (Montgomery 1991).

Tabla 3. Tratamientos y variables evaluadas en los distintos cultivos agrícolas.

Cultivo agrícola	Tratamientos	Variables de respuesta
Pimentón, cv “cacique”.	TA, 17, IR, VP, IR17, VP17. Niveles de fertilización química: - Sin fertilización: 0-0-0 - Sin P ₂ O ₅ : N-0-K - Comercial: N-P-K*	- Rendimiento (g.planta ⁻¹).
Café en etapa de Vivero, cv “catarra”.	TA, 17, AB, IR, VP, IR17, IRAB, VP17, VPAB Niveles de aplicación de RF: - Sin uso de RF: SR (0 g.planta ⁻¹) - Con aplicación de RF: CR (52 g.planta ⁻¹)	- AP: (cm.planta ⁻¹). - Pd: Fósforo disponible (mg.kg ⁻¹ suelo).
Café en el primer año de establecimiento en campo, cv “INIA 01”.	TA, IRAB, IRAB+RF, FQ25%, IRAB+FQ25%, FQ50%, IRAB+FQ50%, TARF (52 g.planta ⁻¹) y TQC (150 g.planta ⁻¹ de fórmula 12-12-17)	- AP: (cm.planta ⁻¹). - NH: (hojas.planta ⁻¹). -Micorrizas (esporas.100 g ⁻¹).

TA: Testigo absoluto; IR: *Penicillium rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; 17: *Enterobacter* sp.; AB: *Azospirillum brasilense*; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; *Extracción de 70, 16 y 92 kg.ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. RF: roca fosfórica; SR: sin roca fosfórica; CR: con aplicación de roca fosfórica; FQ25%: fertilización química a 25% de la dosis comercial; FQ50%: fertilización química a 50% de la dosis comercial; TQC: fertilización a dosis comercial; AP: altura de la planta; NH: número de hojas; cv: cultivar.

RESULTADOS

Efecto de la biofertilización y fertilización química sobre el rendimiento del cultivo del pimentón

Para el rendimiento del pimentón se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) en los

tratamientos evaluados. La aplicación de N y K y la inoculación del consorcio microbiano de la cepa fúngica IR con la cepa bacteriana 17 (N-0-K+IR17) alcanzó un rendimiento de 470,1 g.planta⁻¹, por lo que se incrementó en 387% el rendimiento por planta, respecto al tratamiento testigo no inoculado (N-0-K+TA3) (Tabla 4).

Tabla 4. Efecto de la biofertilización con diferentes niveles de fertilización química sobre el rendimiento del pimentón.

Tratamientos	Rendimiento (g.planta ⁻¹)
0-0-0+TA1	68,6 def
0-0-0+17	68,7 de
0-0-0+IR	94,4 cd
0-0-0+VP	22,7 f
0-0-0+IR17	25,9 f
0-0-0+VP17	54,3 ef
N-P-K+TA2	164,0 abc
N-P-K+17	86,8 cde
N-P-K+IR	245,0 ab
N-P-K+VP	194,2 ab
N-P-K+IR17	59,3 def
N-P-K+VP17	183,3 bc
N-0-K+TA3	96,5 cd
N-0-K+17	66,4 def
N-0-K+IR	297,2 ab
N-0-K+VP	73,6 de
N-0-K+IR17	470,1 a
N-0-K+VP17	167,0 abc

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba estadística de Kruskal Wallis a un nivel de confianza de 95 %; n=9; 0N-0P-0K: testigo absoluto; N-P-K: fertilización completa; N-0P-K: sin aplicación de P₂O₅; 0-0-0: tratamiento sin fertilización; N-P-K: tratamiento comercial; N-0-K: tratamiento sin aplicación de P₂O₅; TA1, TA2 y TA3: testigo no inoculado; 17: *Enterobacter* sp.; IR: *P. rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.

Incidencia de la biofertilización con y sin aplicación de la roca fosfórica sobre la altura de la planta y el P disponible en el suelo adyacente a la rizósfera del café cv “caturra”, en la etapa de vivero

Se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) en los tratamientos evaluados. Sin uso de la roca fosfórica (SR) (Tabla 5), el biofertilizante 17 incrementó la AP 34%. Igualmente, con la incorporación de la roca fosfórica (RF) los biofertilizantes 17 y VP incrementaron en promedio 11% la AP, en comparación al

tratamiento TA.

El fósforo disponible (Pd) en el suelo adyacente a la rizósfera del café, sin uso de la roca fosfórica (SR), se encontró en los tratamientos biofertilizados contenidos de Pd por debajo de 15 mg.kg⁻¹ de suelo con condiciones de baja disponibilidad (B) del elemento en el suelo. Sin embargo, con aplicación de la roca fosfórica (RF), la mayoría de los tratamientos se asociaron a contenidos de Pd por encima de 35 mg.kg⁻¹ de suelo con condiciones de alta disponibilidad del elemento en el suelo (Tabla 6).

Tabla 5. Efecto de la biofertilización y de la roca fosfórica sobre la altura de la planta de café cv “caturre”, al final de la etapa de vivero.

Tratamiento biológico	SR	RF
	AP (cm.planta ⁻¹)	AP (cm.planta ⁻¹)
TA	19,70 bc	23,80 bc
17	26,30 a	26,20 a
AB	18,70 c	24,00 abc
IR	17,60 bc	25,70 ab
VP	25,60 abc	26,20 a
IR17	25,00 ab	23,10 c
IRAB	12,00 c	24,00 bc
VP17	21,30 bc	22,20 abc
VPAB	20,60 bc	22,70 c

SR: Sin uso de la roca fosfórica; RF: Con aplicación de la roca fosfórica; TA: Tratamiento absoluto; IR: *P. rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp; AB: *A. brasilense* y 17: *Enterobacter* sp. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba estadística de Kruskal Wallis a un nivel de confianza de 95 %; n=5.

Tabla 6. Incidencia de la biofertilización y de la roca fosfórica en la disponibilidad de fósforo del suelo adyacente a la rizósfera de café cv “caturre”, al final de la etapa de vivero.

Factores	Tratamiento biológico	Fósforo disponible (mg.kg ⁻¹ suelo)	Interpretación del fósforo disponible
SR	TA	16,05 a	M
	17	13,08 abc	B
	AB	13,08 abc	B
	IR	14,45 ab	B
	VP	12,62 cd	B
	IR17	8,50 d	B
	IRAB	13,76 abc	B
	VP17	12,62 bc	B
	VPAB	13,54 abc	B
RF	TA	37,35 a	A
	17	46,06 a	A
	AB	33,92 a	M
	IR	36,21 a	A
	VP	37,12 a	A
	IR17	40,10 a	A
	IRAB	46,06 a	A
	VP17	41,71 a	A
	VPAB	39,19 a	A

SR: Sin uso de la roca fosfórica; RF: Con aplicación de la roca fosfórica; TA: Tratamiento absoluto; IR: *P. rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp; AB: *A. brasilense* y 17: *Enterobacter* sp.; B: Bajo; M: Mediano; A: Alto. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba estadística de Kruskal Wallis a un nivel de confianza de 95 %; n=5.

Respuesta del café cv “INIA 01” y presencia de micorrización nativa a la aplicación de biofertilizantes, roca fosfórica y diferentes niveles de fertilización química, en condiciones de campo

En el experimento realizado se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) en los tratamientos evaluados para las variables respuestas NH y esporas de micorrizas nativas en el suelo. En promedio los tratamientos IRAB,

TARF, IRAB+RF, FQ25%, FQ50% e IRAB+FQ50% presentaron un incremento de 86% en el NH (Tabla 7). Así mismo, los tratamientos IRAB+25% y TQC no presentaron diferencias en el NH en comparación con el TA; sin embargo, estos tratamientos (IRAB+25% y TQC) redujeron significativamente la presencia de esporas micorrizas nativas en el suelo en 80,4% en promedio, respecto al TA.

Tabla 7. Efecto de la biofertilización, uso de roca fosfórica y diferentes niveles de fertilización química, sobre la altura y número de hojas del cafeto, y micorrización nativa, en condiciones de campo.

Tratamientos	AP ^a (cm.planta ⁻¹).	NH ^{*a} (hojas.planta ⁻¹).	Micorrizas ^{*b} (esporas.100g ⁻¹)
TA	48,1 a	35 bc	54,6 ab
IRAB	53,0 a	63 a	58,6 ab
TARF	54,9 a	63 a	60,0 a
IRAB+RF	47,7 a	62 a	30,0 bc
FQ25%	55,7 a	62 a	34,0 abc
IRAB+FQ25%	46,2 a	30 c	13,4 c
FQ50%	51,6 a	67 a	32,6 abc
IRAB+FQ50%	49,8 a	73 a	32,0 abc
TQC	55,0 a	52 abc	8,0 c

TA: Testigo absoluto; IRAB: Consorcio microbiano de *P. rugulosum* y *A. brasilense*; TARF: Con aplicación de roca fosfórica; FQ25%: Fertilización química a 25% de la dosis comercial; FQ50%: Fertilización química a 50% de la dosis comercial; TQC: Fertilización a dosis comercial; AP: Altura de la planta; NH: Número de hojas. *Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba estadística de Kruskal Wallis a un nivel de confianza de 95 %; ^an=5; ^bn=3.

DISCUSIÓN

Efecto de la biofertilización y fertilización sintética en el cultivo del pimentón

El tratamiento N-0-K+IR17 permitió ahorrar el empleo de fertilizantes solubles fosfatados, los cuales son muy ineficientes, debido a que menos de 20% de las aplicaciones al suelo son aprovechadas por el cultivo durante el primer ciclo (Plaxton y Tran 2011), pues el P pasa rápidamente a formas solubles no disponibles para las plantas y se almacena en el suelo (Montecinos 1997). En tal sentido, se considera la utilización de *P. rugulosum*, cepa IR, y *Enterobacter* sp., cepa 17, como un consorcio microbiano con potencial biofertilizante en el

cultivo del pimentón, y así propiciar el manejo sostenible del P en el sistema suelo-planta.

Incidencia de la biofertilización y fosfatos naturales sobre el café cv “caturra”, en la etapa de vivero

La biofertilización ha mostrado efectos positivos sobre variables agronómicas del café, pues Ibarra-Puón *et al.* (2014) encontraron un incremento en la altura del café de 53% al biofertilizar con *Rhizophagus intraradices*, y de 50% con *A. brasilense*, respecto al tratamiento sin aplicación de biofertilizantes. De igual manera, en esta investigación la cepa bacteriana *Enterobacter* sp. y la cepa fúngica *Trichoderma* sp. mostraron efectos favorables sobre el café, lo cual permitirá

proponer estos microorganismos como una alternativa amigable al ambiente para aumentar la disolución de los fosfatos naturales y de esta forma percibir efectos favorables en el crecimiento del café.

Estos resultados señalan la importancia de considerar la compatibilidad de los microorganismos rizosféricos con la planta hospedera, y del uso de roca fosfórica como fuente de fertilizante fosfatada para aumentar la disponibilidad del fósforo en el suelo, sin aplicación de fertilizantes sintéticos, los cuales pueden presentar una incidencia negativa en el secuestro del carbono (Niles 2008); por otra parte, se estaría propiciando la incorporación de técnicas de mitigación que puedan secuestrar emisiones excesivas de GEI.

Respuesta del café cv “INIA 01” en condiciones de campo a la aplicación de biofertilizantes y roca fosfórica

La biofertilización y el uso de la roca fosfórica en el cultivo del café, bajo un sistema de producción orgánico, parecen ser las tecnologías novedosas más prometedoras y conservacionistas del ambiente para la promoción del número de hojas en el café y la presencia de micorrizas nativas en el suelo. Actualmente se conocen los efectos benéficos de las micorrizas sobre las plantas como el mejor uso de los fertilizantes orgánicos, protección contra patógenos y la mayor absorción de algunos elementos poco móviles en el suelo (fósforo, zinc y cobre) y por tanto ahorrar aplicaciones de fertilizantes sintéticos, que generan problemas de contaminación ambiental (Cuenca *et al.* 2007).

Finalmente, los experimentos desarrollados bajo diferentes condiciones ambientales con los distintos cultivos agrícolas y con diversos microorganismos con potencial biofertilizante, permitieron observar la eficiencia de los inóculos en dos aspectos: primero, como promotores de crecimiento vegetal y, segundo, evaluar la capacidad bioquímica de los microorganismos como disolventes de fosfatos naturales. También, los resultados indican la eficiencia favorable generada por los biofertilizantes sobre las variables de respuesta y al mismo tiempo para la

reducción de las aplicaciones de fertilizantes sintéticos. En tal sentido, en el cultivo del pimentón, se observó la eficiencia favorable del consorcio microbiano de *P. rugulosum*, cepa IR, y *Enterobacter* sp., cepa 17, sobre el rendimiento por planta, al permitir reducir 100% la dosis de fertilizante sintético fosfatado.

Así mismo, en las plantas de café en etapa de vivero se encontró un descenso de 100% de las aplicaciones de fertilizantes sintéticos nitrogenados y fosfatados, únicamente con la biofertilización (tratamientos 17 y VP) y la aplicación de la roca fosfórica. Igualmente, en condiciones de campo, la biofertilización (tratamiento IRAB) y el uso de la roca fosfórica permitieron una reducción de 100% de las aplicaciones de fertilizantes sintéticos nitrogenados y fosfatados, sin la afectación de la actividad biológica en el suelo, principalmente la micorrización nativa.

Los resultados concernientes a la reducción de la aplicación de fertilizantes sintéticos en los cultivos agrícolas permiten inferir una disminución de emisiones de GEI. Pues, de acuerdo a la FAO (2014), las emisiones generadas durante la aplicación de fertilizantes sintéticos representan hasta 13% de las emisiones de la agricultura convencional. Además, al reducir las aplicaciones de fertilizantes sintéticos y proponer sistemas de producción agrícolas orgánicos se contribuye a aumentar el potencial para secuestrar carbono en biomasa, lo cual ocurre en menor cantidad en la agricultura convencional (Dal Ferro *et al.* 2018; Niles 2008).

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran el beneficio del uso de los biofertilizantes y la roca fosfórica en el crecimiento de los cultivos agrícolas y algunas propiedades químicas y biológicas del suelo, a través del uso racional de los recursos naturales, lo cual permitiría reducir las emisiones de CH₄ y N₂O a la atmósfera e impulsar un modelo productivo en la nación.

AGRADECIMIENTO

Al Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, en particular a la Coordinación de Investigación Agropecuaria, por el apoyo a través del proyecto 02-009-2016.

REFERENCIAS

- Adesemoye, O., Torbert, J. y Kloepper, J. (2009). Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microb Ecol.* 58(1):921-929.
- Cuenca, G., Cáceres, A., Oirdobro, G., Hasmy, Z. y Urdaneta, C. (2007). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia.* 32(1):23-29.
- Dal Ferro, N., Quinn, C. y Morari, F. (2018) A Bayesian belief network framework to predict SOC dynamics of alternative management scenarios. *Soil and Tillage Research.* 179:114-124.
- FAO. (2014). Food and Agriculture Organization of the United Nations. (En línea). Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/218907/icode/>
- Fuentes-Ramírez, L., y Caballero-Mellado, J. (2005). Bacterial biofertilizers. *Biocontrol and Biofertilization.* 5:143-172.
- Ibarra-Puón, J., Aguirre-Medina, J., Ley-De, A., Cadena-Iñiguez, J y Zavala-Mata, G. (2014). *Coffea Canephora* (Pierre) ex Froehner inoculado con micorriza y bacteria fijadora de nitrógeno en vivero. *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 20(2): 201-213.
- Martínez, F., Ojeda, D. Hernández, A., Martínez, J. and Quezada, G. (2011). El exceso de nitratos: un problema actual de la agricultura. *Synthesis.* 57(1):11-16.
- Montecinos, C. (1997). Manejo biológico del fósforo en el suelo. *Agroecología y desarrollo.* Disponible en <http://www.clades.org/r8.art4.htm>
- Montgomery, D. (1991). Diseño y análisis de experimentos. Editorial Iberoamericana. 541 p.
- Niles, M. (2008). Sustainable soils: reducing, mitigating, and adapting to climate change with organic agriculture. *Sustainable development Law & Policy*, 18-69p.
- Plaxton, W. y Tran, H. (2011). Metabolic adaptations of phosphate-starved plants. *Plant Physiology.* 156(1):1006-1015.
- 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.
- Rodríguez, E., Bolaños, M. y Menjivar, J. (2010). Efecto de la fertilización en la nutrición y rendimiento de ají (*Capsicum* spp.) en el Valle de Cauca, Colombia. *Acta Agronómica* 59(1):55-64.
- Silvana, B. (2011). Hongos promotores del crecimiento y resistencia inducida en el manejo de las enfermedades en producciones orgánicas. (En línea). Buenos Aires. Frutihorticultura. Disponible en: <http://www.cuencarural.com/frutihorticultura/frutihorticultura/73599-hongos-promotores-del-crecimiento-y-resistencia-inducida-en-el-manejo-de-las-enfermedades-en-producciones-organicas/>
- Solórzano, P. (2001). Manual para la fertilización de cultivos en Venezuela. Caracas. Venezuela. Agroisleña. 216 p.
- Trimurtulu, N., Lalitha, A. and Latha, M. (2011). Influence of mixed microbial consortium on plant growth and yields of chilli in vertisols. (En línea). *International Journal of Current Research.* 2(1):61-66. Disponible en <http://www.journalcra.com>.

EVALUACIÓN DE *Trichoderma asperellum* Y MEZCLAS DE SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD GRANOLA

EVALUATION OF *Trichoderma asperellum* AND MIXES OF SUBSTRATES IN THE POTATO SEED PRODUCTION (*Solanum tuberosum* L.) GRANOLA VARIETY

AUTORES:

Montoya, Carlos¹; Arias, Karen²; Chacón, Hernando²; Sulbarán, José²; Ramírez, Beatriz²

¹Pepsico Alimentos S.C.A.

²Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela.

Corresponding Author:

montoyalfredo@gmail.com

Palabras clave: *Trichoderma* spp., *Solanum tuberosum*, compost, biopreparado, sustrato.

Key words: *Trichoderma* spp., *Solanum tuberosum*, compost, substrate.

RESUMEN

Numerosos estudios señalan al hongo *Trichoderma* spp. como promotor del crecimiento de plantas, documentándose el incremento de variables biométricas como la altura, el área foliar y la producción de biomasa. En este sentido, se planteó determinar el efecto de *Trichoderma asperellum* y de diferentes mezclas de sustratos sobre la producción de tubérculos semilla de papa en ambiente protegido. La primera fase de la investigación consistió en evaluar las características físicas, químicas y biológicas de los sustratos: compost de rastrojo de tomate-turba comercial (CRT-TC), fibra de coco-turba comercial (FC-TC) y fibra de coco-compost de rastrojo de tomate (FC-CRT), mezclados en proporciones iguales, con la turba comercial (TC) como control; dichas pruebas se efectuaron en el Laboratorio de Valorización de Residuos Compostables, de la UNET, y en suelos de la Escuela Técnica Agropecuaria "La Pradera". En paralelo, se realizó la producción masiva de un biopreparado basado en *T. asperellum* en el Laboratorio de Control Microbiológico, de la UNET. La segunda fase se desarrolló en un umbráculo ubicado en la Unidad Académica "La Pradera", donde se evaluó el efecto del hongo y de los diferentes sustratos sobre el rendimiento del cultivo. En relación a las propiedades físicas CRT-FC se destacó al exhibir los mejores valores para la mayoría de los parámetros (porosidad total, porosidad de aireación y densidad aparente). Desde el punto de vista químico FC-TC y TC presentaron números aceptables dentro de los rangos adoptados, mientras que CRT-TC y CRT-FC no cumplen con la norma para pH y conductividad eléctrica. Por otro lado, no se detectaron síntomas de fitotoxicidad por parte de los sustratos en las pruebas de germinación. La inoculación de *T. asperellum* en CRT-FC incrementó significativamente el número de tubérculos por planta. Estos resultados confirman las características favorables de la utilización de *Trichoderma* junto a sustratos alternativos para la producción de tubérculos semilla de papa en ambientes protegidos.

ABSTRACT

Numerous studies point to the fungus *Trichoderma* spp. as a promoter of plant growth based on the increase of biometric variables such as height, leaf area and biomass production. This study aimed to determine the effect of *Trichoderma asperellum* and different mixtures of substrates on the production of potato seed tubers in a protected environment. The first phase of the research consisted of evaluating the physical, chemical and biological characteristics of the substrates: Tomato Stubble Compost-Commercial Peat (CRT-TC), Coconut Fiber- Commercial Peat (FC-TC) and Coconut Fiber-Tomato Stubble Compost (FC-CRT) mixed in equal proportions, having the Commercial Peat (TC) as control; these tests were carried out in the Compostable Waste Recovery Laboratories of UNET and Soils of the Agricultural Technical School, La Pradera. Parallel to this, the mass production of a biopreparation based on *T. asperellum* was carried out in the Microbiological Control Laboratory of UNET. The second phase was developed in a greenhouse located in the Academic Unit, La Pradera evaluating the effect of the fungus and the different substrates on crop yield. In relation to the physical properties CRT-FC stood out when exhibiting the best values for most of the parameters (total porosity, aeration porosity and bulk density). From the chemical point of view FC-TC and TC presented acceptable numbers within the ranges adopted, while CRT-TC and CRT-FC do not comply with the norm for pH and electrical conductivity. On the other hand, no symptoms of phytotoxicity were detected by the substrates in the germination tests. The inoculation of *T. asperellum* in CRT-FC significantly increased the number of tubers per plant. These results confirm the use of *Trichoderma* together with alternative substrates for the production of potato seed tubers in protected environments.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*), además de ser un importante componente en la alimentación humana, es una de las mayores fuentes de empleo e ingresos económicos en las comunidades rurales. En Venezuela, su producción se desarrolla sobre todo en la región andina, donde la semilla utilizada comúnmente representa 30% de los costos generales de este rubro, la cual debe reunir el máximo atributo de calidad que garantice rendimientos óptimos a los productores, así como una larga vida útil (Corzo, 1999). En este sentido, la producción de papa ha sido afectada en los últimos años, debido a que algunos agricultores no usan semilla certificada, sino que reciclan el material proveniente de cosechas anteriores hasta por más de tres ciclos de cultivo, lo que trae como consecuencia disminución en los rendimientos y calidad de los tubérculos. Adicionalmente, se ha recurrido a la importación de semillas, la certificación nacional a partir de semillas importadas y a la multiplicación de diferentes variedades tradicionalmente cultivadas en el país. A esto se le agrega la poca cantidad de materiales adaptados a los diferentes pisos altitudinales y el deficiente manejo agronómico aplicado (Chuecos y Mejía, 2011).

Por otro lado, la materia prima utilizada como sustrato para la obtención de semilla ha sido la turba comercial en mezcla con tierra virgen de montaña (TVM), lo que incrementa los costos de producción y deteriora los suelos en áreas de protección ambiental.

En lo que concierne al manejo de problemas fitosanitarios, los productores se han apropiado del control químico como la respuesta más práctica a sus expectativas, esto justificado principalmente por el alto riesgo de pérdida de cultivos en pocos días. Sin embargo, la eficiencia de este tipo de control se ha visto afectada a causa del uso indiscriminado y la no rotación de ingredientes activos, lo que ha permitido que los patógenos coevolucionen hasta el grado de presentar resistencia a la mayoría de los

plaguicidas; frente a ello una de las alternativas más viables para ser incorporadas es el uso de microorganismos antagonistas que posean amplios mecanismos de acción sobre los patógenos, además de ser capaces de ofrecer a las plantas una estabilidad fisiológica que les permita contrarrestar los efectos negativos y a la vez promover el desarrollo vegetativo y productivo (Chacón, 2014).

En consecuencia, al analizar la problemática observada se planteó evaluar el efecto de una cepa de *Trichoderma asperellum* en combinación con diferentes mezclas de sustratos alternativos sobre el rendimiento de plantas de papa (*S. tuberosum*) variedad granola bajo ambiente protegido, con la finalidad de obtener tubérculos semilla de papa de alta calidad genética y fitosanitaria.

MÉTODO

Localización del ensayo

La investigación, realizada en el estado Táchira (Venezuela), tuvo dos etapas: la primera se ejecutó en los laboratorios de Valorización de Residuos Compostables y de Control Microbiológico de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), municipio San Cristóbal, además del Laboratorio de Suelos de la Escuela Técnica Agropecuaria “La Pradera”, municipio Jáuregui, donde se realizó la caracterización física, química y biológica en conjunto con la multiplicación masiva de *T. asperellum*. Así mismo, la última fase, correspondiente a la producción de semilla de papa, se cumplió en la Unidad Académica “La Pradera”, municipio Jáuregui.

Preparación de los sustratos

Compost de rastrojo de tomate (CRT): se elaboró con residuos de cosechas del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), reducidos a trozos más pequeños con la ayuda de una picadora de pasto; se utilizó cascarilla de arroz (subproducto del arroz) como material ligero para el aumento de

volumen y para obtener una porosidad elevada, alta aireación y capacidad de retención de agua; además se usó gallinaza seca (subproducto de excretas de aves), en las proporciones 3:1:1. Estos materiales se colocaron en capas para posteriormente insertar un tubo de PVC de 2" con perforaciones a lo largo, con el fin de contribuir a la liberación de gases. Adicionalmente se agregó agua hasta obtener una humedad >50%, y se cubrió con un plástico oscuro para incrementar la temperatura y de esta manera iniciar la activación de microorganismos.

Fibra de coco (FC): se emplearon fragmentos fibrosos del fruto del cocotero troceados en partículas pequeñas con la acción de una picadora de pastos.

Turba comercial (TC): se recurrió al sustrato comercial marca SUNSHINE^R, recomendado para la producción de plántulas bajo umbráculo.

Elaboración de las mezclas: a partir de los componentes básicos se procedió a preparar las mezclas según lo establecido para cada tratamiento. Se dispuso de las combinaciones CRT-TC, FC-TC y CRT-FC en partes iguales (1:1) en base a volumen, además de TC como patrón de comparación. Los sustratos se tamizaron hasta obtener un tamaño de partícula no mayor a 4 mm. El material se transfirió a sacos plásticos y posteriormente se esterilizó mediante vapor, utilizando para ello un tambor metálico con una capacidad de 200 l, con una rejilla de madera sujeta a una altura de 0,25 m; se agregó agua por debajo del tambor, se tapó y se dejó a ebullición por espacio de 2 horas; luego se repitió este procedimiento por segunda vez.

Elaboración del biopreparado a base de *T. asperellum*: se utilizó una cepa del hongo antagonista perteneciente al Laboratorio de Control Microbiológico de la UNET identificada como Tc1, la cual ha sido evaluada en el cultivo de la papa bajo diferentes condiciones y ha presentado indicios de resistencia sistémica y promoción de crecimiento (Chacón, 2014). El hongo se cultivó en arroz comercial (97% de

granos enteros) a razón de 100 g de arroz por 80 ml de agua destilada, con el fin de obtener esporas libres de micelio. El sustrato se esterilizó a 120°C por espacio de 20 min y luego se inoculó con el hongo objeto de estudio, y permaneció en incubación durante 21 días a 20°C ± 5.

Determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos

Propiedades físicas: se evaluaron como parámetros físicos la porosidad total (Pt), la porosidad de aireación (Pa), la capacidad de retención de humedad (CRH), la densidad aparente (Da) y la densidad real (Dr) siguiendo la metodología descrita por Pire y Pereira (2003).

El procedimiento se inició con la ubicación de pequeñas muestras en porómetros fabricados con secciones de tubo PVC de 7,09 cm de diámetro y 15 cm de altura. En el fondo de cada cilindro se soldó una tapa plástica con 4 orificios de 5 mm de diámetro en forma equidistante a su borde perimetral. Se llenaron con las muestras de cada tratamiento y se dejaron caer desde una altura de 7,5 cm sobre una mesa de madera para permitir el asentamiento de la mezcla y saturar el cilindro hasta el borde superior. A cada porómetro en su extremo superior se le colocó una tela porosa ajustada con una liga para evitar la pérdida de material.

Los cilindros fueron colocados dentro de un recipiente con agua hasta el borde superior, con el fin de forzar el humedecimiento del material desde los orificios del fondo y permitir así la salida del aire a través de la cara superior. Se les dejó allí por un periodo de 24 horas. Al transcurrir el tiempo, los cilindros se retiraron del agua y se sumergieron por segunda vez por completo durante 15 min. Se extrajeron y se volvieron a sumergir por otros 15 min, para garantizar la saturación total de las mezclas. Finalmente se taponeó cada uno de los orificios del fondo de los cilindros y se extrajeron del agua para ponerlos en forma vertical sobre unas bandejas de aluminio, donde se quitaron los tapones y se midió el volumen de agua (Va) que

Trichoderma spp. Y SUSTRATOS

Montoya, C.; Arias, K.; Chacón, H.; Sulbarán, J.; Ramírez, B.

drenó en un periodo de 10 min. Las muestras húmedas se extrajeron de los cilindros y se tomó su peso húmedo (PH); luego se colocaron dentro de una estufa a 105°C por 24 horas, para entonces sacarlas y dejarlas enfriar. Por último se determinó el peso seco (Ps). Cada parámetro se evaluó por triplicado para la obtención de resultados confiables.

Para la evaluación de los diferentes parámetros que forman parte de las propiedades físicas, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Porosidad total (Pt).

$$Pt (\%) = \frac{V_a + \left(\frac{PH - Ps}{Pa} \right)}{V_c} * 100 \quad (1)$$

Porosidad de aireación (Pa).

$$Pa (\%) = \frac{V_a}{V_c} * 100 \quad (2)$$

Capacidad de retención de humedad (CRH).

$$CRH (\%) = \frac{PH - Ps}{V_c} * 100 \quad (3)$$

Densidad aparente (Da).

$$Da (g/cm^3) = \frac{Ps}{V_c} \quad (4)$$

Densidad real (Dr).

$$Dr (g/cm^3) = \frac{Da}{1 - \left(\frac{Pt}{100} \right)} \quad (5)$$

Donde:

Va: volumen de agua drenado.

PH: peso húmedo.

Ps: peso seco.

Pa: peso específico del agua (1g/cm³).

Vc: volumen del cilindro (cm³).

Da: densidad aparente.

Dr: densidad real.

Propiedades químicas: se efectuó la medición de los parámetros químicos pH y conductividad eléctrica (C.E.) utilizando la Norma Chilena 2880, descrita por Sadzawka *et al.* (2005) para el análisis de compost. La medición de estos parámetros se hizo a partir de muestras tamizadas para partículas menores e iguales a 16 mm. Se humedecieron y se agitaron por 20 min con agua destilada en una relación 1:5 V/V. Los valores se tomaron en el extracto con un medidor de pH marca Hanna Instrument^R.

Propiedades biológicas: se realizaron pruebas de germinación como indicador de fitotoxicidad, utilizando extractos de los diferentes sustratos de interés. Para ello se colocaron 500 cm³ de cada muestra dentro de un vaso precipitado con capacidad de 1000 ml; a cada recipiente se le agregó 500 ml de agua destilada para lograr una concentración volumétrica 1:1. Estas muestras se agitaron por 30 min, luego se dejaron reposar por 2 horas y se procedió al filtrado en bomba de vacío, con lo que se obtuvo el extracto que se empleó para humedecer las semillas. Seguidamente se prepararon 3 cápsulas de Petri por tratamiento con papel filtro, sobre el cual se distribuyeron 10 semillas de lechuga (*Lactucasativa*) por cápsula; luego se tomaron 20 ml del extracto y se aplicaron sobre la superficie del papel donde se encontraban las semillas. De manera adicional se preparó un testigo, al cual se le aplicó agua destilada estéril. Las cápsulas de Petri con las semillas se incubaron en condiciones de oscuridad por 5 días, y posteriormente se determinó el porcentaje de germinación y la longitud radicular en relación con el tratamiento control. Este parámetro se calculó aplicando la siguiente ecuación, desarrollada por Domínguez (2010):

Porcentaje de germinación (G).

$$G(\%) = \frac{NSG}{NSGC} * 100 \quad (6)$$

Donde:

NSG: número de semillas germinadas.

NSGC: número de semillas germinadas del control.

Los resultados de las características físicas y químicas se analizaron descriptivamente mediante la comparación de los datos obtenidos en los diferentes tratamientos con los reportados en la literatura especializada para sustratos a través de valores referenciales (Martínez y Roca, 2011). Así mismo, los valores de la caracterización biológica se contrastaron con lo establecido por Zuconni *et al.* (1981), quien afirma que, para considerar un sustrato como estable y productivo, el porcentaje de germinación deberá ser superior o igual a 80%.

Determinación del efecto de *T. asperellum* y de diferentes mezclas de sustratos sobre la producción de tubérculos semilla de papa (*S. tuberosum*) en ambiente protegido

Se construyó un umbráculo adaptado especialmente a la producción de semilla de papa, con un área efectiva de 60 m² (5 m de ancho x 12 m de largo), ubicado a una altitud de 1.700 msnm con una temperatura promedio de 18°C, lo cual establece condiciones favorables para el desarrollo del cultivo.

Los tubérculos semilla que se emplearon corresponden a la categoría prebásica, los cuales se clasificaron con base en el peso y tamaño para lograr uniformidad en sus características.

Una vez preparados los sustratos y las semillas identificadas, se llenaron cestas plásticas tomateras de dimensiones 50 cm x 32 cm x 24 cm con una capacidad de 70 l. Estas cestas fueron esterilizadas con jabón y cloro comercial, para luego poner en el fondo sacos paperos desinfectados. Posteriormente se procedió a llenar las cestas hasta un volumen de 20 l.

Los tubérculos se sumergieron por 10 minutos en una suspensión de esporas de *T. asperellum* a una concentración de 10⁷ esporas.ml⁻¹; luego fueron retirados y sembrados colocando 6 semillas por contenedor a una profundidad de 3 a 4 cm aproximadamente, empleando un marco de

plantación en cuadrado a una distancia entre planta e hilera de 12 cm. Consecutivamente se realizaron aplicaciones quincenales con 100 ml de una suspensión de esporas del hongo, a la misma concentración inicial dirigida a la base de las plantas. A un mes de establecida la siembra se procedió al aporque agregando sustrato adicional alrededor del tallo de la planta, lo que llevó el volumen de la cesta a una capacidad de 35 l. Se aplicó riego por micro aspersión durante 30 minutos en horas de la mañana, con una frecuencia de 2 veces por semana. La fertilización se ejecutó por fertirriego con dos fórmulas comerciales SOLUB^R (13-40-13 y 18-18-18), las cuales se emplearon regularmente a razón de 5 g.l⁻¹ al pie de planta de acuerdo al estado fenológico. El control de insectos, plagas y enfermedades se efectuó previo monitoreo de las plantas. La cosecha se realizó 100 días después de la siembra (DDS), momento en que se cuantificó el número de tubérculos y se registró el peso.

Para este ensayo se adoptó un diseño experimental bifactorial en arreglo completamente al azar con covariable, siendo los factores el sustrato (CRT-TC, FC-TC, FC-CRT, TC) y *T. asperellum* (presencia y ausencia); por su parte el peso de la semilla se identificó como la covariable. La unidad experimental la constituyó cada cesta con 3 repeticiones por tratamiento. Las variables de rendimiento (número y peso de tubérculos) se analizaron mediante un MANCOVA (análisis de varianza multivariante con covariable) y la prueba de Bonferroni para significancia estadística, previa aprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El análisis estadístico se realizó utilizando el software STATISTICA[®] 8.

RESULTADOS

Determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos

En relación a las propiedades físicas de los sustratos evaluados, se destaca CRT-FC al exhibir los mejores valores para la mayoría de los

Trichoderma spp. Y SUSTRATOS

Montoya, C.; Arias, K.; Chacón, H.; Sulbarán, J.; Ramírez, B.

parámetros (Pt, Pa, Da), lo que la ubica dentro del rango recomendado para el cultivo en contenedor, incluyendo la Dr al estar muy cerca del referencial; además, al compararlo con TC como sustrato universal se presenta superior en sus características. Por otro lado, se pudo evidenciar

que el porcentaje de capacidad de retención de humedad de todos los materiales sobrepasó lo establecido en el valor de referencia, lo que indica la toma de previsiones al momento de decidir el tipo de riego y su periodicidad (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización física de los sustratos.

SUSTRATO	Porosidad total	Porosidad de aireación	Capacidad de retención de humedad	Densidad aparente	Densidad real
	Pt (%)	Pa (%)	CRH (%)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)
CRT-TC	82,1	19,1	63,1	0,08	0,58
FC-TC	86,2	15,8	70,4	0,02	0,16
CRT-FC	87,5	27,2	60,3	0,07	0,60
TC	80,6	12,1	68,4	0,03	0,16
Valor de Referencia	> 85	20 - 30	40,0	<0,75	1,45 - 2,65

En la tabla 2 se presentan los resultados de la caracterización química, donde FC-TC y TC presentaron números aceptables dentro de los rangos adoptados. Por otra parte, los sustratos CRT-TC y CRT-FC no cumplen con la norma para pH, pues se revelan cifras que tienden a la basicidad, lo cual genera un comportamiento inadecuado para la obtención de semilla tubérculo de papa, cuyo requerimiento óptimo se sitúa entre

5,5 y 6,6; en lo que concierne a la C.E., estos mismos sustratos presentaron valores extremadamente altos de acuerdo al referencial. Sin embargo, estas condiciones pueden ser fácilmente corregidas por medio de la aplicación de enmiendas químicas u orgánicas, el sometimiento al lavado para eliminar sales e incluso el tipo de formulación empleada en la fertilización.

Tabla 2. Caracterización química de los sustratos.

SUSTRATO	pH	Conductividad Eléctrica
		CE (μs/cm)
CRT-TC	8,23	3,47
FC-TC	6,00	0,33
CRT-FC	8,53	3,50
TC	5,76	0,35
Valor de Referencia	5,0 - 6,8	0,7 - 2,0

En las pruebas de germinación con semillas de lechuga (*L. sativa*), las mismas presentaron valores óptimos por encima de 80% con normal desarrollo radicular, lo que permite aseverar que los diferentes sustratos no son fitotóxicos.

Este hecho califica a los sustratos utilizados como estables y sanos desde el punto de vista productivo (Zuconni *et al.*, 1981).

Efecto de *T. asperellum* y de diferentes mezclas de sustratos sobre la producción de tubérculos semilla de papa (*S. tuberosum*) en ambiente protegido

El análisis de covarianza multivariante (MANCOVA) para las variables de rendimiento (número y peso de tubérculos) detectó diferencias altamente significativas entre los diferentes tratamientos ($p < 0,01$) al menos para una variable respuesta (Tabla 3). La prueba de Bonferroni advirtió diferencias significativas para la

respuesta número de tubérculos, siendo el mejor tratamiento el sustrato FC-CRT inoculado con *T. asperellum* con una producción promedio de 3,45 tubérculos/tallo/planta, seguido de CRT-TC y FC-TC, ambos en presencia y ausencia del hongo. En cuanto al peso de tubérculos expresado en gramos/planta no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$); sin embargo, se observó una tendencia a incrementar el peso de los tubérculos cuando se aplicó el hongo a los sustratos compuestos por CRT.

Tabla 3. Variables de rendimiento de las plantas de papa cultivadas en umbráculo.

SUSTRATO	<i>T. asperellum</i>	Rendimiento	
		N° de tubérculos/planta	Peso de tubérculos (g/planta)
CRT-TC	Inoculado	2,78 ab	78,99 a
	Sin inocular	3,10 ab	61,77 a
FC-TC	Inoculado	2,17 ab	45,84 a
	Sin inocular	2,85 ab	53,20 a
CRT-FC	Inoculado	3,45 a	49,82 a
	Sin inocular	1,86 ab	33,55 a
TC	Inoculado	1,58 b	32,49 a
	Sin inocular	1,95 ab	56,82 a

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

DISCUSIÓN

La evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los diferentes materiales dispuestos para la elaboración de sustratos con fines agronómicos es la primera etapa de importancia a cumplir para asegurar el éxito en la producción de un determinado cultivo. En este sentido, al comparar los diferentes tratamientos con TC como sustrato universal, se logran superar varias de las características presentadas por este último. Ello confirma la posibilidad de usar materiales alternativos y de fácil adquisición como sustitutos al modelo de producción tradicional. Por su composición orgánica, de acuerdo a Abad *et al.* (1993), estos sustratos cumplen favorablemente con los requerimientos mínimos para su uso. Vale la pena destacar que la

precisión del método utilizado puede tener sus carencias para describir el comportamiento físico de un sustrato, debido a que no se conoce a cabalidad la disponibilidad de aire y agua para la planta a distintas tensiones (Pire y Pereira, 2003). Sin embargo, los estudios a través de esta metodología dan una orientación que pudiera conducir al uso de estos materiales. Desde el punto de vista químico, los valores de los parámetros analizados pueden ser enmendados en los mismos procesos de producción, sin limitaciones para el desarrollo del cultivo. En lo referente al grado de fitotoxicidad, no existe ningún riesgo que pueda causar la muerte de las plantas en ninguna de las etapas fenológicas.

El rendimiento obtenido en umbráculo confirma la interpretación dada a los resultados de las

propiedades físicas y químicas, además de la prueba de germinación. Es de destacar que CRT-FC fue consistente en las diferentes evaluaciones, siendo potenciado con la aplicación de *T. asperellum* al detectarse el incremento en las variables de rendimiento. La actividad ejercida por este hongo se estimuló en los tratamientos con CRT debido a su alto contenido de materia orgánica, que le permite colonizar y mantenerse en el tiempo. Estos resultados coinciden con los reportados por Chacón (2014) al evaluar la actividad promotora de crecimiento de la cepa de *T. asperellum*, empleada en la presente investigación, con plantas de papa cultivadas bajo condiciones de campo. Igualmente García *et al.* (2005) recomiendan el uso de *Trichoderma* spp. desde el momento de la siembra de la papa para garantizar el aprovechamiento del potencial genético que las diferentes variedades ofrecen a los agricultores.

CONCLUSIONES

El sustrato CRT-FC mostró características físicas, químicas y biológicas favorables para la mayoría de los parámetros evaluados.

No se detectaron síntomas de fitotoxicidad por parte de los sustratos en las diferentes fases fenológicas del cultivo de la papa.

La inoculación de *T. asperellum* en CRT-FC incrementó significativamente el número de tubérculos por planta.

REFERENCIAS

- Abad, A., Martínez, P., Martínez, M., Martínez, J. (1993). Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta Horticultura*. 11: 141-154.
- Chacón, H. (2014). *Trichoderma* spp. (Ascomycota: Hypocreales) como antagonista de *Phytophthora infestans* y promotor del desarrollo en *Solanum tuberosum*. Trabajo de grado de Maestría. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela. 98 pp.
- Chuecos, M., y Mejía, V. (2011). Sistema aeropónico y sistema organopónico para la producción de semilla pre-básica de papa (*Solanum tuberosum*) variedad papa blanca holandesa, en el municipio Libertador, edo. Mérida. Disponible en: <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php>.
- Corzo, C. (1999). Proceso para la producción de semilla certificada de papa. Convenio Corpoica-SENA. Santafé de Bogotá, Colombia. 56 pp.
- Domínguez, A. (2010). Evaluación de las propiedades físicas, físico-químicas y de la fitotoxicidad de compost comerciales para uso en la formulación de sustratos de cultivo. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9868/1/memoria.pdf>.
- García, R., Ramos, G., Montero, F., Niño, L., Vargas, A., Gallardo, M., Araujo, Y., Miranda, F., Ortega, E. (2005). Producción de semilla de papa en Venezuela, Mérida (Venezuela): serie de manuales de cultivo INIA N° 5. Instituto de Investigaciones Agrícolas. 35 p.
- Martínez, P., y Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Disponible en: http://www.researchgate.net/profile/Dolors_Roca/publication/237100771_Sustratos_para_el_cultivo_sin_suelo_Materiales_propiedades_y_manejo/links/0deec51b8657d36d7e000000.pdf.
- Pire, R., y Pereira, A. (2003). Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura. Estado Lara. Venezuela. Disponible en: [http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev15\(1\)/7.%20Propiedades%20f%C3%ADsicas.pdf](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev15(1)/7.%20Propiedades%20f%C3%ADsicas.pdf).
- Sadzawka, A., Carrasco, M., Grez, R., y Mora, M. (2005). Norma Chilena 2880 Métodos de análisis de compost. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie Actas INIA N° 30. Chile. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR32184.pdf>.
- Zuconni, F., Pera, A., Forte, M., De Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity in immature compost. *Rev. Biocycle*. 22: 54-57.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CLON DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) 'ANGOSTUREÑA' EN DOS ÉPOCAS DE SIEMBRA EN EL ESTADO TÁCHIRA

EVALUATION OF THE BEHAVIOR OF THE 'ANGOSTUREÑA' POTATO CLONE (*Solanum tuberosum* L.) IN TWO SEEDING TIMES IN THE TÁCHIRA STATE

AUTORES:

Roa, María; Morales, Ender; Linares, José.

Departamento de Ingeniería Agronómica.
Universidad Nacional Experimental del Táchira.
San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela.

Corresponding Author:

maria.v.roa@unet.edu.ve

Palabras clave: 'Angostureña', fenología, adaptación.

Key words: Angostureña, phenology, adaptation.

RESUMEN

La producción de papa en Venezuela está amenazada por la falta de insumos como semilla y variabilidad en materiales genéticos; debido a esto, se evaluó el comportamiento de la variedad de papa 'Angostureña', en época de sequía y humedad en la aldea Venegará, municipio José María Vargas para ser introducida en el proceso productivo local. Esta variedad fue producida por agricultores organizados del páramo merideño, junto con institutos de investigación y universidades nacionales, sus principales características son altos rendimientos y tolerancia a *Phytophthora infestans*. Se determinaron días para la brotación, altura de la planta, número de tallos, inicio de floración, inicio de tuberización, número de tubérculos y rendimiento. La variedad de papa 'Angostureña' culminó su ciclo a los 130 días en época seca y a los 142 días en época húmeda. El 100% de la brotación se encontró a los 22 y 26 días después de la siembra (DDS), la tuberización inició a los 48 y 52 DDS, mientras que la floración ocurrió a los 58 y 68 DDS en época seca y húmeda respectivamente. En cuanto a variables biométricas, en época de sequía y lluvia se registraron alturas de 60,2 y 73,0 cm al inicio de tuberización. Las variables de rendimiento en época seca presentaron un número de 18 tubérculos por planta y un rendimiento de 47,9 ton ha⁻¹; mientras que en época húmeda, se encontró que cada planta tenía un promedio de 17 tubérculos y un rendimiento de 54,4 ton ha⁻¹. Asimismo, en ningún ciclo de cultivo se encontraron síntomas de *P. infestans*. Se concluye que esta variedad se adapta a las condiciones agroclimáticas de la zona y por sus características tiene alto potencial productivo para ser incluida en la producción agrícola de las zonas altas del estado Táchira.

ABSTRACT

The production of potato in Venezuela is threatened by the lack of inputs such as seed and variability in genetic materials; because of this, the behavior of the 'Angostureña' potato clone was evaluated, in two seasons (dry and rainy) at the village of Venegará, José María Vargas municipality, Táchira state, in order to introduce this variety in the local productive process. The 'Angostureña' clone was produced by organized farmers from Merida state, along with national research institutes and universities. Their main characteristics are high yields and tolerance to *Phytophthora infestans*. The percentage of sprouting, plant height, stem number, flowering beginning time, tuberization beginning time, number of tubers and the yield were determined. The Angostureña variety clone culminated its cycle at 130 days in the dry season and 142 days in the rainy season. One hundred percent of sprouting was found at 22 and 26 days after sowing (DAS), tuberization started at 48 and 52 DAS, while flowering occurred at 58 and 68 DAS in dry and rainy season, respectively. Regarding biometric variables, in drought and wet times heights of 60,2 and 73,0 cm were recorded at the beginning of tubing. In dry season the number of tubers per plant was of 18,3 and a yield of 47,9 ton ha⁻¹; while in wet season it was found that each plant had an average of 17,1 tubers and a yield of 54,4 ton ha⁻¹. Likewise, in none crop cycle symptoms of *P. infestans* were found. It is concluded that this variety is adapted to the agroclimatic conditions of the zone and due to its characteristics it has high productive potential to be included in the agricultural production of the high zones of the Táchira state.

INTRODUCCIÓN

La papa se ubica entre los cinco cultivos de mayor importancia económica y alimenticia a nivel mundial, en Venezuela es uno de los cultivos más importantes debido al área destinada a la siembra, la actividad económica que genera y los hábitos de consumo de la población, según Mora y Rojas (2005) es parte de los once cultivos líderes en la agricultura venezolana, se siembra principalmente en las zonas altas de los estados andinos y en el estado Lara. En cuanto a los requerimientos edafoclimáticos de la papa, Rubio *et al.* (2000) señalan que la temperatura es la principal limitante, la temperatura óptima va de 17 a 23°C, temperaturas por encima pueden modificar la duración de las diferentes fases fenológicas y afectar variables como rendimiento, principalmente en el número de tubérculos comerciales (Roberqui y Jeréz, 2017), en cuanto a la altitud depende de la variedad utilizada, ya que se pueden adaptar desde los 600 msnm hasta los 3500 msnm, la ideal se encuentra entre los 1500 y 2500 msnm (Rincón, 2011).

En el Táchira, el municipio José María Vargas es el segundo en producción (Arias y Arnaude, 2010); sin embargo, no existe alta variabilidad en los cultivares utilizados, ni una oferta adecuada y oportuna de semilla de papa de calidad, esto ha hecho que se reduzcan las áreas de siembra y disminuyan los rendimientos, al respecto Ezeta (2001) indica que un factor clave para el éxito de la producción es la semilla, si ésta es de buena calidad aumenta la producción, proporciona una mayor uniformidad y vigor de plantas. En esta zona la variedad que se suele utilizar es la 'Granola', una variedad muy apetecible por los productores gracias a la receptividad por parte del consumidor, buen comportamiento postcosecha y precocidad del cultivo (González *et al.* 2016), pero es muy susceptible a tizón tardío (causado por *Phytophthora infestans*), la principal enfermedad que aqueja este rubro, esto implica un elevado uso de fungicidas en su ciclo productivo e incremento de los costos de producción; por lo tanto, disminuye la eficiencia y rentabilidad del cultivo, además incide

negativamente en la contaminación de suelos, aguas, productores y consumidores.

En Venezuela, se han llevado a cabo algunos estudios para incluir nuevas variedades en la producción de papa en diferentes localidades. En el estado Trujillo, Meza *et al.* (2013) señalan que se evaluaron en el municipio Urdaneta siete variedades de papa para incluirlas en los procesos productivos de la zona y encontraron que todas las variedades superan al rendimiento local; por lo tanto, tienen capacidad para competir comercialmente con los cultivares utilizados actualmente. Quintero *et al.* (2009) evaluaron el crecimiento, desarrollo y rendimiento de diez clones de papa variedad 'Andinita', en las localidades Marajabú y Páramo de Cabimbú, los resultados indicaron que dos clones cumplieron sus etapas de crecimiento y desarrollo en menor tiempo en ambas localidades, por lo que se perfilan como promisorios. Del mismo modo, en el estado Táchira, Roa *et al.* (2010) evaluaron el comportamiento de cinco variedades de papa de uso industrial (Idiafrit, Diacol Capiro, Fripapa y los clones avanzados I-931e I-1062) en seis ambientes de los municipios Jáuregui y Michelena a fin de recomendar las variedades de mejor comportamiento industrial. En la zona alta del estado Falcón, Zamora *et al.* (2008) evaluaron el comportamiento de las variedades de papa 'Kennebec' y 'Atlantic', con el fin de ofrecer a los pequeños productores de la región una variedad con mejor potencial de producción y encontraron en 'Kennebec' alto potencial productivo como alternativa en la diversificación de los sistemas de producción agrícola.

Buscando nuevas alternativas en la producción, los agricultores organizados del municipio Rangel (Asociación de Productores Integrales del Páramo, PROINPA) estado Mérida, junto con investigadores y docentes de institutos de investigación y universidades nacionales como: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Instituto de Estudios Avanzados (IDEA), Universidad de los Andes (ULA), Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) y la Fundación Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustria

(CIEPE), desarrollaron a partir de una progenie de semilla sexual proveniente del Centro Internacional de la Papa (CIP), mediante selección participativa un clon de papa llamado 'Angostureña'. Este clon tiene propiedades similares a la variedad 'Granola' y según Salas (2014) tiene una característica muy importante al ser tolerante a la enfermedad más común en papa: *Phytophthora infestans*; además, muestra rendimientos superiores a cuarenta y cinco (45) toneladas por hectárea. Con estas particulares características es importante observar y evaluar resultados en diferentes pisos altitudinales. Este clon de papa, no se ha sembrado comercialmente en el estado Táchira y en Mérida se siembra sobre los 3000 msnm. Al ser la papa uno de los principales cultivos alimenticios, además, que su producción es tradicional en el municipio José María Vargas, es necesario difundir alternativas que permitan utilizar variedades que mejoren los rendimientos y disminuyan los costos de producción, especialmente al disminuir la aplicación de agroquímicos escasos, costosos y contaminantes. Por esta situación se evaluó el comportamiento del clon de papa 'Angostureña', en dos épocas de siembra (seca y húmeda) en el municipio José María Vargas, estado Táchira una altitud de 2010 msnm.

MÉTODO

El ensayo se realizó en la aldea Venegará, municipio José María Vargas, a una altitud de 2010 msnm y una latitud de 07°59'58" Norte y a una longitud de 72°06'59" Oeste, la temperatura oscila entre 15 y 18°C, la precipitación promedio anual se encuentra entre los 900 y 1200 mm, distribuidos en cuatro meses secos (enero, febrero, marzo y agosto) y siete húmedos (abril, mayo, junio, julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre). El trabajo consistió en la evaluación de variables de crecimiento y producción de la variedad 'Angostureña' en dos épocas de siembra (lluvia y sequía), para determinar si la variedad se adapta a las condiciones agroecológicas de la zona y así incluirla en el proceso productivo local.

Para el primer ensayo (época seca), la siembra se efectuó el 18 de diciembre de 2015 y la cosecha se realizó el 26 de abril de 2016; en el segundo ensayo (época húmeda), la siembra se realizó el 02 de agosto de 2016 y la cosecha se efectuó el 22 de diciembre de 2016. Según los datos de INAMEH, en esta zona se registraron datos de precipitación de 238 mm en los meses de diciembre 2015 a abril de 2016 (siembra en época seca) y en los meses de agosto a diciembre de 2016 la precipitación fue de 473 mm (siembra en la época húmeda). La parcela utilizada para el ensayo tenía un área de 215m², una pendiente de 15% y el suelo presentaba una textura franco arenoso.

Se evaluaron variables de crecimiento y rendimiento, usado la metodología propuesta por el CIP (Zósimo, 1994). Las variables de crecimiento en la época seca se evaluaron a las 22, 30, 48, 58, 63, 79, 94 días después de la siembra (DDS), esto corresponde según Villa y Sarmiento (2009), a las etapas fenológicas de formación de tallos y hojas, formación de rizomas, inicio de tuberización, inicio de floración, crecimiento vegetativo, inicio de madurez fisiológica y madurez fisiológica respectivamente. En la época húmeda se evaluaron a los 26, 37, 52, 68, 76, 87 y 96 DDS corresponden también a las etapas fenológicas mencionadas anteriormente.

Las variables de crecimiento evaluadas fueron: tiempo de brotación (emergencia de los brotes), altura de la planta, diámetro de la planta y número de tallos por planta. Para el tiempo de brotación se registró el número de días después de la siembra (DDS) requeridos para la brotación del 80% de las plantas. En tanto que para la altura, se midió con una cinta métrica la altura de la planta desde la distancia vertical entre el suelo y la rama terminal de la planta. Para el diámetro de planta, se midió la distancia entre horizontal existente entre las ramas laterales y para el número de tallos de veinte (20) plantas tomadas al azar. Para el proceso de floración, se tomó nota de la fecha en la que el 50% de las plantas había florecido; para el inicio de tuberización, se

registró la fecha en que empezó la formación de tubérculos.

Las variables de rendimiento fueron: número de tubérculos por planta, peso de los tubérculos por planta y rendimiento. Para el número de tubérculos, se seleccionaron veinte (20) plantas al azar, a las cuales se les contó la cantidad de tubérculos al momento de la cosecha; para el rendimiento por planta, se registró el peso de tubérculos provenientes de las veinte (20) plantas seleccionadas, y de allí se evaluó el rendimiento por hectárea. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva realizando análisis de medias y desviación estándar.

El manejo agronómico del cultivo, se realizó de la misma manera para ambas épocas de siembra. Los procesos realizados fueron los siguientes: la preparación de terreno, se realizó utilizando el sistema de labranza convencional; es decir, dos pases de arado de cincel y dos pases de rastra mullidora con tracción animal (bueyes); mientras que, el surcado se realizó de forma manual empleando escardillas.

La siembra fue de forma manual colocando la semilla al fondo del surco para luego cubrirla con ayuda de la escardilla. Se sembró a una distancia de 0,3 m entre plantas y 0,7 m entre hileras, para una densidad poblacional de 47000 plantas por hectárea.

La fertilización se realizó con fertilizante químico de fórmula 20-20-20 por fertirrigación con frecuencia semanal hasta la tuberización (100 DDS) a una dosis de 0.01kg L^{-1} , el riego se realizó por goteo, la frecuencia dependió de la humedad del suelo y la etapa del cultivo.

El porqué se realizó a los 40 DDS de forma manual con ayuda de escardillas. Para el control de malezas, se aplicó herbicida pre-emergente metribuzin a una concentración de 2 L ha^{-1} a los 7 días después de la siembra, durante el resto del

ciclo del cultivo el control se realizó de forma manual.

En el control de plagas, se aplicó control químico con methomilo a una concentración de 1 Lha^{-1} en la primera fase de crecimiento, en cuanto a enfermedades no hubo síntoma de enfermedad; por lo tanto, no se aplicó ningún control.

Para la cosecha, se realizó una poda de las plantas una semana antes de la cosecha para garantizar uniformidad en el secado del cultivo. La cosecha, se realizó de forma manual cuando el follaje estaba completamente seco.

RESULTADOS

Las etapas fenológicas del clon de papa 'Angostureña' en las condiciones climáticas donde se llevó a cabo la evaluación, se muestra en la Figura 1. El 100% de la brotación se evidenció a las 20 DDS en época seca y a los 26 DDS en época húmeda.

La etapa fenológica de tuberización inició a los 48 DDS en la época seca y 52 DDS en época húmeda, y la floración inició a los 58 y 68 DDS en la época seca y húmeda; respectivamente, presenta una inflorescencia cuya flor tiene la corola de color blanco.

El ciclo del cultivo culminó con la cosecha a los 130 días después de la siembra en la época seca y 142 días en la época húmeda.

La figura 2 muestra el aspecto de las plantas del clon de papa 'Angostureña' en las fases fenológicas de crecimiento vegetativo, formación de rizomas, inicio de tuberización y fase de floración en la época seca.

Las plantas presentan un crecimiento erecto en las primeras etapas del cultivo y a partir de los 60 días después de la siembra muestran un crecimiento decumbente.

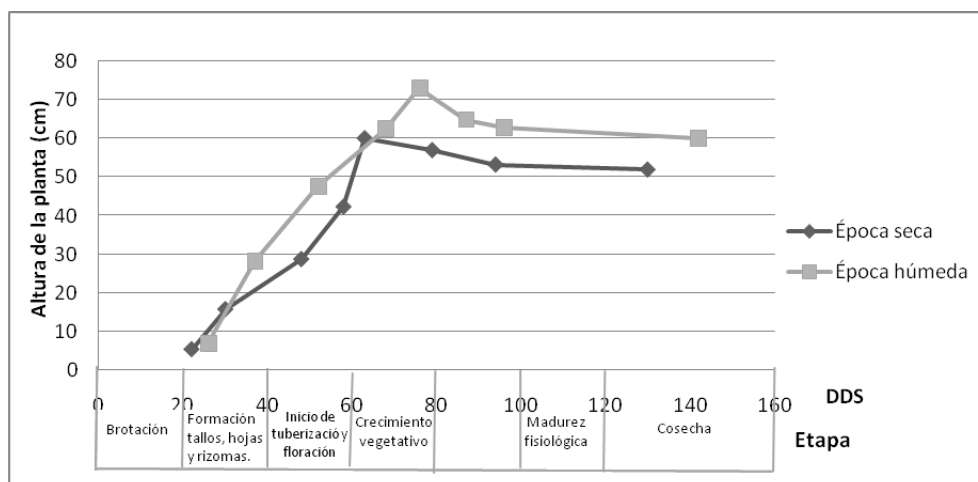


Figura 1. Curva fenológica del clon de papa 'Angostureña' de acuerdo al promedio de la altura de la planta en ambas épocas de siembra (seca y húmeda) y días después de la siembra (DDS) en que aparecieron los órganos que indican el inicio de cada etapa fenológica.

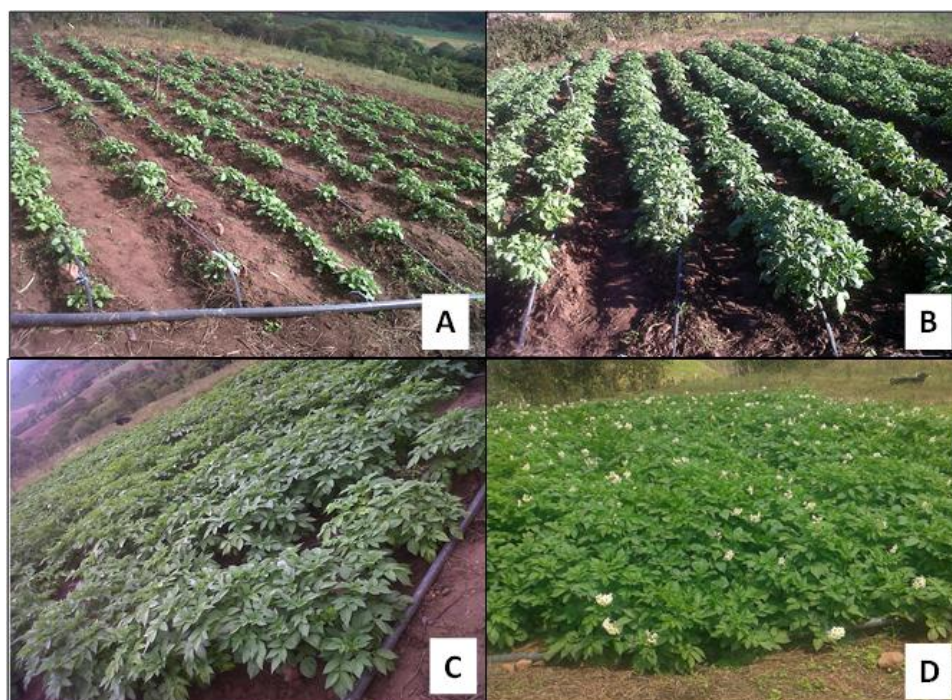


Figura 2. Aspecto de las plantas del clon de papa 'Angostureña' en diferentes etapas fenológicas en la época seca A. Fase de crecimiento vegetativo. B. Fase de formación de rizomas. C. Inicio de tuberización D. Fase de floración.

La tabla 1 muestra los resultados de las variables de crecimiento obtenidos en época seca y época húmeda. La mayor altura de la planta, se encontró al inicio de tuberización con valores de 60,15 y 73,00 cm en las épocas de sequía y lluvia, respectivamente. En cuanto al diámetro de la

planta, la etapa fenológica que presentó los mayores resultados fue el inicio de la tuberización, en época seca fue de 59,85 cm y en época húmeda de 71,95 cm. El número de tallos, se comportó de forma diferente en las dos épocas. En la época seca se encontró el mayor resultado

EVALUACIÓN DEL CLON DE PAPA 'ANGOSTUREÑA'

Roa, M.; Morales E.; Linares J.

en la etapa de madurez fisiológica con 5,15 tallos por planta; mientras que, en la época húmeda se obtuvieron 5,60 tallos por planta en el crecimiento vegetativo.

Los resultados de las variables de rendimiento, se muestran en la tabla 2. En la época seca se obtuvieron 18,30 tubérculos por planta; mientras

que en la época húmeda, se obtuvieron 17,13 tubérculos por planta. En cuanto al peso por planta, se obtuvieron 1,30 y 1,95 kg en la época seca y húmeda respectivamente. El rendimiento fue de 47,96 ton ha⁻¹ en la época seca y 54,35 ton ha⁻¹ en la época húmeda.

Tabla 1. Valores promedio de las variables de crecimiento altura de la planta, diámetro de la planta y número de tallos del clon de papa 'Angostureña' en diferentes etapas del cultivo, en la época seca y húmeda.

Variables	Etapas del cultivo	Época seca	CV	Época húmeda	CV
Altura de la planta (cm)	Formación de tallos y hojas	5,35	0,33	6,80	0,16
	Formación de rizomas	15,75	0,23	28,10	0,15
	Inicio de tuberización	28,75	0,17	47,50	0,14
	Inicio de floración	42,35	0,15	62,50	0,09
	Crecimiento Vegetativo	60,15	0,12	73,00	0,08
	Inicio madurez fisiológica	57,05	0,12	64,80	0,07
	Madurez fisiológica	53,30	0,25	62,65	0,08
Diámetro de la planta (cm)	Formación de tallos y hojas	11,25	0,27	12,00	0,17
	Formación de rizomas	28,24	0,14	28,33	0,14
	Inicio de tuberización	37,48	0,11	50,50	0,13
	Inicio de floración	47,33	0,13	64,50	0,11
	Crecimiento Vegetativo	59,85	0,12	71,95	0,12
	Inicio madurez fisiológica	55,10	0,08	65,60	0,08
	Madurez fisiológica	55,13	0,09	63,70	0,08
Número de tallos	Formación de tallos y hojas	3,10	0,53	3,60	0,32
	Formación de rizomas	4,75	0,42	5,05	0,51
	Inicio de tuberización	4,45	0,42	5,60	0,33
	Inicio de floración	4,05	0,28	4,95	0,19
	Crecimiento Vegetativo	4,85	0,34	5,05	0,28
	Inicio madurez fisiológica	3,95	0,45	4,30	0,25
	Madurez fisiológica	5,15	0,27	4,45	0,34

Tabla 2. Valores promedio de las variables de rendimiento número de tubérculos por planta, peso de los tubérculos por planta y rendimiento del clon de papa Angostureña en dos épocas de siembra.

Variables	Época seca	CV	Época húmeda	CV
Número de tubérculos por planta	18,30	0,48	17,13	0,34
Peso por planta (kg)	1,30	0,40	1,95	0,33
Rendimiento (ton ha ⁻¹)	47,96	0,40	54,35	0,34

DISCUSIÓN

El clon de papa 'Angostureña' presentó una curva fenológica que cumple el ciclo del cultivo a los 130 días luego de la siembra en la época seca y 142 días en la época húmeda, encontrando el inicio de tuberización a los 48 y 52 días e inicio de floración a los 58 y 68 días en época seca y húmeda respectivamente. Estos datos indican que el ciclo de cultivo de 'Angostureña' es más largo si se compara con la variedad 'Granola' que completa su ciclo a los 90 días después de la plantación e inicia la tuberización y floración a los 30 y 50 días después de la siembra (Villa y Sarmiento, 2009; Porras y Gallardo, 2011).

Sin embargo, 'Angostureña' tiene características importantes para ser adoptada por los productores de la aldea Venegará, pues según Salas (2014)

presenta tolerancia a la enfermedad tizón tardío causado por *P. infestans* y esto se pudo evidenciar en la localidad; ya que, aunque no se evaluó índice de severidad de la enfermedad, en el ensayo correspondiente a la época húmeda en el cultivo de 'Angostureña' no se observaron síntomas de la enfermedad, mientras en cultivos vecinos de la variedad 'Atlas' la enfermedad arrasó con toda la producción (Figura 3).

Esta característica de posible tolerancia de 'Angostureña' a la *P. infestans*, posibilita la reducción de la aplicación de productos químicos para su control y en consecuencia se disminuyen los costos de producción; además repercute en la no utilización de agroquímicos escasos, costosos y contaminantes, haciendo más sustentable este proceso productivo.



Figura 3. Aspecto de plantas de papa expuestas al ataque de *P. infestans* durante la época húmeda durante la etapa de crecimiento vegetativo. **A.** Variedad 'Atlas' **B.** Variedad 'Angostureña'.

Otro aspecto importante a considerar son los mayores rendimientos que se obtienen con 'Angostureña', lo cual probablemente se pueda deber al mayor tiempo de permanencia en campo, permitiendo así una mayor captación de energía radiante y en consecuencia un incremento de la fotosíntesis y de los fotosintetizados que pueden ser dirigidos a la reserva en los tubérculos de la planta; además, del mayor vigor mostrado en campo por este clon, evidenciado por una mayor altura de planta.

De igual manera, se pudo constatar que 'Angostureña' mostró un hábito de crecimiento decumbente; por lo tanto, es necesario modificar algunos procesos agronómicos del cultivo tales como: la densidad de siembra y el aporque, la densidad de siembra se debe disminuir y el aporque, se debe realizar antes de los 40 DDS para evitar daños a las plantas. Al respecto, Porras y Gallardo (2011) indican que conocer el hábito de crecimiento de las plantas de papa es importante al momento de planificar las labores agrícolas que serán realizadas al cultivo.

En ambas épocas de siembra las variables de crecimiento del clon 'Angostureña' se comportaron de manera similar; sin embargo, los mayores resultados para todas estas variables se obtienen en la época húmeda.

La planta de papa de esta variedad es una planta de gran vigor, pues en etapa vegetativa se encontraron plantas de 73,00 cm de altura y 78 cm de diámetro, otras variedades como 'Andinita' tiene una altura de alturas promedio de 51,25cm (Quintero et al., 2009), 'Tibisay' y 'Granola' tienen una altura de 47,8 y 40 cm respectivamente (Porras y Gallardo, 2011). Estos mismos autores señalan que plantas de porte bajo son una característica deseable en el cultivo de papa, ya que permite realizar labores agronómicas sin ocasionar daños mecánicos.

En cuanto al número de tallos 'Angostureña' presentó un promedio de 4,33 tallos en la época seca y 4,71 en la época húmeda. Al respecto Andrade (2006) y Seminario *et al.* (2017) señalan que el número de tallos depende de la variedad y del estado fisiológico del tubérculo semilla al

momento de la siembra. Otras variedades de papa como 'Kennebec' tienen un promedio de número de tallos de 3,90 y Atlantic 2,7 tallos (Zamora *et al.*, 2008). Aunque en el trabajo de López *et al.* (2013), el número de tallos no influyó sobre el número y peso de tubérculos de cuatro variedades de papa.

Respecto a las variables de rendimiento, el número de tubérculos por planta fue mayor en la época seca, pues se encontraron 18,3; mientras que en la época húmeda, se encontraron 17,3 tubérculos por planta.

No obstante, el peso de esos tubérculos fue de 1,30 kg en la época seca y 1,95 kg en la época húmeda; es decir, en la época húmeda se encontraron menos número de tubérculos, pero tubérculos más grandes y pesados, lo cual pudo haber sido debido a que la adecuada oferta hídrica contribuyó a la mejor nutrición mineral de la planta y en consecuencia en esta época, se obtuvo un mejor proceso fotosintético, permitiendo una mejor producción de fotosintetizados disponibles tanto para la síntesis de nuevos materiales a emplear en la parte aérea (mayor vigor y altura de planta) como en la producción de materiales de reserva en los tubérculos.

Al respecto, López *et al.* (2013) afirman que existe alta correlación entre altura de planta y peso de tubérculos; esto coincide con los resultados encontrados, pues fue en la época húmeda donde se encontró la mayor altura de plantas. Así mismo, Roberqui y Jeréz (2017) encontraron que el cultivo de la papa es extremadamente sensible a los cambios ambientales principalmente de temperatura, influyendo en gran medida en el número de tubérculos, en los calibres mayores y por ende en el rendimiento.

En este sentido, 'Angostureña' promete ser un clon con muy buenos resultados en cuanto a número de tubérculos (característica deseada en la producción de semilla). Meza *et al.* (2013) encontraron que la variedad 'Sin nombre' produjo 9,03 tubérculos por planta, 'Montañita' 7,08 tubérculos; 'Tibisay' 5,50 tubérculos; 'María Bonita' 5,03 tubérculos; 'María Reiche'

4,90 tubérculos; 'Unica' y 'Granola' 4,55 tubérculos por planta, del mismo modo, Zamora *et al.* (2008) encontraron que las plantas de 'Kennebec' y 'Atlantic' tenían un promedio de 5,86 y 5,60 tubérculos por planta. 'Angostureña' presentó un alto rendimiento en ambas épocas de siembra, 47, 96 tonha⁻¹ en la época seca y 54,35 ton ha⁻¹ en la época húmeda, superando los rendimientos reportados en diferentes variedades.

Zamora *et al.*, (2008) encontraron en Falcón a 800 msnm que la variedad 'Kennebec' tenía un rendimiento de 47,6 tonha⁻¹ y 'Atlantic' de 30,8 tonha⁻¹, sin embargo Porras y Gallardo (2011) encontraron en el estado Lara a 1658 msnm que Kennebec tenía los menores rendimientos con 12,27 ton ha⁻¹, con respecto a las variedades Andinita, Tibisay y Granola cuyos rendimientos fueron de 41,25; 37,18 y 31,04 ton ha⁻¹, respectivamente, esto indica que 'Kennebec' tiene mejor comportamiento en pisos altitudinales bajos.

En el estado Táchira Arias y Arnaude (2010) encontraron a 1900 msnm, en la variedad Granola rendimientos de 38,39 ton ha⁻¹, mientras que Roa *et al.*, (2010) al estudiar cinco variedades, el menor rendimiento fue para la variedad Fripapa 11,4 ton ha⁻¹ y el mayor para Idiafrit con 36,4 ton ha⁻¹, rendimientos todos estos inferiores a los reportados en este trabajo.

En Venezuela muchos investigadores han estudiado el comportamiento de variedades de papa para encontrar cultivares que mejoren el rendimiento de sus regiones (Meza *et al.*, 2013; Roa *et al.*, 2010; Quintero *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2008).

En Cuba, desde 1985 el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas como parte del programa de mejoramiento genético ha buscado mejorar la producción de papa y han obtenido ocho variedades de papa cubanas con resistencia a enfermedades, altos rendimientos y calidad de los tubérculos (Estévez *et al.*, 2008), de igual manera, Perú en el Centro Internacional de la Papa (CIP), con la colaboración de Universidades han desarrollados la variedad 'Única' con resistencia a virus (PVY), tolerancia al calor, moderada

resistencia al nematodo del nudo (*Meloidogyne* ssp.), precocidad, estabilidad de rendimiento en varias épocas de siembra y leve tolerancia a sales, esta variedad en los últimos años la han adoptado los agricultores peruanos (Gutiérrez-Rosales *et al.*, 2007). Así mismo, López *et al.* (2013) frente al problema de bajos rendimientos en el cultivo de papa en Tayabamba realizaron un estudio con cuatro variedades ('Serranita', 'Chucmarina', 'Pallayponcho' y 'Puca lliclla', donde la nueva variedad 'Palla y poncho' presentó los mejores resultados en cuanto a peso comercial de los tubérculos.

CONCLUSIONES

Se concluye que el clon de papa 'Angostureña', se adapta a las condiciones agroclimáticas de la aldea Venegará, municipio José María Vargas, y por sus características de tolerancia a *P. infestans*, así como los altos rendimientos, tiene alto potencial productivo para ser incluida en la producción agrícola en épocas de sequía y humedad.

REFERENCIAS

- 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.
- Estévez, A., Castillo, J., Salomón, J., Florido, R. (2008). Informe de nuevas variedades, Lajera, una nueva variedad cubana de papa. *Cultivos Tropicales*, 29(2), 57.
- Ezeta, F. (2001). Producción de Semilla de Papa en Latinoamérica. *Revista Latinoamericana de la Papa*, (12), 1-14.

- González, L., Araujo, Y., Salas, J., Lugo, Z., Gómez, D., Pichardo, J., Osorio, M., Gordones, G., Montilla, M., & Porras, E. (2016). Variedades de papa venezolana. *Revista INIA Divulga*, (34), 27-32. Disponible en: http://www.sian.inia.gob.ve/inia_divulga/divulga_34/rid34_gonzalez_27-32.pdf.
- Gutiérrez-Rosales, R., Espinoza-Trelles, J., Bonierbale, M. (2007). UNICA: variedad Peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 14(1), 41-50.
- López, E., Zavaleta, C., Gastelo, M., Siccha, R., Cáceda, J., (2013). Rendimiento comparativo de cuatro variedades nuevas de *Solanum tuberosum* L. "papa" en el anexo Chaquicocha, Distrito Tayabamba, Pataz-La Libertad. *ARNALDOA* 20(1), 155-170.
- Meza, N, Daboín, B., Moratinos, P., Riveros R., & Sequera, F. (2013). Crecimiento y producción de variedades de papa en Cuencas, municipio Urdaneta del estado Trujillo, Venezuela. *Agronomía Tropical* 63(3-4):177-183.
- Mora, E., Rojas J. (2005). Los cultivos líderes de la agricultura venezolana (1984-2005). *Revista Agroalimentaria* (25), 33-44.
- Porras, E., Gallardo, M., (2011). Caracterización agronómica de materiales genéticos de papa en la localidad Lomas de Cubiro, estado Lara, Venezuela. *Agronomía Tropical* 61(2), 105-111.
- Quintero, I., Montero, F., Zambrano, J., Meza, N., Maffei, M., Valera, A., & Álvarez, R. (2009). Evaluación de once clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el estado Trujillo. I Crecimiento, desarrollo y rendimiento. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26(3), 362-381.
- Rincón, J. (2011). Evaluación de vitroplantas de diez clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones protegidas en el páramo Los Pantanos, estado Trujillo. Trabajo de grado Universidad de Los Andes Pp 55. Disponible en: http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde_arquivos/34/TDE-2012-09-23T09:01:16Z-1769/Publico/rinconjorge.pdf.
- Roa, S., Barboza C., Zambrano A. (2010). Estabilidad del rendimiento de variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) para procesamiento industrial en el estado Táchira, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*, 27, 173-192.
- Roberqui, M., Jerez, E. (2017). Efecto de las temperaturas en el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Romano. *Cultivos tropicales* 38(1) ,75-80.
- Rubio, O., Rangel, J., Flores, L., Magallanes, G., Díaz, H., Zavala, T., Rivera, A., Cadena, M., Rocha, R., Ortiz, T., López, H., Díaz, M., & Paredes, A. (2000). Manual para la producción de papa en las sierras y valles altos del centro de México. Libro Técnico No. 1. División Agrícola. INIFAP. México. 38 p. Disponible en: <http://www.inifap.gob.mx/circe/Documents/publime/2%20MANUAL%20DE%20PAPA.pdf>
- Salas, J. (2014). Presentado en Mérida nuevo clon de papa 'Angostureña'. Instituto Nacional de Investigaciones agrícolas (INIA). Noticias, [en línea]. 28 de octubre de 2014. Disponible en: <http://prensamat.blogspot.com/2014/10/presentado-en-merida-nuevo-clon-de-papa.html>.
- Seminario, J., Seminario, A. Domínguez, A., Escalante, B. (2017). Rendimiento de cosecha de diecisiete cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) del grupo Phureja. *Scientia Agropecuaria* 8(3), 181 -191.
- Villa, P., Sarmiento, L. (2009). Recomendación alternativa para la fertilización del cultivo de papa en los altos andes venezolanos. INIAHOY ISSN: 1856-9951 Depósito Legal ppi200802AR3105. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Pedro_Villa/publication/274699164_Recomendacion_alternativa_para_la_fertilizacion_del_cultivo_de_papa_en_los_altos_Andes_venezolanos/links/525838d0cf24b822b405412/Recomendacion-

alternativa-para-la-fertilizacion-del-cultivo-de-papa-en-los-altos-Andes-venezolanos.pdf.

Zamora, F., Sánchez A., Tua D. (2008). Evaluación biométrica de dos variedades de

papa, en la zona alta del estado Falcón, Venezuela. *Agronomía Tropical* 5(1), 41-43.

Zósimo H. 1994. Potato descriptor for a minimum characterization of potato collection. Centro Internacional de la papa (CIP) Lima.

EFFECTO DE EXTRACTOS DE CLAVO Y CANELA PARA EL CONTROL POSTCOSECHA DE LA ANTRACNOSIS (*Colletotrichum gloeosporioides*) EN LECHOSA (*Carica papaya*)EFFECT OF CLOVE AND CINNAMON EXTRACTS FOR THE POSTHARVEST CONTROL OF ANTRACNOSIS (*Colletotrichum gloeosporioides*) IN PAPAYA (*Carica papaya*)**AUTORES:****Roche, Glenys; Pérez, Mayra; Moreno, Bridget y Vera, Rosa.**Laboratorio de Investigaciones Genéticas,
Universidad Nacional Experimental del Táchira
(UNET). San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela.**Corresponding Author:**

rvera@unet.edu.ve

Palabras clave: *Carica papaya*, *colletotrichum gloeosporioides*, clavo.**Key words:** *Carica papaya*, *colletotrichum gloeosporioides*, clove.**RESUMEN**

La lechosa es un fruto tropical importante en términos de producción a nivel mundial. En Venezuela es ampliamente consumida por la población y, frecuentemente, afectada por la antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*. Esta investigación se realizó en el municipio San Cristóbal, estado Táchira, teniendo como objetivo evaluar el efecto *in vitro* de extractos acuosos y etanólicos de clavo (*Syzygium aromaticum*) y canela (*Cinnamomum verum*) sobre el desarrollo de dos cepas del patógeno (C1 y C2) aislados de frutos enfermos de lechosa. El ensayo se desarrolló en placas Petri con medio papa dextrosa-agar (PDA) con los extractos a diferentes concentraciones, evaluando crecimiento vegetativo, concentración y germinación de esporas, comparado con un testigo comercial (TQ) Mancozeb a dosis de 2 kg.200L⁻¹. Posteriormente, se realizó un ensayo *in vivo* sobre frutos de lechosa al evaluar dos formas de aplicación del extracto de clavo al 10% (asperjado y sumergido) y el TQ, para frutos inoculados con C1 y C2 (1x 10⁶ conidios.mL⁻¹), se midió el tamaño y desarrollo de lesión durante 7 días. En la fase *in vitro* ni los extractos etanólicos de clavo y canela ni el extracto acuoso de canela lograron inhibir al patógeno, solo el extracto acuoso de clavo bajo método de decocción demostró efecto sobre el crecimiento vegetativo del hongo, inhibiendo completamente su crecimiento a concentraciones del 15, 20, 30, y 50 %. La menor concentración en la que se logró reducir considerablemente la concentración y viabilidad de esporas fue de 10 %, superando al TQ. Para los ensayos *in vivo*, la mejor forma de aplicación encontrada fue la inmersión de los frutos durante 3 minutos en el extracto acuoso de clavo, con lesiones de 0,92 cm (C1) y 1,10 cm (C2), en comparación con el TQ (2,08 y 3,12 cm, respectivamente), presentándose una alternativa para el manejo postcosecha de la antracnosis.

ABSTRACT

The papaya is an important tropical fruit in terms of production worldwide. In Venezuela, it is widely consumed by the population and frequently affected by the anthracnose caused by the fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. This research was carried out in the municipality of San Cristóbal, Táchira state, having as objective the evaluation of the *in vitro* effect of aqueous and ethanolic extracts of clove (*Syzygium aromaticum*) and cinnamon (*Cinnamomum verum*) on the development of two strains of the pathogen (C1 and C2) isolated from diseased fruits of papaya. The essay was developed in Petri dishes with potato dextrose agar medium (PDA) with the extracts at different concentrations, evaluating vegetative growth, concentration and germination of spores, compared to a commercial control (TQ) Mancozeb at a dose of 2kg.200L⁻¹. Subsequently, an *in vivo* test was carried out on papaya fruits, evaluating two application forms of 10% clove extract (sprinkled and submerged) and TQ, for fruits inoculated with C1 and C2 (1x 10⁶ conidia.mL⁻¹), the size and development of the lesion was measured for 7 days. In the *in vitro* phase, neither the ethanolic extracts of clove and cinnamon nor the aqueous extract of cinnamon could inhibit the pathogen; only the aqueous extract of clove under decoction method showed effect on the vegetative growth of the fungus, completely inhibiting its growth at concentrations of 15, 20, 30, and 50%. The lowest concentration in which the concentration and viability of spores was significantly reduced was of 10%, surpassing the TQ. For *in vivo* tests, the best form of application found was the immersion of the fruits for 3 minutes in the aqueous extract of cloves, with lesions of 0.92 cm (C1) and 1.10 cm (C2), in comparison to the TQ (2.08 and 3.12 cm respectively), presenting an alternative for postharvest management of anthracnose.

INTRODUCCIÓN

La antracnosis es una de las enfermedades fúngicas con mayor presencia en la lechosa y otros frutales, esta puede llegar a causar pérdidas entre el 40 % y 100 % en postcosecha (Ademe *et al.* 2013; Ayón-Reina *et al.*, 2017). Es causada principalmente por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc., aunque se ha reportado también la especie *C. dematium* causando síntomas similares en papaya. (Santamaría *et al.*, 2011).

El principal control que se hace de esta enfermedad es la aplicación de fungicidas de síntesis química de los grupos benzimidazoles, imidazoles, ditiocarbamatos y estrobirulinas (Bautista-Baños *et al.*, 2013), esto ha ocasionado resistencia en el patógeno y problemas de toxicidad, tomando en cuenta que la lechosa es utilizada principalmente para el consumo fresco y con mucha frecuencia consumida por niños y ancianos por sus propiedades nutritivas y terapéuticas. Se han evaluado distintos métodos para el control de hongos en postcosecha en papaya (Bautista-Baños *et al.*, 2013) buscando alternativas más amigables con el ambiente y menos tóxicas para el consumidor. Entre estos se pueden citar: el diseño de equipos de ionización electrónica para retardar la maduración de las frutas e inhibir el desarrollo de microorganismos (Vargas *et al.*, 2015); el uso de almidón de yuca para el recubrimiento de frutas, el cual puede proporcionar control efectivo de la antracnosis en papaya a bajo costo al retardar la maduración y formar una capa protectora sobre el fruto (Oliveira *et al.*, 2016).

Con la aplicación de tratamientos de inmersión de los frutos en agua caliente y cloruro de calcio (Ca) solo o combinados, se consiguió el retraso de la aparición de los síntomas de la antracnosis durante 5 días para lograr, de esta manera, mejorar la calidad de la papaya en postcosecha (Ayón-Reyna, 2017). También se han evaluado diferentes especies de levaduras, entre ellas *Debaryomyces hansenii*, la cual ha logrado inhibir al patógeno por la posible producción de compuestos orgánicos volátiles, enzimas líticas y

competencia por nutrientes y espacio (Hernández-Montiel *et al.*, 2018). Además, Bautista-Baños *et al.* (2013) señalan el uso de algunos microorganismos como *Bacillus firmus*, *Candida*, *Burkholderia cepacia*, entre otros. Así mismo, reportan el uso de compuestos naturales como extractos, compuestos activos de plantas, aceites esenciales y quitosan para el control de enfermedades postcosecha en la papaya. Del mismo modo, las plantas contienen metabolitos secundarios con propiedades antimicrobianas, las cuales se han utilizado para el control de diferentes enfermedades, entre ellas, las enfermedades postcosecha en productos hortofrutícolas (Hernández-Montiel *et al.*, 2007). De esta manera, diferentes plantas o partes de ellas han sido evaluadas para el control de *C. gloeosporioides* en varios frutales (Baños-Guevara *et al.*, 2004; Bolívar *et al.*, 2009). Entre ellas el clavo (*Syzygium aromaticum*) y canela (*Cinnamomum verum*) como especies que tienen potencial para el control de este patógeno (Landerio *et al.*, 2013; Muhammad *et al.*, 2017).

Por consiguiente, se llevó a cabo una investigación en los Laboratorios de Investigaciones Genéticas y Fitopatología de la Universidad Experimental del Táchira (UNET), y se planteó como objetivos evaluar el efecto de extractos etanólicos y acuosos de clavo (*Syzygium aromaticum*) y canela (*Cinnamomum verum*) sobre el desarrollo de *C. gloeosporioides in vitro* y sobre el desarrollo de la enfermedad en frutos de lechosa inoculados con el patógeno, buscando una alternativa que promueva la agricultura sustentable y la reducción del uso de agroquímicos y permita ofrecer un producto de mejor calidad al consumidor.

MÉTODO

Material biológico: se evaluaron dos aislados de *Colletotrichum*: C1 del cepario de hongos del Laboratorio de Investigaciones Genéticas- UNET (LIG105) y C2 que se obtuvo durante el desarrollo de la investigación (LIG106).

Pruebas de patogenicidad y caracterización del patógeno: se aplicó la metodología planteada por

Lugo y Fuguet (2004) en frutos de lechosa con un grado de maduración de 0-4 según la escala de índices de cosecha de Santamaría (2009) inoculando el aislado C1. La caracterización e identificación del patógeno se hizo a partir de cultivos monospóricos de C1 y C2, realizando observaciones macroscópicas de las colonias crecidas en medio PDA y microscópicas de los cuerpos de fructificación y las esporas, las cuales fueron fotografiadas y medidas utilizando el programa Motic Imagen, la identificación se hizo por comparación de características culturales y morfológicas (Hernández *et al.*, 2005; Santamaría *et al.*, 2011).

Preparación de los extractos:

Extracto acuoso (EA): se utilizó el método de decocción con una mezcla de 20 g de corteza de canela o clavo y 200 ml de agua destilada, se calentó a 100 °C por 30 min en agitación constante.

Extracto etanólico (EE): se empleó el método de macerado, preparando una mezcla de 100 ml de alcohol etílico (aguardiente artesanal) con 10 g de clavo o canela, se agitó y se dejó macerar por 48 horas en oscuridad, luego se filtró con doble papel filtro Watman N°1 estéril.

Efecto de extractos acuosos y etanólicos de clavo y canela sobre el desarrollo *in vitro* de *C. gloeosporioides*

En esta fase se realizaron dos ensayos: el primero para discriminar qué especie y tipo de extracto se seleccionaría para el segundo ensayo,

considerando la capacidad de inhibición que ejerció cada tratamiento sobre el crecimiento micelial del patógeno.

Primer ensayo (clavo y canela): Se empleó el método de pozos en agar (Rojas *et al.*, 2005), evaluando los tratamientos de la siguiente manera: 2 especias (clavo y canela), dos tipos de extractos (EA y EE a 25, 50 y 100 %) y el tratamiento testigo 0 %, es decir, se aplicó solo agua destilada estéril (ADE) y alcohol etílico puro, respectivamente. Se hicieron 3 repeticiones por tratamiento para un diseño parcialmente anidado en tres etapas. Como respuesta se midió el crecimiento vegetativo (diámetro de la colonia) de *Colletotrichum* (C1) sobre medio de cultivo PDA, durante 4 días. Se hizo un análisis de varianza utilizando el programa InfoStat.

Segundo ensayo (clavo): se utilizó la metodología de Zapata *et al.* (2003), según la cual se mezcló cada uno de los tratamientos seleccionados en el primer ensayo (aquellos que lograron mayor inhibición del patógeno) con el medio de cultivo PDA, luego se inoculó cada una de las placas con un disco de PDA con micelio del patógeno de aproximadamente 5 mm de diámetro. El ensayo se realizó en un diseño parcialmente anidado en dos etapas con 5 repeticiones por tratamiento, se ejecutaron ensayos por separado para cada aislamiento de *Colletotrichum* (C1 y C2). Las dosis evaluadas con cada uno de los tratamientos seleccionados en el primer ensayo se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Descripción de los tratamientos utilizados en la evaluación del desarrollo *in vitro* de dos aislados de *Colletotrichum gloeosporioides*, tratados con extractos acuosos de clavo (*Syzygium aromaticum*).

Aislado del patógeno	Concentración del extracto acuoso de clavo (%)	Código
C1	5	CLA5
	10	CLA10
	15	CLA15
	20	CLA20
	30	CLA30
	50	CLA50
C2	5	CLA5
	10	CLA10
	15	CLA15
C1 y C2	Testigo químico (Mancozeb)	TQ
	Testigo absoluto	T

Se midió diariamente el radio de la colonia, hasta que el testigo cubrió la placa. Al décimo quinto día después de la siembra, se determinó la concentración y viabilidad de las esporas siguiendo la metodología de Marín y Bustillo (2002). Además, se determinó el efecto fungicida o fungistático de los extractos de clavo en las placas donde no se observó desarrollo del patógeno. Para esto, los discos de PDA con micelio inoculados en los tratamientos con las concentraciones evaluadas de clavo, se pasaron a placas sin extractos, es decir, a PDA puro, se incubaron a 25 ± 2 °C por once (11) días y luego se evaluó el desarrollo de las colonias: se consideró un efecto fungicida en aquellos casos donde no hubo crecimiento del hongo y fungistático para los que sí crecieron (Camarillo *et al.*, 2006).

Análisis de resultados: Se hizo análisis de varianza y pruebas de comparación de medias, previa aplicación de los supuestos de normalidad de residuos y homogeneidad de varianza utilizando el programa Info Stat.

Efecto de los extractos de clavo para el control de la antracnosis en frutos de lechosa

Preparación de los frutos de lechosa: los frutos fueron desinfectados con hipoclorito de sodio al 2 % durante 3 minutos, se enjuagaron con ADE y se secaron a temperatura ambiente sobre una toalla estéril. Se marcaron las lechosas dividiéndolas en 4 cuadrantes por fruto, utilizando dos cuadrantes para cada aislado del patógeno (C1 y C2).

Aplicación de los tratamientos: En esta fase se aplicó extracto acuso de clavo al 10 % preparado por el método decocción. Se evaluaron dos métodos de aplicación del extracto: **tratamiento asperjado**, el cual se aplicó con un rociador manual hasta cubrir completamente los frutos; **tratamiento sumergido**, los frutos se sumergieron durante 3 min en 5 L del extracto y se dejaron secar para, posteriormente, ser inoculados. Estos se compararon con un **testigo químico** (manejo convencional de frutos en postcosecha en campo), por lo cual los frutos se sumergieron durante 3 min en 5 L de Mancozeb

a razón de 2 Kg.200L⁻¹ y, finalmente, el **tratamiento testigo** al cual solo se le realizó el lavado inicial y luego se inoculó.

Se utilizaron tres frutos para cada tratamiento (seis repeticiones para cada aislado del patógeno). **Preparación del inóculo e inoculación:** se crecieron colonias de cada aislado del patógeno en placas de Petri con medio PDA. Transcurridos 7 días después de la siembra, se lavó la superficie con ADE y se ajustó la concentración a 1×10^6 esporas/mL⁻¹. Los frutos se inocularon con 20 µL de la suspensión y fueron incubados a una temperatura de 26 ± 2 °C. El ensayo se desarrolló bajo un diseño completamente aleatorizado midiendo el diámetro de la lesión 7 días después de la inoculación. Se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias (Tukey 0,05) usando el programa InfoStat.

RESULTADOS

Pruebas de patogenicidad y caracterización del patógeno: Los frutos inoculados con C1 mostraron manchas hundidas de color salmón, acérvulos en forma de almohadilla sin setas, conidios rectos con ambos extremos redondeados y ovoides con un extremo redondeado y el otro agudo, con medidas promedio de largo 17,6 µm y ancho 6,2 µm. En medio del cultivo PDA se desarrolló micelio blanco de rápido crecimiento, con colonias de blancas a salmón, masas de conidios de color naranja distribuidos en toda la colonia o en el centro de la misma, además se presentó una infección espontánea con manchas de relieve ondulado, de color marrón a pardo, con acérvulos en forma de almohadilla sin setas rodeados de abundante micelio, de la cual se aisló C2, desarrollando micelio gris de crecimiento lento, con colonias de blancas a grises y conidios formándose en anillos concéntricos y puntos negros distribuidos por toda la colonia. Presentó algunos conidios rectos con ambos extremos redondeados y otros ovoides con un extremo redondeado y el otro agudo, con medidas promedio 17,68 µm de largo y 7,09 µm de ancho.

Los dos aislados corresponden a la especie *C. gloeosporioides* (Figura 1):

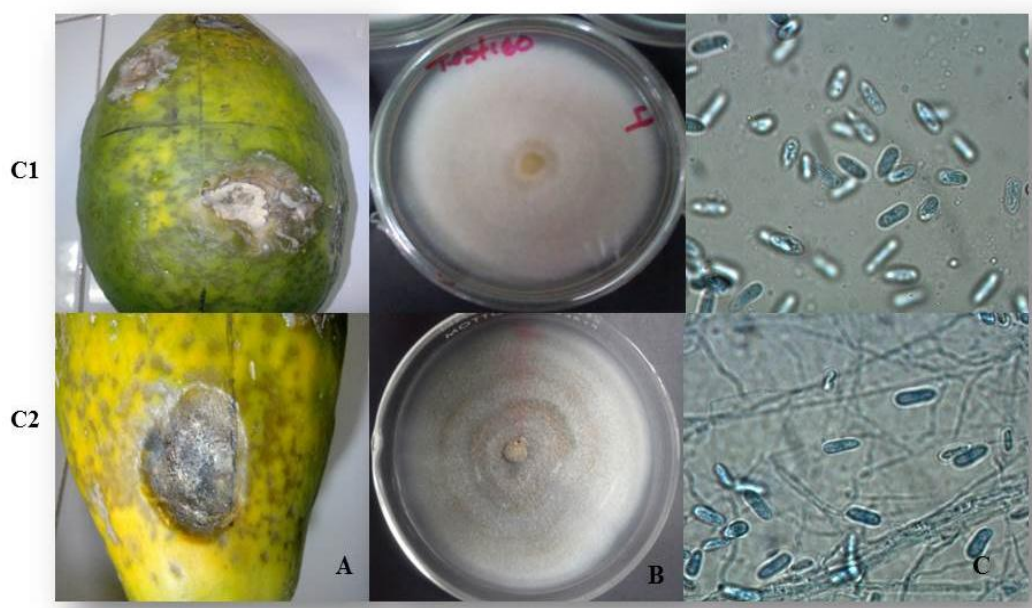


Figura 1. Síntomatología, características culturales y morfológicas de los aislados de C1 (patógeno inoculado) y C2 (infección espontánea) de *Colletotrichum gloeosporioides* A. Desarrollo de la antracnosis en frutos de lechosa. B. Crecimiento del patógeno en medio de cultivo PDA y detalle de los conidios.

Efecto de extractos acuosos y etanólicos de clavo y canela sobre el desarrollo *in vitro* de *C. gloeosporioides*

Primer ensayo: se observaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,0001$) entre los tratamientos, encontrando que el extracto acuoso de clavo bajo el método de decocción fue más eficaz inhibiendo el crecimiento micelial del patógeno; mientras que los extractos acuoso de canela y etanólicos de clavo y canela presentaron mayor crecimiento del hongo. Las concentraciones más altas correspondieron a una mayor inhibición micelial.

Segundo ensayo:

Crecimiento vegetativo: como se muestra en la Tabla 2, para el aislamiento C1 con el extracto acuoso de clavo al 50, 30 y 20 % no se observó crecimiento micelial del patógeno, estos tratamientos fueron estadísticamente similares a la concentración con 15 % del extracto (0,18 cm en ocho días). La concentración de clavo al 10 % mostró el mismo comportamiento estadístico que el testigo químico (Mancozeb) y con el mayor crecimiento vegetativo se ubicó el tratamiento testigo alcanzando 3,66 cm a los ocho días.

Con el aislado C2 solo se evaluaron las concentraciones en las cuales se observó crecimiento con C1 (5, 10 y 15 %). Los resultados en este caso muestran que el extracto de clavo en concentraciones de 10 y 15 % logró disminuir el crecimiento vegetativo del patógeno comportándose de manera similar al testigo químico, seguido del tratamiento al 5 %, por lo cual el mayor desarrollo vegetativo correspondió al testigo (Tabla 2).

Concentración y viabilidad de esporas:

Como se puede observar en la Tabla 2, para C1 con el extracto de clavo al 15 % no se formaron esporas en el medio de cultivo, aun cuando hubo crecimiento vegetativo, y este tratamiento fue estadísticamente similar al extracto con 10 % de clavo ($1,5 \times 10^7$ esporas. ml^{-1}). Asimismo, el extracto al 5 % y el TQ formaron un grupo estadístico con $6,8 \times 10^7$ y $4,8 \times 10^7$ esporas. ml^{-1} respectivamente, separándose el tratamiento testigo con el mayor número de esporas formadas ($8,7 \times 10^7$ esporas. ml^{-1}). En cuanto a la viabilidad de las esporas, esta disminuyó al aumentar la concentración del extracto, aunque no hubo diferencias estadísticas entre control químico y

MANEJO POSTCOSECHA DE ANTRACNOSIS EN LECHOSA

Roche, G.; Pérez, M.; Moreno, B.; Vera, R.

las concentraciones del extracto al 5 y 10 %. En lo que respecta al aislamiento C2 no se formaron esporas con los tratamientos al 15 y 10 %, y solo

$4,8 \times 10^7$ esporas.ml⁻¹ con el TQ; los tratamientos al 5 % y T se comportaron de manera similar con una viabilidad de las esporas cercana al 50 %.

Tabla 2: Efecto de los extractos acuosos de clavo (*Syzygium aromaticum*) sobre el crecimiento vegetativo, concentración y viabilidad de esporas en dos aislados de *Colletotrichum gloesporioides*.

Aislado del patógeno	Tratamiento	Crecimiento vegetativo (cm)	Concentración de esporas (X ⁷)*	Germinación (%)
C1	CLA5	1,78 ^c	6,8 ^{bc}	44 ^b
	CLA10	0,6 ^b	1,5 ^a	38 ^b
	CLA15	0,18 ^a	0 ^a	0 ^a
	CLA20	0 ^a	-	-
	CLA30	0 ^a	-	-
	CLA50	0 ^a	-	-
C2	TQ	0,72 ^b	4,8 ^b	49 ^b
	T	3,66 ^d	8,7 ^c	60 ^c
	CLA5	1,07 ^b	20,25 ^b	49 ^c
	CLA10	0,0 ^a	0 ^a	0 ^a
	CLA15	0,0 ^a	0 ^a	0 ^a
	TQ	0,12 ^a	4,16 ^a	33,6 ^b
	T	2,53 ^b	21,58 ^b	49 ^c
p-value		(p<0,0001)	(p<0,0001)	(p<0,0001)

Letras iguales en superíndices de una misma columna indican que no hubo diferencias estadísticas significativas.

*La concentración de esporas se expresó con base en 10⁷.

Determinación del efecto fungicida y fungistático

Para el aislamiento C1 se encontró un efecto fungicida del extracto acuoso de clavo con las concentraciones 20 %, 30 % y 50 %. Mientras que para el aislado C2 el efecto fue fungistático

con las concentraciones del extracto de clavo al 10 % y 15 %, ya que al sembrar en PDA los discos que contenían el micelio del hongo se observó el crecimiento vegetativo del patógeno (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Determinación del efecto fungicida y fungistático de los extractos acuosos de clavo (*Syzygium aromaticum*) sobre dos aislados de *Colletotrichum gloesporioides*.

Tratamiento	Aislado	Efecto	
		Efecto fungicida	Efecto fungistático
CLA10	C2	-	+
CLA15	C2	-	+
CLA20	C1	+	
CLA30	C1	+	
CLA50	C1	+	

Efecto de los extractos de clavo para el control de la antracnosis en frutos de lechosa

En la Figura 2 se puede observar la curva del desarrollo de la enfermedad, medida por el tamaño de las lesiones causadas por *C. gloeosporioides*, desde la inoculación hasta el día 7. Se observó que al sumergir los frutos en el extracto de clavo al 10 %, las lesiones se

manifestaron con menor tamaño y más distanciadas en el tiempo para los dos aislados del patógeno. En cuanto al tratamiento asperjado se comportó similar al testigo químico y al tratamiento control. Asimismo, vale la pena destacar el nivel de tolerancia al funguicida o tratamiento comercial que muestra el aislamiento C2, ya que, incluso, desarrolló lesiones mayores a la del tratamiento testigo.

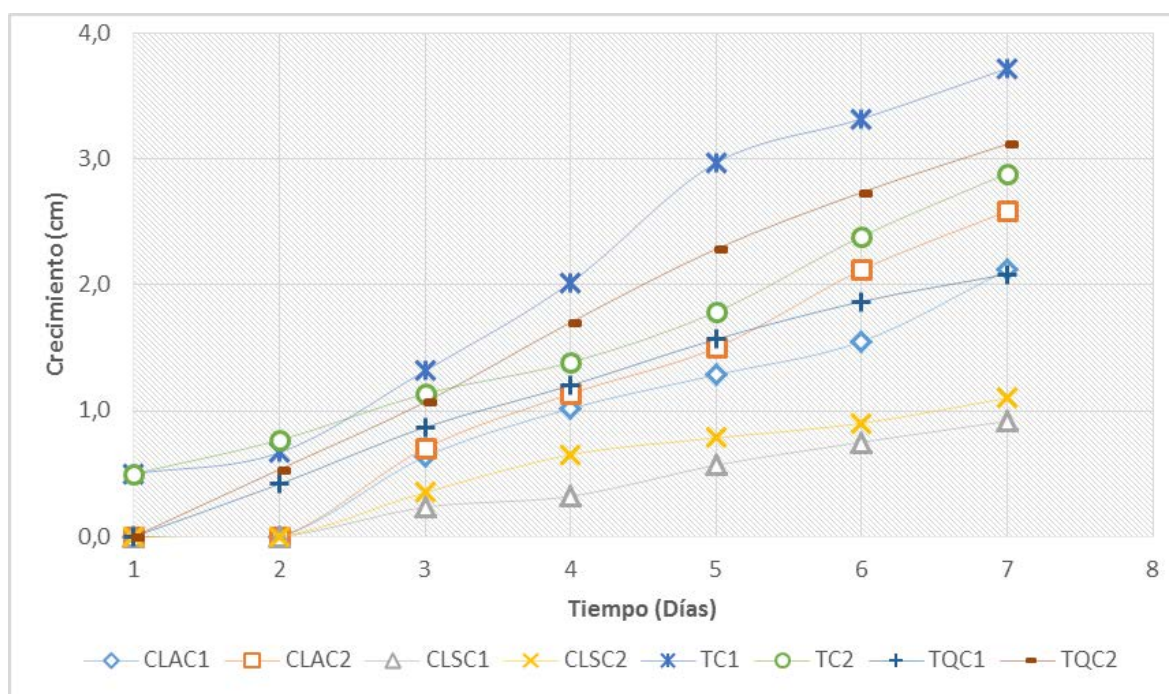


Figura 2. Curva de crecimiento de la lesión en función del tiempo, después de la inoculación de C1 y C2 en frutos de lechosa (*Carica papaya*). CLA (extracto de clavo asperjado). CLS (extracto de clavo sumergido). T (tratamiento testigo sin extracto) y TQ (tratamiento químico – Mancozeb).

DISCUSIÓN

Pruebas de patogenicidad y caracterización del patógeno

Los síntomas mostrados por los frutos inoculados con C1 y los de la infección espontánea de C2 son similares a los descritos por Lugo y Fuguet (2004); Hernández *et al.* (2005) y Martínez-Bolaños *et al.* (2015) para la enfermedad conocida como antracnosis del fruto causada por

la especie *Colletotrichum gloeosporioides*. Con respecto a las características culturales del patógeno, Hernández *et al.* (2005) al evaluar en dos cepas del patógeno, observaron colores amarillo, naranja, rosa pálido y café pálido en colonias de *C. gloeosporioides*, lo cual coincide con las características observadas en los dos aislados evaluados. Del mismo modo, Santamaría *et al.* (2011) reportaron la presencia de dos especies de *Colletotrichum*, como agentes causantes de la antracnosis en lechosa en México

(*C. gloesporioides* y *C. dematium*), al comparar sus datos con los obtenidos en esta investigación, aun cuando las características de la colonia y la sintomatología de *C. dematium* coinciden con las expuestas para el aislado C2 (infección espontánea), la forma y tamaño de los conidios difieren totalmente, coincidiendo estos para la especie *Colletotrichum gloesporioides*.

Efecto de extractos acuosos y etanólicos de clavo y canela sobre el desarrollo *in vitro* de *C. gloesporioides*

Primer ensayo: De los extractos vegetales evaluados: clavo y canela, solo el extracto acuoso de clavo bajo método de decocción demostró efecto sobre el desarrollo del crecimiento vegetativo de *Colletotrichum*.

Estos resultados difieren de los encontrados por Landero *et al.* (2013); quienes utilizando extracto de ajo *Allium sativum* (10 % y 15 %) y canela (*Cinnamomum zeylanicum*) (0 %, 0,0050 %, 0,0100 % y 0,0150 %) mostraron efecto fungicida en contra de *C. gloesporioides* para supresión de crecimiento micelial (100 %), inhibición de germinación (100 %) y esporulación del hongo (100 %), considerándose estos extractos como promisorios para inhibir el desarrollo del hongo *in vitro*.

Segundo ensayo: Los resultados muestran, de manera evidente, que el extracto acuoso de clavo a las concentraciones de 20 %, 30 % y 50 % logró un efecto de inhibición del crecimiento micelial del patógeno (fungicida). Y las concentraciones de 15 % y 10 % mostraron efecto fungistático inhibiendo al patógeno de manera similar al testigo químico. Esto concuerda con otros estudios que reconocen el efecto antimicrobiano del clavo (*Syzygium aromaticum*) contra patógenos e, incluso, contra microorganismos resistentes a antibióticos y antifúngicos (Aguilar *et al.*, 2013). Muhammad *et al.* (2017) señalaron que extractos etanólicos y metanólicos de *Moringa oleifera*, *Syzygium aromaticum* y *Cinnamomum zeylanicum* mostraron actividad antifúngica estadísticamente significativa contra el crecimiento micelial de *Colletotrichum gloesporioides* y otros patógenos probados

(*Lasiodiplodia theobromae*, *Phomopsis mangiferae*, *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea* y *Cytosphaera mangiferae*).

En cuanto a la producción y germinación de esporas, a medida que aumentó la concentración del extracto de clavo, disminuyó el número de esporas formadas y la viabilidad de las mismas; 15 % del extracto de clavo inhibió totalmente la formación de esporas lo cual representa que no existe formación de inóculo para futuras infecciones. Con 10 % y 5 % se logró reducir esta importante variable a niveles menores o similares al tratamiento químico, con la ventaja de que los extractos vegetales no suelen ser tóxicos para el ser humano y para el ambiente.

Efecto de los extractos de clavo para el control de la antracnosis en frutos de lechosa

Las evaluaciones sobre los frutos de lechosa indicaron que al sumergirlos durante tres minutos en extracto de clavo al 10 % se pudo crear una película protectora que retardó la aparición y el desarrollo de síntomas de antracnosis. Estos resultados concuerdan con Guédez *et al.* (2014) quienes al utilizar aceite esencial de naranja como película en los frutos, a concentraciones de 2,5 % y 5 %, lograron disminuir la presencia de lesiones en los mismos.

Por otra parte, la tolerancia que mostró el aislado C2 al control químico pudo obedecer a que el Mancozeb es un fungicida de uso común en aplicaciones postcosecha; además, por presión de selección, este patógeno puede haber desarrollado cierto grado de resistencia, lo cual es una razón más para la búsqueda de otras alternativas como el control natural.

CONCLUSIONES

A través de esta investigación se evidenció que el extracto acuoso de clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) posee propiedades antimicrobianas o antifúngicas, ya que inhibió el desarrollo vegetativo de *Colletotrichum gloesporioides in vitro* ejerciendo un efecto fungicida o fungistático según la cepa del hongo.

En el ensayo *in vivo*, aplicado en una concentración de 10 %, se retardó el desarrollo de los síntomas de la enfermedad.

La mejor forma de aplicación del extracto resultó ser el tratamiento sumergido. Esto representa una alternativa que debe ser evaluada a nivel de campo como parte del manejo postcosecha de la antracnosis en lechosa.

REFERENCIAS

- Ademe, A., Ayalew, A., Woldetsadik, K. (2013). Evaluation of antifungal activity of plant extracts against papaya anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). *J. Plant Pathol. Microb*, 4(10): (2-4).
- Aguilar, E., López, A., (2013). Extractos y aceite esencial del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y su potencial aplicación como agentes antimicrobianos en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de los alimentos*, 7 (2): (33-41).
- Ayón-Reyna, L., López-Valenzuela, J., Delgado-Vargas, F., López-López, M., Molina-Corral, F., Carrillo-López, A., Vega-García, M. (2017). Effect of the Combination Hot Water - Calcium Chloride on the *In Vitro* Growth of *Colletotrichum gloeosporioides* and the Postharvest Quality of Infected Papaya. *The Plant Pathology Journal*, 33(6): (572-581).
- Baños-Guevara, P., Zavaleta-Mejía, E., Colinas-León, M., Luna-Romero, I., Gutiérrez-Alonso, J. (2004). Control biológico de *Colletotrichum gloeosporioides* en papaya maradol Roja y fisiología postcosecha de frutos infectados. *Revista Mexicana Fitopatología* 2:(198-205).
- Bautista-Baños, S., Sivakumar, D., Bello-Pérez, A., Villanueva-Arce, R., Hernández-López, M. (2013). A review of the management alternatives for controlling fungi on papaya fruit during the postharvest supply chain. *Crop Prot.* 49:(8-20).
- Bolívar, K., Sanabria, M., Rodríguez, D. (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).
- Camarillo, E., Viay, M., Lara, J., Hernández, G., Martínez, E., Reyes, M. (2006). Actividad antifúngica 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 (001): (8 -12).
- Guédez, C., Cañizalez, L., Avendaño, L., Scorza, J., Castillo, C., Oliva, R., Méndez, Y., Sánchez, L. (2014). Actividad antifúngica del aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis* L.) sobre hongos postcosecha en frutos de lechosa (*Carica papaya* L.). *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 34(2): (81-87).
- Hernández-Albiter, R., Bravo-Luna, L., Corona-Rangel, M., Villa-Ayala, P., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L. (2005). Caracterización morfofocultural y sintomatológica de dos aislamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. de papayo (*Carica papaya* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 23(223-231).
- Hernández-Montiel, L., Gutierrez - Perez, E., Murillo-Amador, B., Verob, S., Chiquito-Contreras, R., Rincon-Enriquez, G. (2018). Mechanisms employed by *Debaryomyces hansenii* in biological control of anthracnose disease on papaya fruit Postharvest, *Biology and Technology*, 139: (31-37).
- Landero, N., Nieto, D., Téliz, D., Alatorre, R., Orozco, M., Ortiz, F. (2013). Potencial antifúngico de extractos de cuatro especies vegetales sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* en papaya (*Carica papaya*) en poscosecha. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4 (1): (047-062).
- Lugo, Z., Fuguet, R. (2004). Antracnosis en frutos de lechosa (*Carica papaya* L.) del tipo Maradol causada por *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. en el estado Falcón.

- Rev. Fac. Agron. (LUZ), 21 Supl. 1: (207-212).
- Marín, P. y Bustillo, A. (2002). Pruebas microbiológicas y Físico-Químicas para el control de calidad de hongos entomopatógenos. Memorias del curso internacional Teórico-práctico sobre entomopatógenos, parasitoides y otros enemigos del café Chinchiná, Colombia (72-89).
- Martínez-Bolaños, M., Téliz-Ortiz, D., Mora-Aguilera, A., Valdovinos-Ponce, G., Nieto-Ángel, D., García-Pérez, E., López, V. (2015). Anthracnose *Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) of Litchi Fruit (*Litchi chinensis* Soon.) in Oaxaca, México. Revista Mexicana de Fitopatología 33: (140-155).
- Muhammad, A., Abdul, R., Shahbaz, S., Aman, M. (2017). Exploitation of natural products as an alternative strategy to control stem end rot disease of mango fruit in Pakistan. Pakistan Journal Of Agricultural Sciences, 54(4): (775-783).
- Oliveira, B., Cruz, A., Alves, E. (2016). Cassava starch coatings for postharvest control of papaya anthracnose. Phytopathologia Mediterranea, 55(2) :(276-284).
- Rojas, J., García, A., López, A. (2005). Evaluación de dos metodologías para determinar la actividad antimicrobiana de plantas medicinales. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 4 (2): (28-32).
- Santamaría, F., Díaz, R., Gutiérrez, O., Santamaría, J., Larqué, A. (2011). Control de dos especies de *Colletotrichum* causantes de antracnosis en frutos de papaya maradol. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2 (5): (631-643).
- Santamaria J. (2009). Postharvest ripening and maturity for Maradol papaya. Interciencia, 34: (583-588).
- Vargas, J., Carrillo, J., Domínguez, L. (2015). Prototipo de unidad de ionización electrónica para conservación de la «carica papaya». Ingenium, 15(31), (55-70).
- Zapata, R., Sanabria, M., Rodríguez, D. (2003). Reducción del desarrollo de hongos fitopatógenos de Cardón lefaria (*Cereus deficiens* Otto & Diert). Interciencia, 28 (5) :(302-307).

DISMINUCIÓN DEL CRECIMIENTO MICELIAL DE *Sclerotinia sclerotiorum* Y DEL MOHO BLANCO EN LECHUGA POR EFECTO DE EXTRACTOS ETANÓLICOS DE PLANTAS

DROP IN MICELIAL GROWTH OF *Sclerotinia sclerotiorum* AND LETTUCE DROP IN LETTUCE BY THE EFFECT OF ETHANOLIC EXTRACTS FROM PLANTS

AUTORES:

Escalante, Marlyn; Chacón, José; Suárez, María; Barbosa, Alexandro

Universidad Nacional Experimental del
Táchira, Venezuela.

Corresponding Author:
mescalan@unet.edu.ve

Palabras clave: Extractos, etanólicos, *Sclerotinia*, *Ricinus*, *Gliricidia*.

Key words: Extracts, ethanolic, *Sclerotinia*, *Ricinus*, *Gliricidia*.

RESUMEN

El moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*) es una enfermedad que provoca grandes pérdidas en hortalizas. Como alternativa de manejo, se evaluó el efecto de extractos etanólicos (EE) de *Gliricidia sepium* y *Ricinus communis* sobre el crecimiento micelial de *S. sclerotiorum* sobre la severidad del moho blanco en lechuga. Se utilizaron hojas sanas y secas de ambas especies; luego de molidas, se agregó etanol al 96%, macerando por 48 horas y se obtuvo el EE con rotoevaporador. El hongo se cultivó en PDA por una semana, se transfirió un disco de 0,9 cm de diámetro a capsulas de Petri con PDA+EE en concentraciones de 3 y 5%. Se determinó el crecimiento diario de la colonia hasta que el testigo cubrió la capsula, si no ocurría crecimiento se transfirieron los discos a PDA sin extracto, para observarla ocurrencia del desarrollo de colonias, considerando un efecto fungicida cuando no se presentó crecimiento. Para evaluar el efecto de los EE sobre la enfermedad, se realizó un ensayo en hojas desprendidas con tratamientos de cada EE al 20%, químico y testigo, con tres (3) momentos de aplicación: un día antes de la inoculación (DAI), mismo día de la inoculación (DI) y un día después de la inoculación (DDI). Se determinó diámetro de la lesión, a las 48 y 72 h. Todos los tratamientos *in vitro* inhibieron totalmente el desarrollo del patógeno estudiado, con efecto fungistático en todos los casos. A las 48 h los EE de ambas plantas se comportaron estadísticamente similares al químico en cada momento de aplicación. A las 72 h para DAI y DI fueron superados por el químico, pero todos predominaron ampliamente sobre el testigo; sin embargo, para DDI se comportaron similar al testigo. Según estos resultados, ambos EE podrían considerarse como una alternativa en el manejo de este patógeno.

ABSTRACT

Lettuce drop (*Sclerotinia sclerotiorum*) is a disease that causes large losses in vegetables. As alternative management, the effect of ethanolic extracts (EE) of *Gliricidia sepium* and *Ricinus communis* was evaluated on the mycelial growth of *S. sclerotiorum* and on the severity of lettuce drop. Healthy and dry leaves of both species were used and after mashed, ethanol was added at 96%, macerating for 48 hours and EE was obtained with a rotoevaporator. The fungus was cultivated in PDA for a week, a 0.9 cm diameter disc was transferred to Petri dishes with PDA + EE in concentrations of 3 and 5%. The daily growth of the colony was determined until the control covered the dish; if growth did not occur, the discs were transferred to PDA without extract, to observe the occurrence of the development of colonies, considering a fungicidal effect when no growth occurred. To evaluate the effect of the EE on the disease, a test was performed on detached leaves with treatments of each EE at 20%, chemical and control, with 3 moments of application: one day before the inoculation (DAI), same day of the inoculation (DI) and one day after inoculation (DDI). The diameter of the lesion was determined at 48 and 72 h. All *in vitro* treatments totally inhibited the development of the pathogen studied, with a fungistatic effect in all cases. At 48 h, the EE of both plants behaved statistically similar to the chemical in each moment of application. At 72 h, DAI and DI were exceeded by the chemical but all predominated widely over the control; however, for DDI, they behaved similar to the control. According to these results, both EE could be considered as an alternative in the management of this pathogen.

INTRODUCCIÓN

El moho blanco es una enfermedad ampliamente distribuida, ya que ataca a prácticamente todas las hortalizas en cualquier etapa de desarrollo llegando a provocar grandes pérdidas de hasta el 80%. Es la enfermedad de mayor importancia del cultivo, y se la puede encontrar en todas las áreas del mundo donde se produce lechuga, dado que el agente causal *Sclerotinia sclerotiorum* desarrolla un micelio blanco sobre el tejido vegetal, lo que da el nombre a la enfermedad. Para el control del moho blanco, se han utilizado principalmente fungicidas de síntesis química, lo cual representa cerca del 20% de los costos de producción y, con el riesgo que supone su uso inadecuado, se conduce al detrimento en la calidad y competitividad del producto de consumo (Martínez, 2008).

El control de este fitopatógeno, por medio de prácticas convencionales, es difícil. El tratamiento con productos químicos a veces es antieconómico y la eficacia de la rotación de cultivos es reducida, por su muy amplio rango de hospederos y por su capacidad de sobrevivencia en el suelo por medio de esclerocios; por lo tanto, los extractos de plantas se presentan como una estrategia a tomar en cuenta para un manejo integrado de este patógeno, contrarrestando, además, los diversos problemas de contaminación que causan los agroquímicos, ya que su utilización es amigable con el ambiente y son de sencilla elaboración. En este sentido, se han logrado experiencias exitosas como las de Lizcano (2007), quien a través del uso del extracto de tomillo (*Thymus vulgaris*), pudo minimizar el crecimiento micelial de *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* y *S. sclerotiorum* y que, al agregarse sobre las plantas inoculadas, disminuyó, también, los síntomas de estas enfermedades.

Así mismo, las experiencias de Goussous *et al.* (2013), quienes observaron que el efecto inhibidor de los extractos etanólicos de Romero (*Rosmarinus officinalis*) y Salvia (*Salvia fruticosa*) sobre el crecimiento micelial y la formación de esclerocios de *S. sclerotiorum*,

aumenta en proporción a sus concentraciones llegando a inhibir totalmente el crecimiento micelial en concentraciones de 10 y 20% respectivamente. Tomando en consideración esto, se decidió ejecutar esta investigación cuyo objetivo fue evaluar el efecto de extractos etanólicos (EE) de *Gliricidia sepium* y *Ricinus communis* sobre el crecimiento micelial de *S. sclerotiorum* y sobre la severidad del moho blanco en lechuga.

MÉTODO

Se utilizó una cepa de *S. sclerotiorum* seleccionada del Cepario del Laboratorio de Investigaciones Genéticas UNET identificada con el código LIG070, procedente de Timotes, estado Mérida y aislada de tallo de coliflor.

El material vegetal necesario para preparar los EE, se obtuvo de las unidades académicas de la UNET. Se colectaron hojas de plantas de tártago (*Ricinus communis*) en la unidad académica La Tuquerena, ubicada en el municipio Junín, y hojas de plantas de mata de ratón (*Gliricidia sepium*) de la unidad académica La Morusca, ubicada en el municipio García de Hevia, estado Táchira. Se tomaron hojas sanas de ambas especies y se secaron a la sombra a un promedio de temperatura de 25 ± 2 °C. Este material vegetal seco, se molió en una licuadora convencional y se depositó en frascos, agregando etanol al 96% hasta cubrirlo totalmente. Se dejó macerar por 48 horas en oscuridad. Finalmente este material, se filtró en 4 capas de gasa y se colocaron en un rotoevaporador Brinkmann MR a 70 °C, para obtener los EE que se mantuvieron en frascos ámbar y refrigerados hasta que fueron utilizados (Rodríguez y Sanabria, 2005). En la maceración, se utilizaron aproximadamente 1000 ml de etanol para cada 300 g de hojas molidas y, una vez recuperado el solvente, el rendimiento de extracto fue de 14,5% para *Ricinus communis* y para *Gliricidia sepium* la tasa de extracción promedió 6,9 %.

Efecto sobre *S. sclerotiorum*

Previamente, se cultivó el aislamiento en medio PDA por una semana; luego, se transfirieron

discos de 9 mm de diámetro a las cápsulas que contenían 15 ml del medio PDA, más el respectivo extracto en concentraciones de 0, 3, y 5 % (Zapata *et al.*, 2003), conformándose cinco (5) tratamientos. Se realizaron cinco (5) repeticiones por tratamiento y se incubaron en condiciones de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad a 24 ± 2 °C.

La evaluación para determinar si ocurre o no inhibición del crecimiento micelial, se realizó modificando la metodología de Zapata *et al.* (2003), midiendo diariamente el diámetro de la colonia de cada hongo hasta que el tratamiento testigo llenó por completo las cápsulas de Petri (9 cm).

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 estos discos de micelio a medios de cultivo de PDA sin extracto; estos, se incubaron a 25 °C durante 15 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).

Efecto sobre el moho blanco

Para evaluar el efecto de los EE sobre la enfermedad, se realizó un ensayo en hojas desprendidas que consistió en diez (10) tratamientos (Cuadro 1), los cuales fueron: dos (2) extractos etanólicos, con tres (3) momentos de aplicación cada uno (1 día antes de la inoculación, 1 hora antes de la inoculación y 1 día después de la inoculación), control químico, testigo inoculado. Para cada tratamiento, se realizaron seis (6) repeticiones (una hoja = dos repeticiones) para un total de treinta (30) hojas en el ensayo.

Se siguió el método propuesto por Bañuelos y Mayek (2008), el cual consistió en tomar hojas de lechuga sanas que fueron lavadas previamente con agua destilada estéril; luego, se secaron cuidadosamente con papel toallín desinfectado y una vez secas, se colocaron en una bandeja de poliestireno comprimido. A su vez, se colocó un trozo de algodón húmedo en el peciolo para mantenerlas hidratadas.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados para determinar el efecto de extractos etanólicos de *Gliricidia sepium* y *Ricinus communis* sobre *Sclerotinia sclerotiorum*.

Momento de aplicación	Planta/Producto	Tratamiento
1 día antes de inocular (DAI)	Gs	T1
	Rc	T2
	M	T3
1 hora antes de inocular (DI)	Gs	T4
	Rc	T5
	M	T6
1 día después de inocular (DDI)	Gs	T7
	Rc	T8
	M	T9
Testigo inoculado		T

Leyenda: *Gliricidia sepium*=Gs, *Ricinus communis*=Rc y M=Mancozeb (Control Químico).

Las hojas, se inocularon con dos (2) discos de PDA con micelio colocados en el haz de la hoja y finalmente, se introdujo cada bandeja dentro de

una bolsa plástica transparente, atando la misma con un suave nudo para darle las condiciones de alta humedad al patógeno, a una temperatura

promedio de 24 ± 2 °C.

La aplicación de los EE, se realizó a concentración de 20% mediante aspersión dirigida con el fin de cubrir toda el área foliar de la hoja (2 ml/hoja aproximadamente) y una vez cubierta, se dejaron secar para luego proceder a la inoculación del patógeno siguiendo el orden de los tratamientos establecidos.

Se determinó severidad mediante la medición del diámetro del tejido necrótico, en dos ocasiones: siendo la primera a las 48 horas después de la inoculación y la segunda a las 72 horas después de la inoculación. El análisis estadístico para diámetro de la lesión causada por *S. sclerotiorum*

a las 48 h, se realizó con la prueba de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis ($p < 0.05$). Por otra parte, los datos del diámetro de la lesión a las 72 h, sí cumplieron el supuesto de normalidad; por lo que, se analizaron con base en la prueba de varianza simple ($p < 0.05$)

RESULTADOS

Efecto sobre *S. sclerotiorum*

Los extractos de *G. sepium* concentraciones de 3 y 5% y *R. communis* al 5%, presentaron un inhibición total del crecimiento micelial de *S. sclerotiorum*, solo el EE de *R. communis* al 3% permitió un incipiente desarrollo del micelio como se puede apreciar en la figura 1.

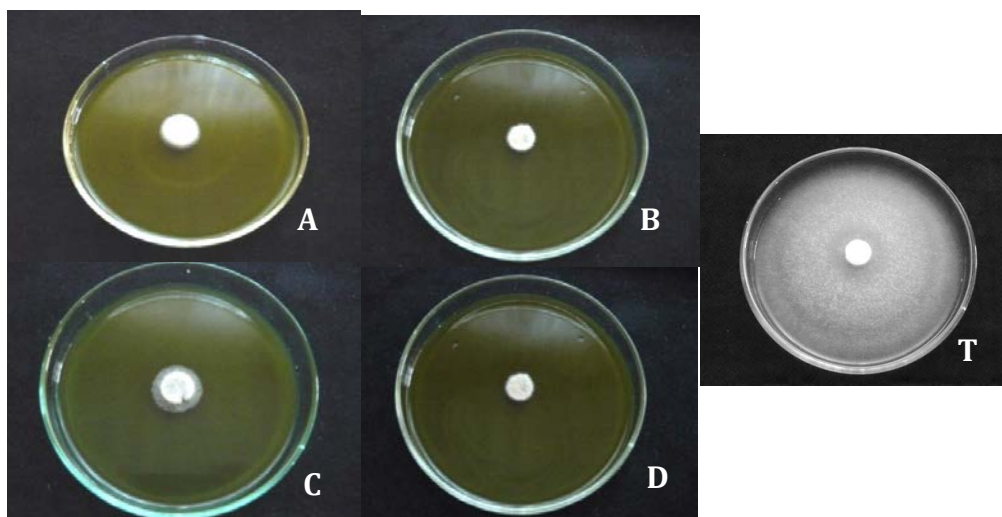


Figura 1. Crecimiento micelial de *S. sclerotiorum*, 4 días después de la siembra con extractos etanólicos: (A) y (B) *R. communis* concentraciones de 3 y 5% respectivamente; (C) y (D) *G. sepium* 3 y 5% respectivamente.

Dos días luego de colocar los discos de micelio en medio PDA, estos iniciaron su crecimiento demostrándose, entonces, un efecto fungistático en todos los casos.

Efecto sobre el moho blanco

Se observó que a las 48 horas después de la inoculación, el diámetro de la lesión fue 0 cm para los tratamientos del DAI (T1, T2 y T3), no mostrando diferencias significativas entre ellos (Figura 2).

Al día siguiente, se midió el diámetro de la lesión

para los tratamientos del mismo día de la inoculación (DI) en donde los valores promedio obtenidos fueron: T4 (2,6 cm), T5 (1,3 cm) y T6 (0 cm), observándose diferencias significativas entre los tratamientos con EE de *G. sepium* y control químico, pero no de EE de *R. communis* con relación al control químico (Figura 3). En último lugar, se midió el diámetro de la lesión para los tratamientos del DDI, siendo estos: T7 (2,5 cm), T8 (3,2 cm) y T9 (2,6 cm), no revelando diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 4).



Figura 2. Severidad de la enfermedad moho blanco a las 48 h: T1 (Extracto etanólico de *G. sepium* aplicado 1 día antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T2 (Extracto etanólico de *R. communis* aplicado 1 día antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T3 (control químico aplicado 1 día antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*) y T (Testigo).



Figura 3. Severidad de la enfermedad moho blanco a las 48 h: T4 (Extracto etanólico de *G. sepium* aplicado 1 hora antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T5 (Extracto etanólico de *R. communis* aplicado 1 hora antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T6 (control químico aplicado 1 hora antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*) y T (Testigo).



Figura 4. Severidad de la enfermedad moho blanco a las 48 h: T7 (Extracto etanólico de *G. sepium* aplicado 1 día después de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T8 (Extracto etanólico de *R. communis* aplicado 1 día después de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T9 (control químico aplicado 1 día después de la inoculación de *S. sclerotiorum*) y T (Testigo).

A las 72 h, se registró por segunda vez, el diámetro de las lesiones, iniciando nuevamente con los tratamientos del DAI: T1 (1,6 cm), T2(1,45 cm) y T3(0 cm). En los tratamientos con EE de *G. sepium* y de *R. communis* se manifestó un leve incremento de las lesiones en

comparación a la medición realizada a las 48 h. Estos tratamientos, no presentaron diferencias significativas entre ellos; pero sí, con relación al control químico, ya que este no mostró síntomas de la enfermedad al igual que a las 48 h (Figura5).

EXTRACTOS ETANÓLICOS SOBRE *Sclerotinia*

Escalante, M.; Chacón, J.; Suárez, M.; Barbosa, A.

Por otro lado, para los tratamientos correspondientes al mismo día de la inoculación (DI), se pudieron observar los siguientes valores: T4 (5,2 cm), T5 (3,5 cm) y T6 (0,8 cm), reflejando diferencias significativas entre ellos.

También, se logra apreciar crecimiento de la lesión en el T6 con relación a las 48 h (Figura 6).

Por último, el diámetro de las lesiones para los tratamientos del DDI fueron: T7 (5,1 cm), T8 (5,8 cm) y T9 (3,2 cm), no mostrando diferencias significativas entre EE de *G. sepium* y de *R. communis*, pero sí con respecto al control químico (Figura 7).

Los datos registrados, se sometieron a la prueba de normalidad de Shapiro y Wilks ($p < 0.05$), en

donde los datos del diámetro de la lesión causada por *S. sclerotiorum* a las 48 h, no cumplieron con el supuesto de normalidad; y por tanto, la comparación entre los tratamientos se realizó con la prueba de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis ($p < 0.05$).

Por otra parte, los datos del diámetro de la lesión a las 72 h cumplieron el supuesto de normalidad, y se compararon con base a la prueba de varianza simple ($p < 0.05$).

Para los análisis a las 48 h, se obtuvieron tre (3) grupos, siendo estos: a (T1, T2, T3, T5 y T6), b (T4, T5, T7 y T9) y c (T4, T7, T8 y T9) y para las 72 h 4 grupos, compuestos por: a (T3 y T6), b (T1, T2 y T6), c (T5 y T9), d (T4, T7 y T8) (Figura 8).



Figura 5. Severidad de la enfermedad moho blanco a las 72 h: T1 (Extracto etanólico de *G. sepium* aplicado 1 día antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T2 (Extracto etanólico de *R. communis* aplicado 1 día antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T3 (control químico aplicado 1 día antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*) y T (Testigo).



Figura 6. Severidad de la enfermedad moho blanco a las 72 h: T4 (Extracto etanólico de *G. sepium* aplicado 1 hora antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T5 (Extracto etanólico de *R. communis* aplicado 1 hora antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T6 (control químico aplicado 1 hora antes de la inoculación de *S. sclerotiorum*) y T (Testigo).

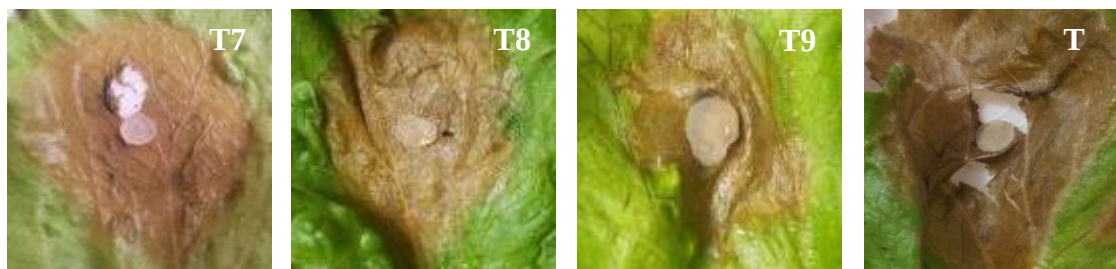


Figura 7. Severidad de la enfermedad moho blanco a las 72 h: T7 (Extracto etanólico de *G. sepium* aplicado 1 día después de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T8 (Extracto etanólico de *R. communis* aplicado 1 día después de la inoculación de *S. sclerotiorum*); T9 (control químico aplicado 1 día después de la inoculación de *S. sclerotiorum*) y T (Testigo).

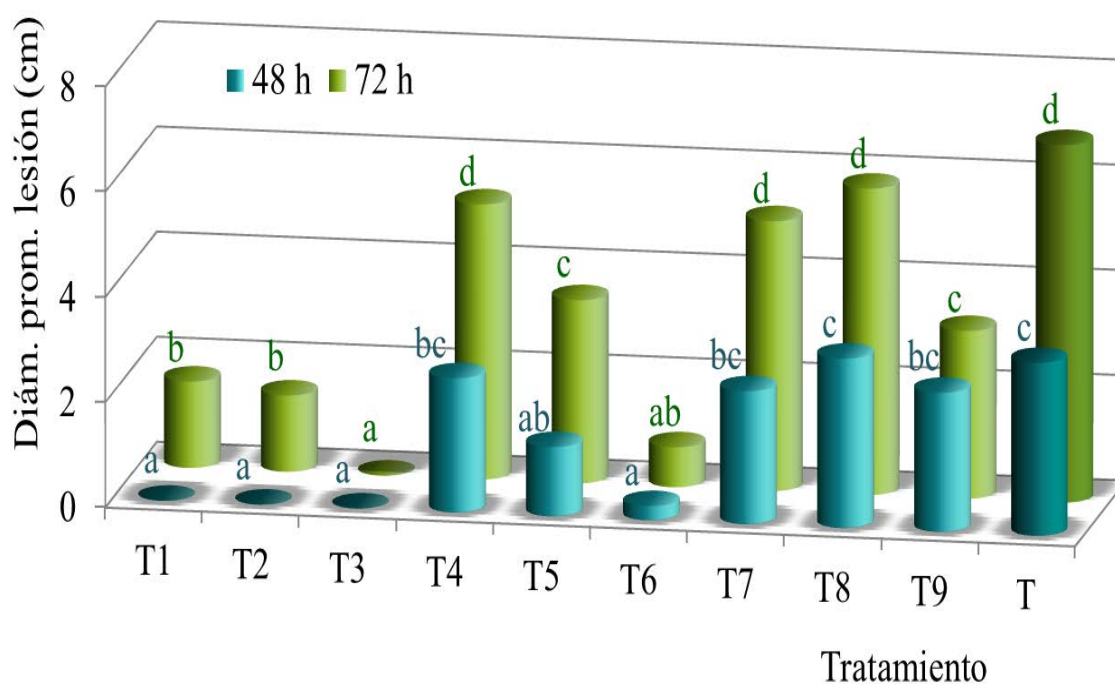


Figura 8. Promedio del diámetro de las lesiones de moho blanco (*S. sclerotiorum*) en hojas de lechuga desprendidas tratadas con EE de *G. sepium* y de *R. communis*, en diferentes momentos de aplicación (DAI: 1 día antes de la inoculación, DI: 1 hora antes de la inoculación, DDI: 1 día después de la inoculación). T1 (EE de *G. Sepium* DAI); T2 (EE de *R. communis* DAI); T3 (control químico DAI), T4 (EE de *G. sepium* DI); T5 (EE de *R. communis* DI); T6 (control químico DI), T7 (EE de *G. sepium* aplicado DDI); T8 (EE de *R. communis* DDI); T9 (control químico DDI) y T (Testigo). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

Del análisis realizado, se infiere que el momento de aplicación más efectiva para la disminución de la enfermedad fue la del día antes de la inoculación; es decir, previa a la aparición de síntomas, ya que estos tratamientos mostraron el menor diámetro de

lesiones causadas por *S. sclerotiorum*, independientemente de los extractos etanólicos evaluados y del control químico.

DISCUSIÓN

Efecto sobre *S. sclerotiorum*

Similares resultados a los obtenidos en la fase *in vitro* de esta investigación, se han encontrado en la utilización de extractos etanólicos de *G. sepium* como de *R. communis* y de otras especies de plantas para el control de hongos fitopatógenos, como los obtenidos por Torrealba (2006), quien observó que la inhibición sobre el desarrollo *in vitro* de *S. sclerotiorum* logró ser más efectiva con los EE de *G. sepium*, e incluso al 1%; lo que, con *C. procera*, se logró a la mayor concentración (3%).

Peñaloza (2014) estudió el efecto de EE sobre *Moniliophthora roreri* y, a diferencia de los resultados encontrados en este trabajo, obtuvo que los tratamientos con EE al 5% de *G. sepium*, *R. comunis*, *Lippia origanoides*, *Tithonia diversifolia* y *Cyperus rotundus*, así como EE de *L. origanoides* al 3%, presentaron actividad fungicida sobre el patógeno; mientras que, las demás plantas mencionadas a concentraciones de 3% manifestaron efecto fungistático.

Al analizar las causas que llevan a estos efectos tan agudos sobre el patógeno en las pruebas *in vitro*, se encontró que tanto los metabolitos secundarios hallados en hojas de *R. comunis* (aceites esenciales, alcaloides, flavonoides y terpenos) (Pacheco 2009), como los reportados por Bolívar *et al.* (2009) en hojas de *G. sepium* (alcaloides, aceites esenciales, polifenoles, taninos, antraquinonas y flavonoides), tienen capacidad para hacerle frente a organismos fitopatógenos tal como lo indican en su revisión Sepúlveda-Jiménez *et al.* (2003)

Efecto sobre el moho blanco

Rodríguez y Sanabria (2005) obtuvieron distintos resultados en el uso extractos etanólicos de *Lippia origanoides*, *Phyllanthus niruri* y *Heliotropium indicum* sobre el control *Rhizoctonia solani* y *Bipolaris maydis* en bandejas de maizen diferentes momentos de aplicación, reportando efectos positivos del uso de estos extractos para dichas enfermedades. Así mismo, Ortiz *et al.* (2011) realizaron un trabajo utilizando extractos

etanólicos de *L. origanoides* y *G. sepium* sobre el manejo del tizon tardío del Célerý (*Apium graveolens*) causado por *Septoria apicola*, demostrando que los extractos de *G. sepium* utilizados para el control de la candelilla tardía del célerý poseen un gran potencial, tanto en forma preventiva como curativa.

Por otra parte, Perdomo *et al.* (2011) investigaron la potencialidad del uso del extracto etanólico de *G. sepium* para su manejo sobre la pudrición basal del tomate (*Sclerotium rolfsii*) en plantas de un (1) mes de edad, teniendo como resultado que el extracto etanólico demostró un efecto ligero y tardío en la reducción de la enfermedad; es decir, que el uso de extractos tiene un favorable efecto sobre el control de enfermedades, pero bajo condiciones controladas, ya que estos extractos por ser compuestos naturales son biodegradados con facilidad y su efecto se ve limitado en ambientes no controlados, lo que parece indicar que su uso pudiera ser poco viable en patógenos de suelo que son muy difíciles de eliminar por susestructuras de resistencia.

CONCLUSIONES

Los extractos etanólicos de *Gliricidia sepium* y *Ricinus communis*, tanto al 3 como al 5%, inhibieron totalmente del crecimiento micelial de *Sclerotinia sclerotiorum* y presentaron un efecto fungistático sobre el patógeno.

Para las condiciones estudiadas, los extractos etanólicos de *G. sepium* y *R. communis* tuvieron mejor efecto al ser aplicados un día antes de la inoculación; por lo que, las aplicaciones preventivas se perfilan como más eficaces para el manejo de la enfermedad.

REFERENCIAS

- Bañuelos, J., Mayek, N. (2008). Evaluación no destructiva de la patogenicidad de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. en Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Mexicana de Fitopatología. 26(1): 71-75.
- 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.
- Goussous, S.J., Mas'ad, I.S., Abu El-Samen, F.M., Tahhan, R.A. (2013). *In vitro* inhibitory effects of rosemary and sage extracts on mycelial growth and sclerotial formation and germination of *Sclerotinia sclerotiorum*. Archives of Phytopathology and Plant Protection. 46(8): 890-902. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2012.753708>
- Lizcano, M. (2007). Evaluacion de la actividad antifúngica del extracto de tomillo (*Thymus vulgaris*) contra *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* y *Sclerotinia sclerotiorum*. Trabajo de Grado. Bogota, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. 71 p. Disponible en: www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis100.pdf
- Martínez, Z. (2008). Algunos aspectos epidemiológicos del moho blanco de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en dos municipios productores de Cundinamarca. Trabajo de Grado. Bogota, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. 99 p. Disponible en: www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis110.pdf
- Ortiz, F., Rodríguez, D., Sanabria, M., Pineda J. (2011). Efecto de los extractos etanólicos de *Lippia origanoides* y *Gliricidia sepium* sobre el manejo del tizon tardío del céleri (*Apium graveolens*). Resumen: Memoria del XXII Congreso de Fitopatología. Trujillo, Venezuela.
- Pacheco, C. (2009). Efecto del extracto hidroetanólico de higuera *Ricinus communis* L. sobre el adulto del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal. Tesis Magister. Morelos, Mexico. Instituto Politecnico Nacional. 80 p.
- Perdomo, I., Rodríguez, D., Sanabria, M., Pineda J. (2011). Efecto de extractos etanólicos de *Gliricidia sepium* sobre la pudrición basal del tomate. Resumen: Memoria del XXII Congreso de Fitopatología. Trujillo, Venezuela.
- 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.
- 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.
- Sepúlveda-Jiménez, G., Porta-Ducoing, 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.
- Torrealba, S. (2006). Cuantificación de metabolitos secundarios en extractos etanólicos de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud y *Calotropis procera* (Ait.) Ait. F. y su efecto sobre el desarrollo in vitro de *Sclerotium rolfsii*. Tesis de Grado. Barquisimeto, Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. 59 pp.
- 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.

MODELO DE SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO DE CULTIVOS: CASO DE ESTUDIO PLANTAS DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum*) cv MARIACHI BLUECROP GROWTH SIMULATION MODEL: STUDY CASE LISIANTHUS PLANTS (*Eustoma grandiflorum*) cv MARIACHI BLUE**AUTORES:****Valery, Alexis¹; Guerrero, Jean²; Molina, José²**¹Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental, Decanato de Investigación,²Departamento de Agronomía, Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, estado Táchira, República Bolivariana de Venezuela.**Corresponding Author:**

avalery@unet.edu.ve

Palabras clave: Modelo de cultivos, crecimiento de plantas, *Eustoma grandiflorum*, cultivos en sustrato.**Key words:** Crop model, plants growth, *Eustoma grandiflorum*, crops substrate.**RESUMEN**

Los modelos de simulación del crecimiento de plantas permiten mejorar los procesos de evaluación de los diversos cultivos y sus interacciones con los factores ambientales y/o de producción. Para el cultivo del lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) cv Mariachi blue, se planteó un modelo básico de estudio de altura de las plantas en el tiempo mediante el programa de dinámica de sistemas Vensim®. Se consideró la entrada de energía mediante el proceso fotosintético y la salida de energía mediante el flujo de respiración, sobre un solo compartimiento que representa la altura de la planta para cada uno de los tratamientos. Para ello se contó con una base de datos proveniente de un ensayo, en la que se evaluaron dos sustratos (fibra de coco y fibra de coco+turbaSunshine®) y dos niveles de fertilización (alta y baja), con frecuencia semanal durante 21 semanas, en la zona de Bailadores del Estado Mérida (Venezuela). Los resultados obtenidos muestran que la eficiencia de obtención de energía es mejor en el sustrato solo de fibra de coco para ambos tipos de fertilización; así mismo se obtienen 3 tasas de respiración diferentes según la etapa fenológica del cultivo, siendo el tratamiento en base a la mezcla la que presenta las menores salidas de energía del sistema. El modelo permite visualizar la importancia de su uso al mostrar un buen desempeño en la simulación de los datos experimentales, al igual que diferenciar los tratamientos evaluados mediante las tasas tanto de entrada como de salida.

ABSTRACT

Simulation models of plant growth allow improving the evaluation processes of the different crops and their interactions with the environmental and/or production factors. For the lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) cv Mariachi blue crop, a basic model for studying the plant height was designed through the dynamics of the vensim system. The input of energy was considered by the photosynthetic process and the energy output through the flow of breathing, on a single compartment representing the height of the plant for each of the treatments. A database from a test, in which two substrates (coconut fiber and coconut fiber + peat Sunshine®), and two fertilization levels (high and low) with weekly frequency during 21 weeks were evaluated in Bailadores, Mérida State, Venezuela. Results show that the efficiency of obtaining energy is better only in the substrate defined as coconut fiber for both types of fertilization; likewise, this research obtained 3 different breathing rates according to the phenological stage of the crop, being the treatment based on the mixture that presents the lowest energy outputs of the system. The model illustrates the importance of its use by showing a good performance in simulating the experimental data, and also by differentiating the treatments assessed through the rates of both input and output.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agrícolas generan una gran cantidad de información que en general se encuentra correlacionada y que puede resultar muy confusa, al ser compleja, no lineal y multidimensional (Grass *et al.*, 2011). Por otra parte, los estudios realizados en campo, con la variabilidad de los sistemas biológicos y ambientales, lleva a que no todos los aspectos que afectan los diferentes procesos puedan ser tomados en consideración, a menos que se cuente con herramientas para la síntesis y manejo adecuado de los datos (Chapin III *et al.*, 2002).

Muchas de las estrategias utilizadas impiden ver todo el sistema, por lo cual se emplean herramientas para simplificar el manejo de la información, y aquí los modelos de simulación juegan un papel importante, pues mantienen los elementos que caracterizan al sistema representado y las relaciones entre estos, mediante una representación abstracta y simplificada (Haefner, 2005), lo que permite identificar diversas variables esenciales en el estudio de la producción de cultivos y diseñar nuevos experimentos en los que se maximizan los recursos y se optimiza la recolección de la información.

Los modelos en cultivos agrícolas permiten determinar la eficiencia de las plantas en cuanto a rendimiento y producción, así como el uso de diversas tecnologías, lo cual se observa en los índices de crecimiento de las plantas. De igual manera, informan sobre los parámetros adecuados en los estudios de genotipos, efectos climáticos, manejo de comunidades, entre otros factores, y su posible interrelación (Reichstein y Beer, 2008).

Existe una gran cantidad de modelos para estudiar cultivos, entre los que destacan los relacionados con trigo, papa, caña de azúcar y tomate. Muestra de esto es el gran número de referencias que aparece en el registro de modelos (<http://ecobas.org>), donde se presenta la información de cada uno de ellos, orientada según las necesidades de los investigadores. La mayoría simula el crecimiento y desarrollo del cultivo, así como la producción, balance de agua y nutrientes.

De entre la gran cantidad de modelos accesibles en la literatura dirigidos a la producción y manejo de cultivos, muy pocos están relacionados con las variedades ornamentales, por lo que aquí se plantea un modelo para el desarrollo del cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*), una especie ornamental nativa del sur de Estados Unidos (Verdugo *et al.*, 2007), no muy conocida en Venezuela, con pocos intentos de explotación en la zona (Cedeño *et al.*, 2009) y que ha sido objeto de escasas investigaciones.

MÉTODO

Procedencia de los datos

Los datos de altura del cultivo provienen de un experimento realizado durante 21 semanas en un invernadero con un sistema de fertirrigación, ubicado en la localidad de Las Tapias, Bailadores, municipio Rivas Dávila, estado Mérida (Venezuela), situado en las coordenadas geográficas 08° 13'42,04" de latitud Norte y 71° 50'41,84" de longitud Oeste, a 1940 msnm; a una temperatura promedio durante el ensayo de 19,9 °C, con máxima de 33°C y mínima de 11,5 °C; una humedad relativa (Hr) promedio de 79,5 %, con máxima de 91% y mínima de 42,5 % (Guerrero, 2016).

El material biológico utilizado correspondió a plántulas lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv Mariachi Blue de flor cuádruple, propagadas en bandejas de 200 celdas y que presentaban cuatro hojas verdaderas bien formadas y alrededor de dos cm de altura antes de ser trasplantadas a las macetas.

El experimento fue desarrollado por Guerrero (2016) mediante un diseño multivariante con medidas repetidas en el tiempo, mediante un diseño bifactorial (2^2), los que correspondieron a dos sustratos de cultivo, fibra de coco (F) y una mezcla de fibra de coco (75%) con el sustrato basado en turba Sunshine[®] canadiense (25%)(M) y sometido a dos diferentes fertilizaciones(A y B) (Tabla 1); la unidad experimental fue la planta de lisianthus cv Mariachi Blue con 12 repeticiones por tratamiento.

Tabla 1. Fuentes de fertilización utilizadas en el cultivo (ppm)

Tipo	Compuesto								
	NO ₃	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	SO ₄	Fe	Mn
A	136	14	33,7	200	128	15	18,3	0,46	0,46
B	99	11,3	23,7	153	90,1	13	16	0,44	0,44

El manejo agronómico del cultivo fue similar para todas las plantas, en cuanto al riego por goteo, manejo de plagas y enfermedades, así como tutorado y control de malezas (Guerrero, 2016).

Modelo planteado

Sean “A” el compartimiento que representa la altura en el tiempo (t), “PPB” la productividad primaria bruta como entrada de energía o materia que se transforma en altura (cm.día⁻¹), y “resp” la respiración como flujo de salida de energía o materia (Fig. 1).

La ecuación 1 corresponde al compartimiento planteado y la ecuación 2 al flujo de entrada (PPB) de energía y/o materia.

El flujo de salida (resp) representa la pérdida por la respiración y los exudados (Ecuación 3); de igual forma, se incorporan dos puntos de corte en el tiempo (c y b), los cuales plantean los cambios de

estados fisiológicos encontrados en los datos experimentales de las plantas (Fig. 1).

En las ecuaciones 2 y 3 aparecen los coeficientes de velocidad de las reacciones (efic y ki) y los tiempos (b y c), los cuales se determinan mediante el proceso de calibración por optimización llevado a cabo con el programa de dinámica de sistemas Vensim Professional® versión 5.11e. Por otra parte, la ecuación 4 plantea el efecto de regulación por parte de las variaciones de la temperatura (Pansu *et al.*, 2014) sobre los flujos de entrada y salida.

Q₁₀ corresponde al factor por el cual se genera un aumento en la velocidad de una reacción al incrementarse en 10°C la temperatura. Este valor está en promedio en 2 (sin unidades) (Pansu *et al.*, 2014). T es la temperatura ambiental y T_{opt} la temperatura óptima para el cultivo, ubicada en 21°C.

$$\frac{dA}{dt} = PPB - resp \quad (1)$$

$$PPB = A * efic * temp \quad (2)$$

$$resp = \begin{cases} A * k1 * temp & tiempo \leq b \\ A * k2 * temp & b < tiempo \leq c \\ A * k3 * temp & tiempo > c \end{cases} \quad (3)$$

$$temp = Q_{10}^{0,1*(T-T_{opt})} \quad (4)$$

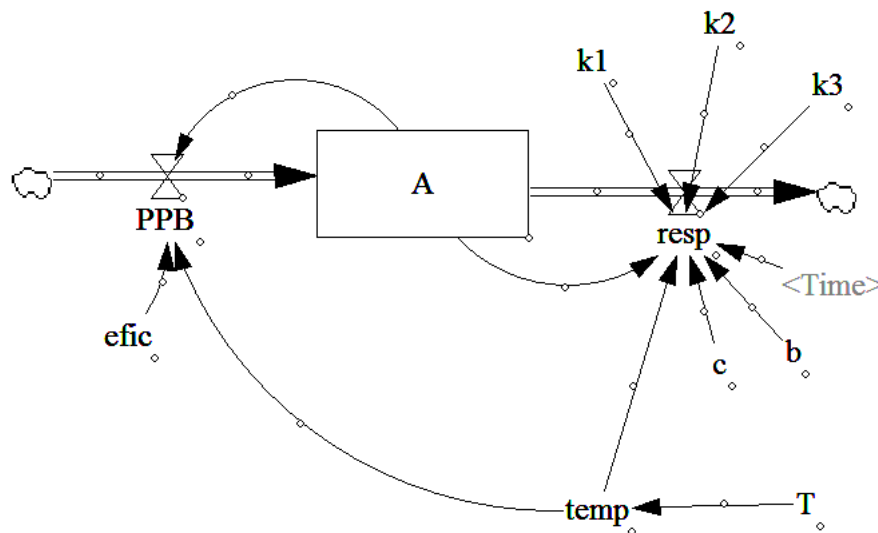


Figura 1. Modelo planteado para la simulación de la altura en el cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv Mariachi Blue.

Análisis estadístico

Con los resultados experimentales se determinaron curvas de tendencias con su respectivo coeficiente de variabilidad (R^2), y los correspondientes a la simulación se analizaron de manera univariante mediante el porcentaje de la raíz del error cuadrático medio (%RMSE) (Loague y Green, 1991; Jamieson *et al.*, 1991), así como mediante el índice de eficiencia Nash y Sutcliffe (NS), el cual determina la relación entre la magnitud de la varianza del error y la varianza de los valores observados. Por último, se determinaron los errores por efecto del sesgo (SC), de la unidad (MC) y de la aleatoriedad (RC) (Haefner, 2005).

RESULTADOS

Los diversos estadísticos utilizados (Tabla 2) muestran que el modelo presenta un excelente desempeño en la descripción de los datos experimentales (Fig. 2), para todos los tratamientos, en conjunto e individualmente, al obtener valores menores de 10% para el %RMES y valor de 1 para el índice de NS.

Se atribuyen los posibles errores en el modelo a la aleatoriedad (RC), al presentar los mayores valores de los tipos de errores evaluados.

Tabla 2. Estadísticos determinados.

	Tratamientos				
	Todos	AF	AM	BF	BM
%RMES	3,99	4,04	4,76	3,68	3,48
NS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
MC	0,030	0,036	0,004	0,046	0,069
SC	0,027	0,029	0,004	0,048	0,059
RC	0,943	0,937	0,992	0,909	0,875

Fertilización alta (A), baja (B), sustrato de fibra (F), mezcla (M).

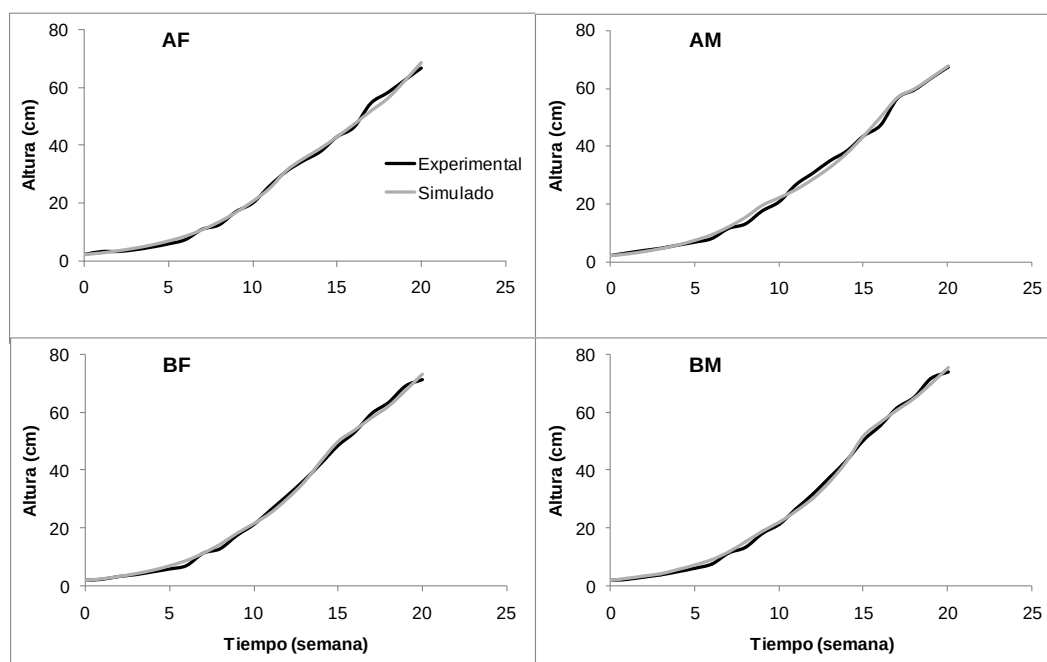


Figura 2. Valores experimentales y simulados para el cultivo de lisianthus bajo diferentes tratamientos. Fertilización alta (A), baja (B), sustrato de fibra (F), mezcla (M).

Por otra parte, se observa que para la dosis baja de fertilización (B) (Tabla 3) los valores en las diferentes tasas (efic y ki) para ambos tipos de sustrato son cercanas, mientras que para las dosis altas de fertilización varían más; sin embargo, aunque las entradas (efic) son similares, se diferencian en las tasas de salida (ki), y esta diferenciación permite que el modelo ajuste los datos simulados a los experimentales.

Se observa que los tiempos (Tabla 4) en los cambios fisiológicos en el primer periodo encontrado (b) son iguales para 3 de los

tratamientos, variando solo para el BM; sin embargo, es un valor cercano, lo que respondería a que los tratamientos posiblemente en sus inicios influyen poco en los patrones de cambio en las plantas y a que este primer periodo esté más sujeto a las condiciones ambientales. Sin embargo, el segundo tiempo de cambio en el comportamiento de las plantas sí presenta una diferencia de estado fisiológico, lo que pudiera relacionarse con los tratamientos, de modo que en el tratamiento AF este cambio se presenta antes que en los demás, y en AM es donde se presenta después de 4 semanas.

Tabla 3. Coeficientes determinados para el modelo con base en los diferentes tratamientos y estados fisiológicos.

Coeficientes	Tratamientos			
	AF	AM	BF	BM
k1	0,056	0,036	0,042	0,040
k2	0,065	0,144	0,104	0,119
k3	0,184	0,216	0,200	0,212
efic	0,269	0,269	0,269	0,277

Fertilización alta (A), baja (B), sustrato de fibra (F), mezcla (M).

Tabla 4. Valores de tiempo para los cambios en las tasas en el cultivo de lisianthus

Tiempos (semanas)	Tratamiento			
	AF	AM	BF	BM
b	9,0	9,0	9,0	8,6
c	12,3	16,9	14,5	15,2

Fertilización alta (A), baja (B), sustrato de fibra (F), mezcla (M).

DISCUSIÓN

El comportamiento de cada uno de los diferentes cultivos es característico de la especie vegetal, y esto genera que su estudio sea muy particular. En el caso de la producción de flores, la mayoría de las investigaciones están relacionadas a la obtención de las mejores características de la flor y su durabilidad. Es por ello que se encuentra una gran cantidad de estudios aplicados a los tiempos de floración y corte, así como a la abertura floral, pero muy pocos modelos dinámicos de simulación que expliquen el comportamiento de la producción de flores (Hernández *et al.*, 2009; van't Ooster *et al.*, 2013) en comparación a los encontrados en otras áreas, como la de clima o suelo (Manzoni y Porporato 2009).

Los modelos más cercanos se relacionan con ecuaciones de regresión lineal, polinómicas o logísticas que tratan de explicar la producción con base en algún parámetro de suelo, clima o manejo, por lo que este modelo dinámico para el cultivo de lisianthus pudiera plantear un inicio de modelos más complejos, como el ROSGRO para rosas (Dayan *et al.*, 2004), tomando en cuenta que la mayoría de los modelos existentes iniciaron con una simple descripción mediante la ecuación de algún fenómeno, y han ido evolucionando hasta volverse más robustos, complejos y específicos.

La mayoría de los modelos de crecimiento agrícola presenta un solo coeficiente (k) para describir las tasas (Crăciun y Băla, 2015), bajo la suposición de que este valor varía de acuerdo a las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, y que estas funciones de respuestas ambientales hacen variar las tasas de transformación; sin embargo, al mantener estas condiciones en un rango óptimo para los

procesos, como es el caso de cultivos bajo ambientes controlados, las prácticas de manejo, como la fertirrigación, que mantiene niveles con bajas tensiones de retención de agua en la rizósfera, influyen sobre los procesos del cultivo, así como las condiciones de suelo o sustrato, e igualmente las dosis de fertilizantes aplicados pueden llegar a generar un cambio marcado en las tasas, como se observa por ejemplo entre el sustrato con fibra (F) y el sustrato de mezcla (M) para la dosis de fertilizante alta (A), en donde existe una variación de los coeficientes del flujo de salida planteado (Tabla 3).

La utilización de diferentes coeficientes en el tiempo, aunada al efecto de las funciones ambientales, como parte del efecto de los cambios fisiológicos incorporados en los modelos, permite una mejor descripción durante la simulación del crecimiento de las plantas, y el modelo puede ser una herramienta útil como estrategia para el manejo de los cultivos.

CONCLUSIONES

El modelo planteado, aunque es preliminar, permite observar que se puede describir mediante un diagrama de Forrester sencillo el crecimiento, en parámetros no destructivos, del cultivo de lisianthus, lo que correspondería a llevar estudios de diferentes medidas con un número menor de individuos y adicionalmente evaluar la misma unidad experimental en el tiempo.

La inclusión en el modelo de tres diferentes tasas de respiración según la etapa fenológica del cultivo mejora la simulación de los datos experimentales. Se observa que el tratamiento en base a la mezcla es el que presenta las menores salidas de energía del sistema, debido a que se

mantienen más las tasas de la segunda etapa, que en conjunto con una baja fertilización genera las mejores alturas en el cultivo.

De igual forma, plantea la necesidad de tomar en consideración no solo las variables climáticas como único factor de regulación de las tasas de transformación en el modelo, sino que también deben considerarse las diferentes etapas fisiológicas de las plantas, para una mejor descripción de los datos experimentales (López *et al.*, 2011).

REFERENCIAS

- Cedeño, L., Rodríguez, L., Quintero, K. (2009). Primer reporte en Venezuela de mildiú polvoriento causado por *Leveillula (oidiopsis) taurica* en *Lisianthus*. Revista oficial de la Sociedad Venezolana de Fitopatología. [Revista en línea]. 22: 22-24. Disponible en: http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/31302/1/mildiu_polvoriento_lisiantus.pdf.
- Chapin III, F., Matson, P., Mooney, H. (2002). Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer, p. 529.
- Crăciun, C., Băla, M. (2015). Study of the dynamics of *Lisianthus* plant growth during the growing period. Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology. 19(2): 108- 112.
- Dayan, E., Presnov, E., Fuchs, M. (2004). Prediction and calculation of morphological characteristics and distribution of assimilates in the ROSGRO model. Mathematics and Computers in Simulation. 65: 101-116.
- Guerrero, J. C. M. (2016). Evaluación de sustratos y soluciones nutritivas en el cultivo de *lisianthus (Eustoma grandiflorum)* cv mariachi blue bajo invernadero. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Agrónomo, San Cristóbal: Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- Grass, A., Ginovart, M., Valls, J., Baveye, P. C. (2011). Individual-based modelling of carbon and nitrogen dynamics in soils: parameterization and sensitivity analysis of microbial components. Ecol. Model., 222:1998-2010.
- Haefner, J. W. (2005). Modeling biological systems: Principles and applications. Springer, p. 475.
- Hernández, N., Soto, F., Caballero, A. (2009). Modelos de simulación de cultivos. Características y usos. Cultivos Tropicales. 30(1): 73-82.
- Jamieson, J., Porter, R., Wilson D. R. (1991). A test of the computer simulation model ARC-WHEAT on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Res., 27(4): 337-350. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290\(91\)90040-3](http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290(91)90040-3)
- Loague, K., Green, R. E. (1991). Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application, Journal of Contaminant Hydrology, 7(1) pp. 51-73. [http://dx.doi.org/10.1016/0169-7722\(91\)90038-3](http://dx.doi.org/10.1016/0169-7722(91)90038-3)
- López M., M.A., Chaves C., B., Flórez R., V.J. (2011). Modelos de cultivos y modelos fenológicos. En: Flórez R., V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, pp. 153-177.
- Manzoni, S., Porporato, A. (2009). Soil carbon and nitrogen mineralization: theory and models across scales. Soil Biol Biochem, 41: 1355-1379.
- Pansu, M., Machado, D., Bottner, P., Sarmiento, L. (2014) Modelling microbial exchanges between forms of soil nitrogen in contrasting ecosystems, Biogeosciences, 11:915-927. doi:10.5194/bg-11-915-2014.
- Reichstein, M., Beer, C. (2008). Soil respiration across scales: the importance of a model– data integration framework for data interpretation. J. Plant Nutr. SoilSci, 171: 344-354.
- Van't Ooster, A., Bontsema, J., van Henten, E. J., Hemming, S. (2013) Sensitivity analysis of a stochastic discrete event simulation model of

Valery, A.; Guerrero, J.; Molina, J.

harvest operations in a staticrose cultivation system. Biosystems Engineering, 113:457-496

Verdugo, G., Montesino, A., Zárate, F., Erices, Y., González, A., Barbosa, E., Biggi, M.

(2007). Producción de flores cortadas V región. Santiago (Chile), INIA, pp. 68-72.

CARACTERIZACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE AGROECOSISTEMAS EN CAÑA PANELERA DEL MUNICIPIO CÓRDOBA, ESTADO TÁCHIRA, VENEZUELA

CHARACTERIZATION OF THE AGRO-ECOSYSTEM SUSTAINABILITY IN SUGAR CANE AT THE MUNICIPALITY OF CÓRDOBA, TÁCHIRA STATE, VENEZUELA

AUTORES:

Solórzano, Carmen; Carrero, Yvan Alfonso

Programa Agroindustria Rural en Caña Panelera.
Decanato de Extensión UNET. San Cristóbal, estado
Táchira, Venezuela.

Corresponding Author:

csolorza@unet.edu.ve

Palabras clave: Sostenibilidad, agroecosistema, MESMIS, caña panelera, agroindustria.

Key words: Sustainability, agroecosystem, MESMIS, raw sugar cane cubes, agroindustry.

RESUMEN

Desde la universidad venezolana existe una apreciación importante en el modo como se deben manejar los agroecosistemas que involucran valiosos recursos naturales, esto trae consigo la necesidad de valorar aspectos ambientales, económicos y sociales. Con el objeto de caracterizar la sostenibilidad de sistemas productivos en caña panelera y determinar los atributos socioeconómicos y ambientales, se realizó un análisis en veinte unidades de producción en el municipio Córdoba del estado Táchira, mediante el marco para la evaluación de sistemas de manejo incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS). Para esto se identificó el agroecosistema de referencia (tradicional o convencional) que predomina en el municipio Córdoba y se estableció el agroecosistema alternativo (óptimo) con características socioeconómicas y ambientales mejoradas. Mediante diagnósticos participativos se recolectó información socioeconómica, mientras que otros indicadores fueron medidos en campo. El resultado generó 17 indicadores de sustentabilidad que se definieron a partir de siete atributos generales de los ecosistemas: productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, adaptabilidad, equidad y autogestión. Los resultados muestran deficiencias para el atributo de *adaptabilidad* en el manejo del proceso de transformación agroindustrial y manejo energético; en el atributo de *equidad* relacionado con la familia rural por insuficiente mano de obra; por su parte, en el atributo para la *estabilidad*, *resiliencia* y *confiabilidad* del agroecosistema se manifestaron carencias en cuanto al manejo fitosanitario en el área ambiental. Con respecto a los valores con mejor sustentabilidad se encuentran los atributos de la *estabilidad*, *resiliencia* y *confiabilidad* del agroecosistema ante la diversificación con otros cultivos y el atributo de *autogestión* que denota el interés de regularizar la tenencia de la tierra por parte de los productores. Se concluye que existen necesidades de asistencia técnica para los puntos críticos limitantes y la biodiversidad como ventaja competitiva local.

ABSTRACT

At the Venezuelan university there is an important observation about how agroecosystems that involve valuable natural resources must be managed; this brings the need to value environmental, economic and social aspects. In order to characterize the sustainability of productive systems in raw sugar cane cubes and determine the economic and environmental attributes, an analysis was carried out on twenty production agroecosystems at Córdoba municipality of Táchira state, through the estimation of management systems incorporating sustainability indicators (MESMIS). For this purpose, the reference agroecosystem (traditional or conventional) prevailing at Córdoba municipality was identified and the alternative (optimal) agroecosystem with improved socioeconomic and environmental characteristics was established. Socioeconomic information was collected through participative diagnoses, while other indicators were measured in the field. As a result of the analysis 17 sustainability indicators were generated and were defined from seven general attributes of the ecosystems: productivity, stability, resilience, reliability, adaptability, equity and self-management. The results show deficiencies for the *adaptability* attribute in the management of the agroindustrial transformation process and energy management; at the attribute of *equity* related to the rural family due to the insufficiency of workers; and for the attribute for the *stability*, *resilience* and *reliability* of the agroecosystem showed deficiencies concerning the phytosanitary management at the environmental area. Regarding the values that showed the best sustainability, the attributes of *stability*, *resilience* and *reliability* of the agroecosystem before the diversification with other crops were found, and the attribute of *self-management* that denotes the interest for regularizing land tenure by farmers. It is concluded that there is need for technical assistance for those limiting critical points and biodiversity as a local competitive advantage.

Recibido: 27/03/2018 Aprobado: 20/06/2018 Versión Final: 30/08/2018

INTRODUCCIÓN

La producción de caña de azúcar es un rubro de importancia para nuestro país; sin embargo, las cifras de producción nacional indican un déficit en cuanto a las necesidades de consumo interno de azúcar. Es por esto que, en los últimos años, el consumidor lo ha reemplazado con la panela, pues debido a la coyuntura económica se ha reimpulsado el consumo de este producto artesanal como sustituto del azúcar refinado. La panela elaborada en el estado Táchira posee un manejo ancestral que ha pasado de generación en generación y constituye la agroindustria rural panelera más grande e importante de Venezuela.

Según Silva y Silva (2002) los términos sostenible y sustentable son equivalentes, ya que consisten en un desarrollo donde los procesos son evaluables mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social, lo que permite mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas. Se fundamentan en la preservación del equilibrio ecológico y el aprovechamiento de recursos naturales sin comprometerlos recursos de las futuras generaciones.

Masera y López-Ridaura (2000), por su parte, definen el agroecosistema como ecosistemas artificializados por el hombre que permiten la obtención de productos animales, agrícolas y forestales. Son sistemas abiertos con interacción entre sus elementos, con entradas, salidas y límites; también, poseen componentes físicos, biológicos y socioeconómicos.

Dentro de los componentes físicos del sistema se encuentran: sustrato geológico, suelo, clima, parcela de cultivo; entre los biológicos: plantas, animales y microorganismos; mientras que, entre los componentes socioeconómicos, la familia y unidad de producción-agroindustria. Las entradas y salidas son todos flujos de productos materiales, energía o información hacia el interior o exterior del sistema. Los límites del sistema determinan la esencia del estudio y se definen de acuerdo con los objetivos de la investigación.

Uno de los obstáculos que se presentan en la agricultura es la manera tangible de evaluar la sostenibilidad, puesto que esta solo adquiere significado cuando los agroecosistemas de producción son comparados antes y después de la implementación de nuevas prácticas y/o mejoras; por lo tanto, es común hablar de un *sistema de referencia* como aquel tradicional o que no ha sido modificado y un *sistema alternativo* que incorpora diversas mejoras en los aspectos de sostenibilidad (Masera y López-Ridaura, 2000).

El análisis de la sostenibilidad en los ecosistemas constituye una herramienta de comparación entre uno o más sistemas de manejo, así como para analizar la evolución de un agroecosistema a lo largo del tiempo, en determinada ubicación geográfica y determinado momento (López-Ridaura *et al.*, 2001).

Los indicadores de referencia o los indicadores de base contribuyen en las observaciones y monitoreo de los proyectos a largo plazo; por tanto, se recomienda trabajar con indicadores puntuales. No se puede observar todo, por tanto, los indicadores deben ser relevantes y realistas, orientados hacia todas las dimensiones de la sostenibilidad (Herweg y Steiner, 2002).

El uso de indicadores para evaluar los agroecosistemas es un trabajo de equipos multidisciplinarios: los productores, los principales conocedores de sistema agroproductivo y los técnicos que facilitan la extensión rural, dado que proveen el enfoque participativo a la investigación con prácticas culturales, conocimientos científicos y valores propios de cada grupo familiar (Masera y López-Ridaura, 2000; Astier *et al.*, 2008; Sarandon y Flores, 2009).

De acuerdo con Sarandon (2002) la línea base de los indicadores es fundamental para establecer proyectos de desarrollo local, sobre todo si estos van acompañados de cambios tecnológicos a incorporar y se desea conocer si la adopción es más o menos sostenible sobre la base de aspectos ambientales, sociales y económicos.

Los indicadores ofrecen una idea de lo que está pasando en el sistema, ya que se pueden determinar aquellos aspectos del manejo que se encuentran vinculados a prácticas poco deseables de producción, propias de las tecnologías aplicadas, condiciones agroclimáticas, condiciones culturales, entre otras.

En la evaluación de los agroecosistemas rurales se usa el enfoque sistémico, el cual permite mejorar las posibilidades de éxito de los sistemas de manejo alternativos y de los proyectos involucrados en la extensión rural en contextos complejos.

De manera que se pretende establecer una aproximación metodológica plausible al caracterizar la sostenibilidad del agroecosistema en caña panelera de las aldeas la Blanquita y la Cucurí, registrando los indicadores de línea base y los indicadores óptimos alternativos a través de la comparación entre los resultados "ideales" y los reales de desempeño del sistema en las dimensiones ambientales y socioeconómicas.

MÉTODO

Se aplicó la metodología propuesta en el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de los recursos naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad, MESMIS, que permiten apreciar la sostenibilidad en sistemas de manejo específicos, caso agroecosistema en caña panelera y bajo un determinado contexto social y político; a nivel jerárquico de finca, en un tiempo determinado.

La metodología MESMIS, propuesta por Astier y Masera (1996) para el ámbito agronómico, permite caracterizar la sostenibilidad en sistemas de manejo subrayando la importancia que tiene el contexto rural de los productores y el ámbito local, admitiendo un sistema alternativo más sostenible dentro del sistema de evaluación de los programas de desarrollo.

El MESMIS permite la confrontación de uno o más sistemas alternativos óptimos con un sistema

de referencia tradicional (comparación transversal).

Las unidades de observación se seleccionaron por muestreo no probabilístico intencional, constituidas por 20 agroecosistemas en caña panelera, beneficiarios directos de proyectos de desarrollo de la Alcaldía del municipio Córdoba. La información se recabó a partir de diagnósticos realizados por la oficina de atención al productor de la municipalidad y por los investigadores durante el año 2017.

Así mismo, se validó la información de los sistemas de referencia con visitas a las fincas para determinar los puntos críticos que inciden en la sostenibilidad de los agroecosistemas en caña panelera, lo que permitió establecer los valores óptimos para los sistemas alternativos.

La metodología siguió las siguientes etapas: *Caracterización de los agroecosistemas, Identificación de Puntos Críticos, Selección de Indicadores, Medición de indicadores.*

(a) *Caracterización de los agroecosistemas:* se identificó el agroecosistema de referencia (tradicional o convencional) que predomina en el municipio Córdoba y se estableció el alternativo (óptimo) con características socioeconómicas y ambientales mejoradas tomando resultados de la gestión local de los sistemas de producción rural bajo el enfoque sistémico.

(b) *Identificación de Puntos Críticos:* se refiere a los aspectos o procesos que limitan o fortalecen la capacidad de los agroecosistemas para sostenerse en el tiempo; se jerarquizaron los problemas que arrojaron los diagnósticos participativos y se agruparon bajo aspectos que afectan la productividad.

(c) *Selección de Indicadores:* de estabilidad, resiliencia, confiabilidad, equidad, adaptabilidad y de autogestión del sistema.

(d) *Medición de indicadores:* se tomaron los valores suministrados en los diagnósticos

participativos realizados por la municipalidad y datos de primera mano obtenidos por los investigadores para el agroecosistema tradicional; mientras que del agroecosistema alternativo, se seleccionaron los mejores valores históricos encontrados o los valores mejor posicionados dentro de cada aldea bajo estudio, es decir, los valores óptimos. La información fue aportada por productores y por los investigadores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

(a) Caracterización de los agroecosistemas

Para identificar el agroecosistema de referencia, se detallan aspectos como la ubicación, las características hidroclimáticas, hidrografía, relieve, suelos, clasificación climática en las aldeas la Blanquita y la Cucurí del municipio Córdoba, tal como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del agroecosistema de referencia en caña panelera del municipio Córdoba (aldeas la Blanquita y la Cucurí) del estado Táchira

Objetivo	Agroecosistemas con producción de caña (<i>Saccharum officinarum</i>) con fines paneleros
Localización del área de estudio	Se encuentra ubicado al suroeste del estado Táchira, sus coordenadas son: Latitud Norte (7° 24' 55" - 7° 41' 39") y Longitud Oeste (72° 03' 45" y 72° 23' 10"). Limita al Norte con los municipios Junín, Libertad y San Cristóbal, al Sur con el estado Apure, al Este con los municipios Torbes y Fernández Feo y al Oeste con el municipio Junín. La capital del municipio Córdoba es la población de Santa Ana y los centros poblados donde se ubican los sistemas agroproductivos corresponden a las aldeas la Blanquita y la Cucurí, pertenecientes a la parroquia capital.
Superficie del Municipio	618 Km ² , representa un 2,17% del total del estado Táchira cuya extensión es de 11.100 Km ² . La Aldea la Blanquita cuenta con 66.40 Km ² de extensión y la Cucurí con 157.10 Km ² .
Población:	33.124 habitantes.
Características hidroclimáticas	Precipitación anual: 1.984 mm anuales; patrón de distribución con una tendencia bimodal, ningún mes del año precipita por debajo de los 95 mm anuales, los meses de abril, junio y julio son los máximos módulos mensuales. Temperatura promedio anual: 26 °C.
Contexto Hidrográfico	Dentro del contexto hidrográfico los principales ríos del municipio son: el río Quinimarí, que es límite natural con el municipio Junín, Río Negro y Río Frío. También están las quebradas: La Ratona, La Cucurí, La Pabellona, La Buenaza, La Buenacita; todas de gran importancia porque mantienen un régimen permanente.
Relieve	La cuenca alta y media - alta del río Quinimarí tiene relieve accidentado con pendientes variables en un rango elevado 40 – 65% y más. Altitud Media 810 msnm.
Suelos	Son de moderada profundidad, generalmente de texturas medias y pH ácido. De acuerdo con su capacidad de uso están conformados por suelos de clase V, VI y VII.
Clasificación Climática	Predomina el bosque húmedo premontano (bhp) de acuerdo con la clasificación de Holdridge.

Fuente: Datos propios y adaptados del Informe Geoambiental Táchira. INE (2011).

Así mismo, para la descripción del sistema agroproductivo de referencia o tradicional se identificaron las características socioeconómicas de la población y los subsistemas presentes dentro del contexto local.

Actividades socio económicas. El municipio Córdoba se dedica a las actividades agrícolas, principalmente cultivo de café, cacao, pimentón, maíz, tomate y caña de azúcar, en menor cantidad

la ganadería. El 13,38 % de la población del municipio es rural, cuenta con variada geografía, clima agradable. Se conservan casas de corredores, techos coloridos y baldosas de barro cocido que favorecen el desarrollo del turismo en la localidad.

Subsistema agrícola en caña panelera. El cultivo de la caña de azúcar se explota con fines

paneleros. La variedad presente es conocida por los agricultores como “tradicional”, las unidades de producción poseen menos de 6 hectáreas, el control de malezas se realiza de forma manual (se usa machete, pala, azadón) y la mayoría de los productores son propietarios de la tierra. La caña sustituyó al cultivo de café debido a los precios regulados de este. Las unidades de producción cuentan con cultivos de musáceas usados como la sombra del café y los frutos de estos son destinados para el consumo interno.

La preparación de suelos es manual, se usa pico y escardilla, la energía o fuerza de trabajo es fundamentalmente humana, la labranza es mínima. Las plantaciones tienen menos de 10 años, las renovaciones se hacen con 6-10 cortes. Las principales plagas en el cultivo corresponden a gusanos taladradores del tallo. Con respecto a las enfermedades predominan las manchas en las hojas ocasionadas por la roya.

Subsistema agroindustrial en caña panelera. El procesamiento de la caña sigue siendo artesanal, con deficiencias en el procesamiento y las prácticas de manufacturas, características coincidentes con lo referido por Solórzano *et al.* (2013) para el municipio Junín del estado Táchira. El horno tradicional requiere para su combustión, además del bagazo, otros combustibles como leña o la utilización de cauchos que, con su combustión, disminuyen la vida útil del horno y liberan a la atmósfera importantes cantidades de gases tóxicos y cenizas que contaminan el aire. En este sentido, es pertinente agrupar los sistemas productivos en caña panelera de acuerdo con la clasificación de Hernández (2005): niveles de tecnología alto, medio y bajo. Los *agroecosistemas con nivel alto* revelan características de sistema de siembra a chorro corrido con semilla seleccionada. Se realizan análisis de suelos para fertilizar, control manual de malezas y/o química (de forma oportuna), aporque, uso de variedades adaptadas. *El perfil tecnológico medio* se identifica cuando se presentan aspectos como siembra por puntos, no se prepara el suelo, se utiliza caña comercial seleccionada (semilla), se emplea fertilizante

orgánico o químico, deshoja, control manual de malezas, no aporcan, posee entre 2 o 3 variedades, despadrona y/o cosecha por parejo (a veces relaciona cosecha y maduración). *El perfil tecnológico es bajo* cuando no prepara suelos, usa cogollo como semilla, no fertiliza, deshoja, control de malezas ineficiente o inexistente, no aporca, cosecha por despadronamiento, usa una sola variedad que ha declinado genéticamente y espera la floración para el corte.

En la aldea la Blanquita existen 5 centrales paneleros de mediano a bajo nivel tecnológico, mientras que en la aldea la Cucurí se encuentra un total de 4 centrales paneleros de mediano nivel tecnológico. La molienda de caña que se realiza en los centrales proviene de diferentes unidades de producción. El tren panelero está conformado por tres pailas en la mayoría de los centrales. Se usa como combustible el bagazo de la caña y se complementa con llantas o madera. Los rendimientos estimados están en 47 Tn.ha^{-1} , coinciden con los reportados por Hernández *et al.* (2004). La vialidad agrícola está muy deteriorada, dificultando el ingreso de insumos y la salida de productos a los mercados. La venta del producto final se realiza a los intermediarios. **Subsistema animal.** En pequeña escala se dedican a la cría de cerdos y aves de corral.

Subsistema familia. La familia promedio está compuesta por 4 miembros. El tipo de vivienda es familiar y en su mayoría está dotada de agua potable y energía eléctrica. La familia posee fuerte vocación agrícola, sus miembros son fuente de mano de obra para el agronegocio, pero insuficiente ya que requieren contratar mano de obra foránea, principalmente durante la cosecha, aspecto que se ha tornado dificultoso en el año 2017. La mayoría de las familias tienen vehículo de carga para el traslado de productos.

(b) Identificación de Puntos Críticos

De acuerdo con los diagnósticos participativos y las visitas a las unidades de producción, se jerarquizaron los problemas de los agroecosistemas en caña panelera con respecto a:

baja capacidad de innovación, rendimientos inferiores a los rendimientos teóricos, degradación ambiental, no aplicación de técnicas de fertilización ni manejo integrado de plagas, poca capacidad de organización, débil asistencia técnica, fracaso en la aplicación de paquetes tecnológicos, mano de obra insuficiente para realizar labores agrícolas, dependencia de un solo ingreso, escasez de insumos agrícolas y temor a que se desconozca la propiedad privada.

Es importante señalar que la baja capacidad de innovación está relacionada con el perfil tecnológico de los agroecosistemas en caña panelera. Este aspecto incide directamente en el atributo de productividad del sistema de producción rural, sobre todo en los rendimientos del cultivo (área de evaluación económica); pero también en los atributos de estabilidad, resiliencia y confiabilidad, ya que inciden en la salud del cultivo lo que lo hace más o menos vulnerable al ataque de plagas o enfermedades (área de

evaluación ambiental). Así mismo, los atributos de equidad, adaptabilidad y autogestión del sistema permiten conocer si las tecnologías transferidas fueron aprehendidas y aplicadas correctamente, compartidas o socializadas con el grupo familiar y otros productores, adaptadas a las condiciones locales (área de evaluación social).

(c) Selección de Indicadores

La selección de los 17 indicadores se fundamentó en los puntos críticos encontrados, la disponibilidad de los datos y en la información recopilada producto de los diagnósticos realizados en las aldeas la Blanquita y la Cucurí. Se integraron las dimensiones de sostenibilidad ambiental, económica y social en siete atributos generales de los agroecosistemas: productividad; estabilidad; resiliencia; confiabilidad; adaptabilidad; equidad, y autodependencia (autogestión) como se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Indicadores para los agroecosistemas en caña panelera del municipio Córdoba (aldeas La Blanquita y La Cucurí) del Estado Táchira.

Atributo	Criterio de diagnóstico	Punto crítico	Indicador	Criterio de selección para el indicador óptimo (valor máximo) del sistema alternativo	Área
Productividad	Retorno de la productividad.	Bajos rendimientos, baja productividad.	Rendimiento.	Rendimientos óptimos teóricos para el municipio.	Económica
Confiabilidad	Diversidad de especies agrícolas, diversificación de ingresos.	Baja diversificación de la producción.	Diversificación con otros cultivos.	Se tomó el mejor valor presente del indicador dentro del grupo bajo estudio.	Ambiental
Resiliencia	Fragilidad del sistema, vulnerabilidad ante plagas.	Degradación ambiental por uso inadecuado de insecticidas, incidencia de plagas.	Ausencia de plagas.	Se tomó el mejor valor presente del indicador dentro del grupo bajo estudio.	Ambiental
Estabilidad	Fragilidad del sistema, vulnerabilidad por enfermedades.	Alta susceptibilidad ante la presencia de enfermedades.	Ausencia de enfermedad.	Se tomó el mejor valor presente del indicador dentro del grupo bajo estudio.	Ambiental

Adaptabilidad	Acceso a implementar análisis para aumentar rendimientos.	Fracaso en la aplicación de paquetes tecnológicos.	Análisis de suelo.	Se tomó el mejor indicador presente dentro del grupo bajo estudio.	Social Económico
	Acceso a innovar para aumentar rendimientos.	Fracaso de aplicación de paquetes tecnológicos.	Uso de variedades mejoradas.	Se tomó el mejor indicador presente dentro del grupo bajo estudio.	Social Económico
	Acceso a innovar para aumentar rendimientos.	Fracaso de aplicación de paquetes tecnológicos.	Sistema de siembra a chorro corrido (mejorado).	Se tomó el mejor indicador presente dentro del grupo bajo estudio.	Social Económico
	Procedencia de la semilla para mejorar rendimientos.	Fracaso de aplicación de paquetes tecnológicos.	Uso de tallo como semilla.	Criterio personal con base en el mejor referente dentro del grupo bajo estudio.	Social Económico
	Acceso a tecnologías para aumentar rendimientos.	Fracaso de aplicación de paquetes tecnológicos.	Uso de riego.	Se tomó el mejor indicador presente dentro del grupo bajo estudio.	Social Económico
Adaptabilidad	Manejo de la eficiencia energética en el proceso de transformación agroindustrial.	Fracaso de aplicación de paquetes tecnológicos.	Uso de combustibles complementario al bagazo en los centrales paneleros.	Criterio personal con base en el mejor referente dentro del grupo bajo estudio.	Ambiental
Equidad	Beneficiario de programas de gobierno.	Limitada cobertura de programas de gobierno.	Asistencia técnica.	Se tomó el mejor indicador presente dentro del grupo bajo estudio.	Social
	Integración familiar en el agronegocio.	Insuficiente el acceso a mano de obra.	Uso de mano de obra familiar.	Criterio personal con base en el mejor referente dentro del grupo bajo estudio.	Social
Equidad	Dependencia de insumos externos.	Escasez y aumento de los precios de los fertilizantes.	Uso de fertilización química.	Se tomó el mejor indicador presente dentro del grupo bajo estudio.	Ambiental Económica

SOSTENIBILIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS

Solórzano, C.; Carrero, Y.

	Dependencia de insumos externos.	Desconoce otras alternativas de fertilización.	Uso de fertilización orgánica.	Criterio personal con base en el mejor referente dentro del grupo bajo estudio.	Ambiental Económica
Equidad	Dependencia de insumos externos.	Escasez y aumento de los precios de agroquímicos.	Uso de agroquímicos en el control de plagas y enfermedades	Se tomó el mejor indicador presente dentro del grupo bajo estudio.	Ambiental Económica
Autogestión	Reconocimiento de la propiedad privada.	Temor a desconocer la propiedad.	Propiedad de la tierra.	Criterio seleccionado sobre la base de las respuestas del grupo bajo estudio.	Social
	Capacidad de organización.	Falta de formación y capacitación.	Lleva registros de producción.	Criterio personal con base en el mejor referente dentro del grupo bajo estudio.	Social

Dentro del atributo de *productividad* se consideraron importantes los rendimientos, aspecto económico de la evaluación.

Los atributos de *estabilidad*, *resiliencia* y *confiabilidad* se agruparon, de ellos derivan los criterios del diagnóstico relacionados con la diversificación de la producción (múltiples especies) y, por ende, de los ingresos y la fragilidad del agroecosistema ante el ataque de plagas y enfermedades que amenaza su duración en el tiempo, aspectos que corresponden al área ambiental de la evaluación.

En relación con el atributo de *adaptabilidad* se contempló la capacidad del sistema para adaptarse a nuevos cambios. Se incluyen transformaciones que generen conocimiento como la incorporación de tecnologías adaptadas (análisis de suelos, variedades mejoradas, semilla y sistema de siembra, uso de riego, eficiencia energética en la agroindustria) que suponen una mejora del sistema socioeconómico.

El atributo de *equidad* toma como criterio de diagnóstico el acceso a programas sociales y de extensión del gobierno y a la integración del

grupo familiar en el agronegocio, aspectos netamente sociales en la caracterización.

El atributo de *autogestión* abarca aspectos sociales, ambientales y económicos. Se destacan los criterios de diagnóstico relacionados con la dependencia del sistema a los insumos externos, la capacidad de organizarse relacionada con la educación y el ingreso.

(d) Medición de indicadores

Con respecto a los valores de referencia de la zona bajo estudio, se definió un valor mínimo y un valor máximo de acuerdo con los datos recogidos en los diagnósticos realizados en las aldeas La Blanquita y La Cucurí.

El valor mínimo del indicador proviene del menor valor encontrado para cada indicador en la muestra de datos, representa el peor escenario para el agroecosistema; por su parte, el valor máximo proviene de referentes óptimos de producción en la localidad y constituye el escenario ideal.

Debido a las múltiples dimensiones de la sostenibilidad, los indicadores se expresan en unidades diferentes, los rendimientos se expresan en kg, pero los otros indicadores en porcentaje

(%). Esto dificulta la interpretación de los resultados, por lo cual se estandarizaron y se manejó una escala de 0 a 5, donde 0 representa la categoría menos sustentable y 5 la categoría óptima de sostenibilidad.

Indicador estándar = $(5/\text{Rango}) * (\text{Valor medido en la localidad} - \text{Valor mínimo})$.

Rango = Valor máximo referente - Valor mínimo del indicador.

La estandarización de los indicadores tiene un alto componente subjetivo, depende de la capacidad de entender la función de cada componente y su peso en la sostenibilidad del sistema (Sarandon y Flores, 2009).

Por tal razón, se buscó la opinión de los productores y se realizaron cálculos técnicos para orientar el análisis.

El indicador para los rendimientos del agroecosistema tradicional en caña panelera proporcionado para el municipio Córdoba arrojó 47 Tn.ha⁻¹ en promedio, lo que corresponde a la cantidad de tallos cosechados en campo, los rendimientos en panela se estiman en 10 % del rendimiento de tallos por hectárea, es decir, la conversión de tallos de caña molidos a panela es de 1.000 kg de tallos = 100 Kg de panela, significa un rendimiento en panela de 4,7 Tn.ha⁻¹.

La producción de panela también depende de la cantidad de jugo recuperado y los °Brix, variables vinculadas con la eficiencia del molino del central panelero y las buenas prácticas agrícolas.

Para calcular rendimientos óptimos se aplicó la ecuación (1), se procedió a pesar una cantidad de caña, se extrajo el jugo y se pesó:

$$Ep = \frac{Pj}{Pc} * 100 \quad (1)$$

Ep = Extracción en peso (%)

Pj = Peso de jugo (kg) = 60 kg

Pc = Peso de caña (kg) = 100 kg

$$\text{Sustituyendo } Ep = \frac{60}{100} * 100 = 60\%$$

Este resultado de 60% explica que por cada 1.000 kg de caña se obtienen 600 kg de jugo, significa que el rendimiento óptimo de panela puede aumentar a 6 Tn.ha⁻¹.

Para los otros indicadores se procedió a tomar criterios técnicos con base en los datos del mejor referente dentro del grupo bajo estudio, se asignaron valores a los indicadores óptimos de acuerdo con los mejores valores encontrados en los datos suministrados o determinados por los investigadores en los agroecosistemas evaluados.

Se integraron y estandarizaron los indicadores del agroecosistema de referencia con un sistema que toma los mejores indicadores del grupo estudiado, para ello los indicadores seleccionados se estandarizaron.

El resultado se resume en la Tabla 3, esto permite tener un juicio de valor sobre la sostenibilidad sin salir de los parámetros territoriales.

Los resultados de los 17 indicadores de sostenibilidad para el agroecosistema tradicional y la desviación que existe para lograr la sostenibilidad óptima se visualizan en el Gráfico 1.

SOSTENIBILIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS

Solórzano, C.; Carrero, Y.

Tabla 3. Valor de los indicadores de sostenibilidad en agroecosistemas en caña panelera del Municipio Córdoba, estado Táchira.

Concepto del indicador	Valor de Referencia Municipio Córdoba	Valor mínimo del indicador	Valor máximo del indicador	Rango	Indicador de Referencia Estándar	Indicador óptimo
1-Rendimiento	4,7	2	6	4	3,38	5
2-Diversificación	100	20	100	80	5,00	5
3-Ausencia de plagas	52	5	95	90	2,61	5
4-Ausencia enfermedades	11	5	95	90	0,33	5
5-Análisis de suelo	16	0	100	100	0,80	5
6-Uso variedades mejoradas	42	0	100	100	2,10	5
7-Siembra a chorro corrido	47	0	100	100	2,35	5
8-Uso de tallo como semilla	31	0	100	100	1,55	5
9-Uso de riego	11	0	100	100	0,55	5
10-No usa otros combustibles	0	0	100	100	0,00	5
11-Asistencia técnica	16	0	100	100	0,80	5
12-Mano de obra familiar	21	20	100	80	0,06	5
13-No usa fertilizante químico	63	0	100	100	3,15	5
14-Uso fertilizante orgánicos	5	0	100	100	0,25	5
15-No usa agroquímicos	26	0	100	100	1,30	5
16-Son dueños de la tierra	95	0	100	100	4,75	5
17- Registros de producción	5	0	100	100	0,25	5

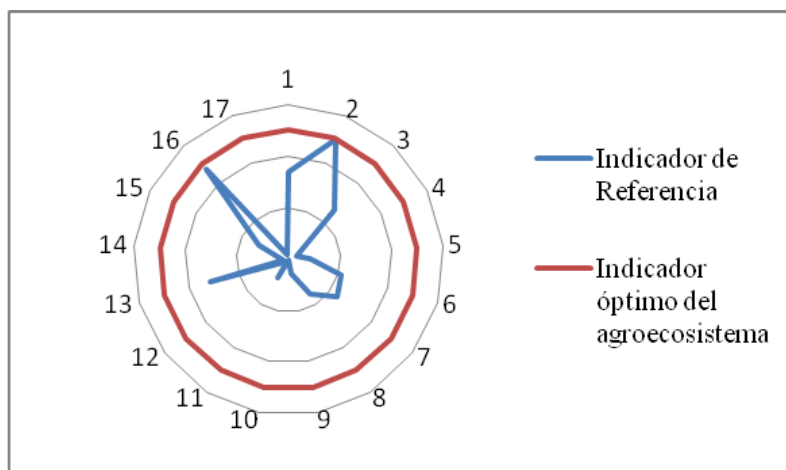


Gráfico 1. Caracterización de agroecosistemas en caña panelera del municipio Córdoba.

CONCLUSIONES

La caracterización del agroecosistema en caña panelera con el método MESMIS permitió identificarla sostenible como sistema complejo, estableció los indicadores y los puntos críticos donde deben hacerse las correcciones de sostenibilidad que permite orientar las acciones y propuestas del desarrollo rural. Para lograr tal cometido, los procesos de extensión y las asesorías técnicas deben enfocarse en: Manejo del proceso de transformación agroindustrial y la deficiencia energética. Como consecuencia, en todos los agroecosistemas caracterizados se utilizan combustibles complementarios al bagazo para concentrar los jugos en la elaboración de la panela, esto incluye el uso de hidrocarburos, llantas y madera.

Búsqueda de alternativas de ingresos para el grupo familiar en torno al agronegocio por la falta de la mano de obra, aunado al hecho de la desmotivación en la generación de relevo para participar en labores agroindustriales. Manejo fitosanitario por presencia de enfermedades como la roya situando en condición de vulnerabilidad el agroecosistema.

Alternativas ante la dependencia de los insumos externos como es el caso de la fertilización del cultivo, pues, debido al aumento de los precios de los fertilizantes los productores no realizan abonos de acuerdo con las necesidades del cultivo. Formación y capacitación para llevar registros de producción.

Respecto a los indicadores que más se acercan a la sostenibilidad se encuentran: El atributo de estabilidad, resiliencia y confiabilidad por la diversificación a nivel de finca con otros cultivos como musáceas, hortalizas y leguminosas, favorece tanto en el aspecto ambiental como en el económico. Con respecto a la biodiversidad esta representa una ventaja competitiva local.

En cuanto al atributo de autogestión se presenta una fuerte tarea de regularizar la tenencia de la tierra, por lo que la mayoría de los productores

poseen la propiedad o están en trámites para obtenerla, aspecto que favorece la sostenibilidad social del agroecosistema y su importancia como incentivo de la inversión para la producción a largo plazo.

REFERENCIAS

- Astier, M., Masera, O. (1996). Metodología para la evaluación de sistemas de manejo incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS). *Gira* (17) 1-30.
- Astier, M., Masera, O., Galván, Y. (2008). Evaluación de sustentabilidad: un enfoque dinámico y multidimensional. España: Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable.
- Hernández, E. (2005). Perfiles Tecnológicos Identificados y Caracterizados en la Producción de Caña Panelera. San Cristóbal: Ministerio de Ciencia y Tecnología, INIA-Táchira.
- Hernández, E., Amaya, F., Giraldo-Vanegas, H. (2004). Alternativas tecnológicas para la producción de caña panelera. San Cristóbal: MAT, DAINCO, FUNDACITE.
- Herweg, K., Steiner, K. (2002). Monitoreo y valoración del impacto: Instrumentos a usar en proyectos de desarrollo rural con un enfoque en el manejo sostenible de la tierra. Suiza: CDMA&GTZ.
- INE. (2011). Valores demográficos de población rural, Instituto Nacional de Estadística (INE), Censo 2011. Disponible en <http://www.redatam.ine.gob.ve/Censo2011/index.html> [Consulta: 2017, Enero 21]
- López-Ridaura, S., Masera, O., Astier, M. (2001). Evaluando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas integrados: El marco MESMIS. *Leisa*. 16(4) 25-27.
- Masera, O., López-Ridaura, S. (2000). Sustentabilidad y sistemas campesinos. México: Mundi-Prensa

Solórzano, C.; Carrero, Y.

Sarandon, S. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Argentina: Ediciones Científicas Americanas.

Sarandon, S., Flores, C. (2009). Evaluación de sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. Agroecología 1(4)19-28.

Silva Cubillán, H., Silva Duque, H. (2002). Diccionario Ecológico. Caracas: Fondo Editorial Agenda XXI.

Solórzano, C., Carrero, Y., Padilla, V., Alayón, M., Herrera, J. (2013). Desempeño ambiental de la agroindustria rural de caña panelera en el municipio Junín, estado Táchira, Venezuela. Revista Científica UNET VOL.25 (1):38-45.

POTENCIAL RESTAURADOR DE SETARIA SP. EN UN SUELO DEGRADADO POR EXPLOTACIÓN MINERA CARBONÍFERA

POTENTIAL RESTORER OF SETARIA SP., IN A SOIL DEGRADED BY COAL MINING EXPLOTATION

AUTORES:

Álvarez, Luimar; Reyes, Isbelia.

Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela.

Corresponding Author:

lualvarez@unet.edu.ve

Palabras clave: *Setaria* sp., restauración, micorrización, degradación de celulosa.

Key words: Rhizosphaera, soil aggregates, micorrization, cellulose degradation.

RESUMEN

Algunas especies vegetales son un recurso esencial en la restauración de suelos, ya que crecen en zonas alteradas y finalmente permiten la recuperación de la fertilidad del suelo. Por esta razón, se evaluó el potencial restaurador de la poácea *Setaria* sp., en un suelo degradado por explotación minera carbonífera, en condiciones de campo mediante los siguientes parámetros: micorrización nativa, degradación de la celulosa y formación de agregados en la rizósfera. El ensayo se realizó en las minas de carbón de Lomas Bajas (Capacho viejo, estado Táchira, Venezuela) y consistió en un diseño unifactorial completamente al azar, con la inoculación de seis aislados de hongos (LBH03, LBH09, LBH20, LBH30, LBH33 y LBH44), provenientes del suelo de la misma mina y con características promotoras del crecimiento de plantas, y el hongo disolvente de fosfatos *Penicillium rugulosum* IR94-MF, más el testigo no inoculado y cinco réplicas por tratamiento. A todos los tratamientos se les adicionó la roca fosfórica micronizada de Monte Fresco (27 % de P_2O_5). La inoculación del aislado LBH09 presentó para la micorrización nativa valores estadísticamente significativos ($P < 0,05$), tanto para el porcentaje de colonización por vesículas como en el número de esporas, en comparación con el testigo no inoculado. La degradación de la celulosa presentó diferencias ($P < 0,05$) con la inoculación del aislado LBH03, en comparación con el testigo. En la formación de agregados se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) con la inoculación de los aislados LBH03, LBH09, LBH20, LBH30, LBH33 y LBH44. Se puede concluir que los suelos desertificados por explotación minera carbonífera en la localidad de Lomas Bajas presentaron un potencial de restauración y de revegetación con la poácea *Setaria* y la inoculación de varios aislados fúngicos, principalmente los aislados LBH09 y LBH30, los cuales incrementaron significativamente ($P < 0,05$) los parámetros evaluados: micorrización nativa, degradación de la celulosa y formación de agregados.

ABSTRACT

Some plant species are an essential source in the restoration of soils, since they grow in modified zones and finally they allow the recuperation of the soil's fertility. Because of this reason, the potential agent of restoration of poácea *Setaria* sp. was evaluated in a degraded soil due to the coal mining exploitation by the following parameters: native mycorrhization, cellulose degradation and the formation of rizosphere's aggregates. The experiment was done under field conditions in a coal mine of Lomas Bajas (Capacho Viejo, Táchira), and it was a completely randomized unifactorial design. The treatments consisted on the inoculation of six isolated fungi (LBH03, LBH09, LBH20, LBH30, LBH33 y LBH44) with promoting plant growth characteristics, coming from the soil of the same mine, the fungus *Penicillium rugulosum* IR94-MF that dissolves inorganic phosphates, and a control not inoculated. All treatments had five repetitions. All treatments received micronized phosphate rock of Monte Fresco (27 % of P_2O_5). The inoculation of the isolate LBH09 showed, for native mycorrhization, values that were statistically significant ($P < 0,05$) for the percentage of vesicles colonization and the number of spores in comparison of the uninoculated control. The degradation of cellulose presented differences ($P < 0,05$) with the inoculated fungal isolate LBH03 in comparison to the control. In relation to soil aggregates significant differences were observed ($P < 0,05$) with the inoculation of isolates LBH03, LBH09, LBH20, LBH30, LBH33 and LBH44. It can be concluded that desertified soils due to coal mining exploitation in the locality of Lomas Bajas showed a potential for their restoration and the revegetation with the inoculation, to the poácea *Setaria*, of a varied isolated fungi. The isolated fungi LBH09 and LBH30 increased significantly ($P < 0,05$) the parameters evaluated: native mycorrhization, cellulose degradation and aggregates formation.

INTRODUCCIÓN

La explotación minera causa gran impacto ambiental, ya que incide negativamente en los recursos hídricos, geológicos, biológicos y atmosféricos. En el campo geológico se producen cambios topográficos y geomorfológicos debido a la remoción de las capas superficiales del terreno (Mergili *et al.*, 2015). Estos cambios pueden ocasionar suelos compactados, desplazados, mezclados y degradados.

Por lo tanto, una de las estrategias ecológicas es llevar a cabo el mejoramiento o recuperación de zonas perturbadas usando especies vegetales con características fisiológicas de la zona a restaurar. Dichas especies serían un recurso esencial en la restauración de suelos, ya que ellas crecen en zonas alteradas y finalmente permiten la recuperación de la fertilidad del suelo.

Así mismo, la asociación de algunos microorganismos y plantas pueden degradar de manera natural compuestos orgánicos, y esta capacidad se explota para facilitar la degradación de contaminantes y para operaciones de limpieza de desechos (Valderrama y Téllez, 1999). Un género nativo ampliamente distribuido en la zona de extracción de carbón de Lomas Bajas, de acuerdo a observaciones preliminares, fue el de *Setaria* sp. Esta poácea ha sido evaluada como especie forrajera nativa en América tropical, entre las de mayor importancia para zonas áridas (Quero *et al.*, 2007). Asimismo, *Setaria* ha sido utilizada como planta ornamental y en restauración de suelos, por ser una poácea ecológica y social. Por ello se están realizando esfuerzos para coleccionar y preservar diferentes especies en Latinoamérica (Giraldo-Cañas, 2010; Herrera y Cortes, 2009). Por otro lado, la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento de plantas representa una opción favorable para el manejo sostenible de los ecosistemas (Reyes *et al.*, 2008). Por esta razón, se evaluó el potencial restaurador de la poácea *Setaria* sp., en un suelo degradado por explotación minera carbonífera, en condiciones de campo mediante los siguientes parámetros: micorrización nativa, degradación de la celulosa y formación de agregados en la rizósfera.

MÉTODO

Este ensayo se realizó en la mina de carbón de Lomas Bajas (población de Capacho, municipio Libertad, estado Táchira, Venezuela), sitio ubicado a 1017 msnm, cuyas coordenadas geográficas son N 0789931 y E 0868204. Posee un clima templado y la vegetación predominante pertenece al bosque seco premontano. Las características del suelo fueron: pH 3,4 y una conductividad eléctrica de 0,07 mS/cm-1. Por ser un terreno inclinado de aproximadamente 45°, se trazaron curvas de nivel. La distancia entre plantas se estableció de 0,50 m y entre hileras 0,70 m, para tener una distancia apropiada entre cada tratamiento. Para establecer el experimento se llevaron a campo 40 plantas previamente inoculadas con los aislamientos fúngicos y su testigo no-inoculado. Las mismas fueron llevadas en macetas de medio Kg con 45 días de trasplante y un promedio de 12 hojas. En campo se trazó la siembra y se procedió a abrir un hoyo de 15 cm de profundidad y 15 cm de diámetro para luego adicionar en el fondo 3,75 g de la roca fosfórica micronizada de Monte Fresco, estado Táchira (27 % de P_2O_5), equivalente a una dosis de 1500 Kg/ha⁻¹, por tratamiento y el testigo no inoculado. Se utilizó un diseño unifactorial completamente al azar, en el que el primer factor fue dado por los tratamientos biológicos, el cual se conformó de ocho tratamientos incluyendo el testigo no inoculado: *Penicillium* sp. (LBH03), *Aspergillus* sp. (LBH09), *Penicillium* sp. (LBH20), *Trichoderma* sp. (LBH30), *Trichoderma* sp. (LBH33), *Fusarium* sp. (LBH44) y *Penicillium rugulosum* (IR94-MF), y cinco réplicas por tratamiento, para un total de cuarenta unidades experimentales. A todos los tratamientos se les adicionó la roca fosfórica micronizada de Monte Fresco (27 % de P_2O_5).

Evaluación de la micorrización nativa

Se realizaron dos muestreos a las raíces de las plantas de *Setaria* sp. durante el tiempo del experimento, a los 5 y 11 meses después del trasplante, en los que se evaluó el porcentaje de colonización nativa y la presencia y número de esporas micorrízicas en el suelo rizosférico. Para el muestreo de las raíces de las plantas se utilizó

el método de Sánchez (2007). Para esto, se tomaron tres plantas al azar y se recolectaron las muestras de raíces de los primeros 10 cm, luego se colocaron en bolsas plásticas y se llevaron al Laboratorio de Biofertilizantes para ser lavadas con agua destilada sin dejar restos de suelo rizosférico. En la preparación de las raíces para la tinción se utilizó el método descrito por Phillips y Hayman (1970), que consta de cinco pasos para obtener una tinción ideal y poder observar la micorrización dentro de las raíces. Para la determinación del porcentaje de colonización micorrízica se usó el método empleado por McGonigle *et al.* (1990), en el que se requiere el montaje de raíces teñidas en portaobjetos, para observarlas en el microscopio óptico.

Para el aislamiento y cuantificación de esporas micorrízicas en la rizósfera se utilizó el método descrito por Sánchez (2007): se tomaron 3 plantas al azar, introduciéndose un tubo de metal o una espátula en forma vertical y cercana al tallo de la planta, aproximadamente entre 4 y 8 cm de profundidad. Se tomó una muestra compuesta de suelo mayor a 100 g y se colocó en bolsas plásticas previamente etiquetadas, las cuales se trasladaron en frío al laboratorio manteniéndose a una temperatura aproximada de 6 °C hasta su procesamiento. Para la separación de las esporas del suelo se utilizó el método de centrifugación en sacarosa descrito por Sierverding (1991), en el cual las esporas se colocaron en placas de Petri para aislarlas y contarlas. Estos resultados se analizaron en forma descriptiva.

Evaluación de la degradación de la celulosa

La actividad celulolítica se expresó como el porcentaje de pérdida de celulosa en función del peso seco inicial (Reyes, 1986), realizándose mediciones mensuales durante todo el experimento. Para esta prueba se utilizó papel Whatman N° 42 (sin cenizas) previamente pesado en una balanza analítica Sartorius modelo BP 221S; el papel se numeró y se anotó el peso del mismo, y se colocó en una malla plástica con poros de 1 mm de diámetro, de dimensiones 5 x 5 cm. Posteriormente, se llevaron las mallas plásticas con el papel Whatman a campo, y con la ayuda de un trozo de 15 cm de alambre dulce se fijaron estas mallas en la superficie del suelo

cubriéndolas ligeramente con el carbón o sustrato presente en el suelo de la mina, cuidando que las mallas quedaran en los primeros cinco centímetros de las macollas de la planta. Transcurridos los 30 días se recolectaron las mallas y se cambiaron por nuevas pre-pesadas y marcadas. Se llevaron al laboratorio para ser limpiadas con un pincel, con el fin de eliminar los restos de suelo, y se colocaron en la estufa por 4 días a 65 °C; luego se pasaron a un desecador por 6 h. Por último, fueron pesadas para determinar el peso seco final, que expresaba la degradación de la celulosa en función del peso seco inicial. Los datos fueron tratados con el análisis no paramétrico de Kruskal Wallis (Siegel, 1970).

Evaluación de la formación de agregados

Al finalizar el ensayo de campo (12 meses después de la siembra), se tomó una muestra representativa de suelo rizosférico de cada tratamiento y se llevó al laboratorio para estudiar la formación de microagregados, de acuerdo con Allen (1959).

Para esto se determinó el porcentaje de humedad del suelo mediante el secado de una muestra de 10 gramos de peso a 105-110 °C. Se añadieron 150 g del suelo rizosférico en un vaso de precipitado y 20 ml de una mezcla de 1:1 de solución de sacarosa con solución salina 0,89%, para obtener la muestra con una humedad aproximada de 50% o a capacidad de campo; se mezcló bien para que el suelo estuviera homogéneo y se anotó el peso de cada vaso. Luego se introdujo un portaobjeto de vidrio en el suelo de cada vaso, y estos fueron tapados con papel e incubados a 28-30 °C. Durante el período de incubación, los vasos se pesaron diariamente por 2 semanas.

El examen al microscopio se realizó retirando la lámina de vidrio de cada muestra y tiñéndola con eritrosina fenicada. Se examinaron al microscopio las muestras para los macroagregados (>250 µm) y microagregados (50-250 µm) del suelo con el objetivo 4X (Caesar-Tonthat *et al.*, 2007), en relación al testigo no inoculado, y se compararon los resultados con una escala arbitraria de fotografías de los agregados entre 0 y 65 % por campo ocular.

RESULTADOS**Efecto sobre la micorrización nativa**

En las plantas de *Setaria* sp. se encontró que el porcentaje de micorrización por vesículas en las plantas testigo fue de 23,67 % y el número de esporas por 100 g de suelo fue de 7 esporas en el primer muestreo (Tabla 1).

Así mismo, para el segundo muestreo el porcentaje de micorrización por vesículas fue de 27,67 % y el número de esporas 10,33. Estos muestreos se realizaron, uno en el mes de abril (5 meses después del trasplante) y el otro en el mes de septiembre (11 meses después del trasplante).

En la figura 2 se presentan los datos climatológicos de la zona para el año 2009; allí puede observarse que la precipitación fue escasa, además el mes de abril fue uno de los meses más secos durante ese año y el mes de septiembre no llovió más de 10 mm.

El efecto sobre la micorrización nativa de los diferentes inoculantes fúngicos en la poácea *Setaria* sp., considerando el porcentaje de vesículas y el número de esporas por 100 gramos de suelo, se observa en la tabla 1.

La inoculación del hongo *Aspergillus* sp. cepa LBH09 presentó en los dos muestreos de la micorrización valores superiores estadísticamente significativos ($P < 0,05$) tanto para el porcentaje de colonización por vesículas como en el número de esporas, en comparación al testigo no inoculado.

Los incrementos fueron de 170 y 177% para el porcentaje de colonización por vesículas, y de esporas con incrementos de 157 y 125 % para el primer y segundo muestreo respectivamente.

Adicionalmente, otro hongo menos importante fue el aislamiento fúngico *Penicillium* sp. cepa LBH03, el cual incrementó ligeramente el porcentaje de colonización micorrízica para el segundo muestreo.

Sin embargo, se encontró que el porcentaje de micorrización por vesículas en las plantas testigo

fue de 23,67 % y el número de esporas por 100 g de suelo fue de 7 esporas en el primer muestreo.

Así mismo, para el segundo muestreo el porcentaje de micorrización por vesículas fue de 27,67 % y el número de esporas 10.

Efecto sobre la degradación de la celulosa

El efecto de los tratamientos biológicos sobre el promedio acumulado de la degradación de la celulosa en plantas de *Setaria* sp. mostró diferencias significativas ($P < 0,05$) con la inoculación de *Penicillium* sp. cepa LBH03 en comparación con el testigo no inoculado (Figura 1).

Se observó que durante los primeros 4 meses del muestreo hubo una degradación de la celulosa entre 0,94 y 5,12% y durante los meses de muestreo fue de 1,33%.

Seguidamente, otros géneros como *Trichoderma* sp. cepa LBH33 y *Aspergillus* sp. cepa LBH09 mostraron una tendencia al incremento de la degradación de la celulosa.

Efecto sobre la formación de agregados

Al evaluar el efecto de la formación de agregados en la rizósfera de *Setaria* sp. inoculada con los aislamientos fúngicos en condiciones de campo, se encontró (Tabla 2) que el aislamiento fúngico *Trichoderma* sp. cepa LBH33 incrementó significativamente ($P < 0,05$) el porcentaje de microagregados en la rizósfera de la planta, la presencia de micelio fúngico y disminuyó el pH rizosférico.

Igualmente se observaron diferencias estadísticamente significativas para los hongos *Aspergillus* sp. cepa LBH09, *Fusarium* sp. cepa LBH44, *Trichoderma* sp. cepa LBH30 y las cepas LBH20 y LBH03, pertenecientes al género *Penicillium* sp., sobre los parámetros evaluados en comparación al testigo no inoculado.

Finalmente, el aislamiento fúngico *Penicillium rugulosum* cepa IR94-MF no mostró resultados estadísticamente significativos para la formación de agregados en *Setaria* sp.

Tabla 1. Porcentaje de colonización micorrízica en plantas de *Setaria* sp. en condiciones de campo.

Aislamiento	% colonización vesículas		Nº esporas 100 g de suelo		% colonización vesículas		Nº esporas 100 g de suelo	
Primer muestreo				Segundo muestreo				
Testigo	23,67	b	07,00	cd	27,67	bc	10,33	c
IR94-MF	26,33	b	07,00	cd	25,00	c	08,00	d
LBH30	23,67	b	06,00	de	34,67	abc	14,00	ab
LBH33	22,33	b	04,67	e	34,67	abc	13,67	ab
LBH09	40,33	a	11,00	a	49,00	a	13,00	b
LBH20	21,00	b	08,67	bc	36,33	abc	13,00	b
LBH03	29,00	b	10,00	ab	40,67	ab	13,00	b
LBH44	09,67	c	07,67	cd	32,33	bc	15,00	a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de estadística de medias LSD a un nivel de confianza de 95%.

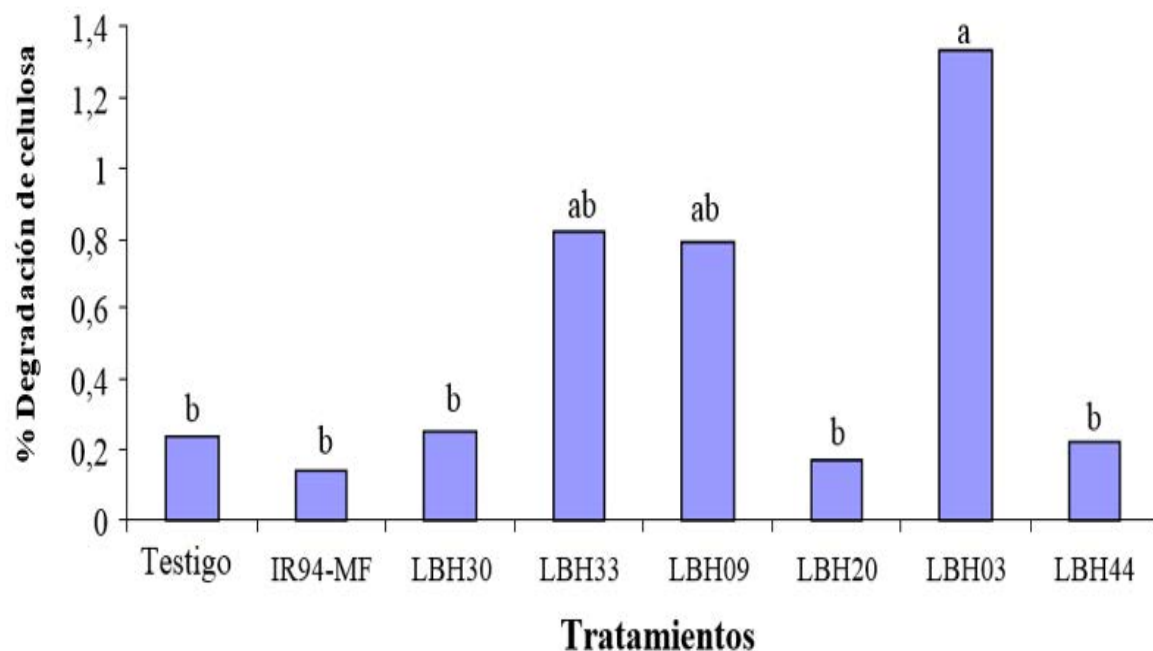


Figura 1. Dinámica de la degradación de celulosa en *Setaria* sp. con la aplicación de roca fosfórica en condiciones de campo (*Penicillium rugulosum* cepa IR94-MF, *Trichoderma* sp. cepa LBH30, *Trichoderma* sp. cepa LBH33, *Aspergillus* sp. cepa LBH09, *Penicillium* sp. cepa LBH20, *Penicillium* sp. cepa LBH03 y *Fusarium* sp. cepa LBH44).

Tabla 2. Evaluación de agregados en la rizósfera de las plántulas de *Setaria* sp. con la aplicación de roca fosfórica en condiciones de campo.

Aislamiento	% Microagregados		% Micelio		pH rizosférico	
Testigo	02,55	e	05,55	d	3,80	a
IR94-MF	08,61	de	25,00	c	3,80	a
LBH30	16,38	c	30,56	c	3,56	cd
LBH33	35,27	a	58,33	a	3,65	bc
LBH09	24,72	b	66,67	a	3,67	b
LBH20	20,83	bc	58,33	a	3,58	bcd
LBH03	05,83	cd	47,22	b	3,55	cd
LBH44	17,50	bc	33,33	c	3,55	d

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de estadística de medias LSD a un nivel de confianza de 95%. n=5.

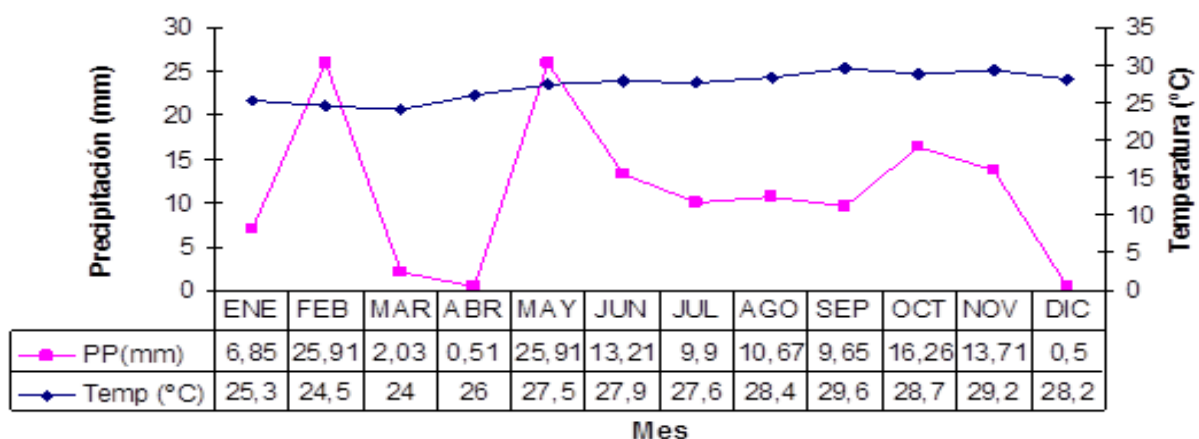


Figura 2. Precipitación y temperatura promedio mensual para el año 2009. Fuente: INAMEH (2011).

DISCUSIÓN

Micorrización nativa

Investigaciones realizadas por Straker *et al.* (2007) reportaron en suelos disturbados por explotación minera de uranio en condiciones de campo porcentajes de micorrización nativa en la poácea *Cynodondactylon* de 21,9 % y vesículas 46,2%.

Igualmente, Medina-Sierra *et al.* (2009), en suelos aluviales degradados por actividad minera de hierro en el Bajo Cauca Antioqueño en Colombia, en donde se evaluó la micorrización en plantas de

maíz en condiciones de umbráculo, generó un porcentaje de colonización micorrizal de 40%, detectándose micelio y arbusculos, pero no esporas. Los bajos valores de micorrización reportados en este trabajo en plantas testigo de *Setaria* sp. estarían relacionados con la sequía prolongada reportada durante el año del experimento. Es bien conocido que la humedad del suelo es uno de los principales factores que regulan el crecimiento microbiano en el suelo (Sánchez, 2007).

Según Alarcón *et al.* (2001), los HMA (hongos micorrízicos arbusculares) no están en capacidad de invadir en alta proporción el sistema radical de

sus hospedantes, sino que también dependerá del genotipo y fenología de la planta, así como del grado de fertilidad y humedad del suelo y la compatibilidad entre el endófito y la planta. Para que la micorrización sea efectiva en la instalación de un cultivo, se debe tomar en cuenta que la planta tenga una mayor micotrofia o afinidad por los HMA.

La colonización por HMA de las raicillas será mayor con una selección adecuada de las especies utilizadas como coberturas verdes, lo que permitirá incrementar el banco de raicillas en el suelo y su poder de micorrización.

Así mismo, ello produciría un incremento del número de esporas de los hongos y de su micelio en la rizósfera de las plantas (Toro et al., 2008). De igual forma, se deben tomar en cuenta las interacciones entre otros microorganismos no simbióticos de la rizósfera del suelo y su efecto sobre las micorrizas endosimbiontes obligadas de las plantas, las cuales, como es sabido, dependen del carbono que liberan las células radiculares.

Según lo expresado anteriormente, se refleja que los valores de colonización micorrízica encontrados con la aplicación de los aislamientos fúngicos inoculados sugieren que los microorganismos no viven de manera aislada en la rizósfera de las plantas.

Además, posiblemente existe un factor influyente entre los aislamientos fúngicos evaluados y la micorrización nativa: este factor puede ser la producción de metabolitos secundarios que liberan los microorganismos circundantes de la rizósfera y micorrizósfera, así como también la producción de ácidos orgánicos que disuelven minerales, entre ellos ácido cítrico, que pueden disolver el carbón mineral (University of Notre Dame, 1997).

Este efecto no es solo benéfico para la planta sino también para la micorrización nativa. La expresión benéfica de los hongos está determinada por factores climáticos (temperatura, precipitación, entre otros) y estos factores tienen un efecto determinante en la fisiología del hospedante (Alarcón et al., 2001). En esta investigación el aislamiento fúngico *Aspergillus* sp. cepa LBH09 incrementó significativamente el

nivel de colonización micorrízica nativa con respecto al testigo no inoculado en las plantas de *Setaria* sp. durante todo el experimento. Podría suponerse que se estableció una relación mutualista positiva entre *Aspergillus* sp. cepa LBH09 y los HMA presentes en la rizósfera de esta especie.

De esa manera los resultados muestran que los microorganismos asociados a la rizósfera y/o al suelo propiamente dicho constituyen una herramienta potencial para la implantación de especies de revegetación en zonas desérticas y/o disturbadas por acción minera.

Degradación de la celulosa

Una investigación reportada por Sánchez (1987) señala que los hongos *Fusarium oxysporum*, *Fusarium nivale*, *Alternaria tenuissima*, *Penicillium* sp., *Trichoderma koningii* y *Mucor hiemalis* degradaron celulosa en un pastizal de la Pampa Deprimida en Buenos Aires.

Igualmente, Cabello (1987) comenta que los aislamientos fúngicos *Aspergillus fumigatus*, *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium decumbens*, *Penicillium varians*, *Trichoderma hamatum*, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma koningii*, aislados en suelos de la región Interserrana, poseen la actividad enzimática para degradar celulosa.

Es conocido que la velocidad de descomposición de la celulosa depende de factores físico-químicos como la humedad, la temperatura del suelo, el pH, el potencial de oxidación-reducción y de factores biológicos, como la comunidad de microorganismos que colonizan al sustrato (Sánchez, 1987). Así mismo, en investigaciones reportadas por Dilly y Munch (1996), en un aliso negro (*Alnus glutinosa*) durante dos estaciones climáticas (invierno y verano), encontraron que existe un factor en las variaciones estacionales por el que la humedad en el suelo influye en la tasa de descomposición de la materia orgánica, así como también las concentraciones de protones (expresada en valor de pH).

Además, Reyes (1986) reporta que la degradación de la materia orgánica mediante mediciones de respiración edáfica y degradación de celulosa en épocas de sequía está sujeta a cambios dinámicos

causados por una serie de factores como son humedad, temperatura, pH y disponibilidad de nutrientes.

Los resultados en general muestran que las condiciones climáticas de la zona influyeron en una baja velocidad de degradación de la celulosa, así como también en la morfología del sistema radical de la planta.

Es bien conocido que a mayor contenido de humedad se facilita la descomposición de la celulosa.

En otras palabras, en las minas de carbón de Lomas Bajas existió un marcado déficit hídrico durante todo el experimento (Figura 2), así como también temperaturas templadas y alta insolación.

Adicionalmente, el ensayo se realizó en un talud de aproximadamente 45° en donde las fuertes corrientes de vientos probablemente erosionaron las capas del suelo con carbón y por ende las mallas con las muestras de celulosa quedaban a pocos centímetros de la superficie.

Este factor también influyó en la pérdida de humedad y el aumento de la temperatura de muchas de las muestras, por lo que se presume que esto incidió en una alta variabilidad de los resultados.

Formación de agregados

Atlas y Bartha (2002) comentan que la mineralización de la materia orgánica se debe principalmente a las poblaciones fúngicas en una relación 3:1 con respecto a las poblaciones bacterianas. Por ejemplo, los hongos exudan una amplia gama de compuestos como lipopolisacáridos y mucílagos de glicoproteínas en su entorno inmediato; estos compuestos tienen propiedades adhesivas que sirven para pegar los componentes del suelo y fomentar la producción de microagregados y la agregación del suelo (Ritz y Young, 2004).

Los ácidos orgánicos producidos por las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo son considerados un mecanismo para la meteorización de los minerales (Landeweert *et al.*, 2001), y de esta manera pueden contribuir tanto con la estabilidad estructural del suelo

(Caesar-Tonthat *et al.*, 2007) como con la liberación de los nutrientes de los minerales, ya sean estos carbón o roca fosfórica.

Debe recordarse que todos los aislamientos fúngicos utilizados poseen la actividad disolvente de fosfatos, capaces de utilizar el carbón mineral como fuente de carbono.

Al estudiar la formación de agregados en las minas de carbón de Lomas Bajas se encontró una clara evidencia de que los aislamientos fúngicos inoculados incrementaron la formación de agregados en comparación con el testigo.

El análisis general de todos los parámetros medidos durante el estudio en condiciones de campo muestra que la actividad biológica de los aislamientos fúngicos sobre las plantas evaluadas fue afectada en gran medida por la estacionalidad de la zona durante el experimento, así como también por las características morfológicas de la planta evaluada.

Los parámetros usados, micorrización nativa, degradación de la celulosa y formación de agregados señalan que la actividad biológica de los aislamientos fúngicos se incrementaría a medida que las plantas se instalen y las condiciones climáticas de la zona lo permitan.

La inoculación de estos aislamientos fúngicos influye en la comunidad de estas plantas; la presencia y eficacia de las asociaciones micorrízicas con los microorganismos presentes en la rizósfera y los inoculados de las plantas podrían relacionarse con la micotrofia dominante presente en las plantas evaluadas.

CONCLUSIONES

La poácea *Setaria* sp., inoculada con los aislamientos fúngicos *Aspergillus* sp. cepa LBH09 y *Trichoderma* sp. LBH30, presentó un posible potencial restaurador en el suelo desertificado por explotación minera carbonífera de la localidad de Lomas Bajas, al incrementar significativamente los parámetros evaluados: micorrización nativa, degradación de la celulosa y formación de agregados.

REFERENCIAS

- Alarcón, A., Gonzalez-Chavez, M., Ferrera-Cerrato, R., Villegas-Monter, A. (2001). Efectividad de *Glomus fasciculatum* y *Glomus etunicatum* en el crecimiento de plántulas de *Vitis vinífera* L. obtenidas por micropropagación. *Terra*, 19(1):29-35.
- Allen, O. (1959). *Experiments in soil bacteriology*. Minnesota: Burgess Publishing co.
- Atlas, R., Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4ta ed., trad. Al español, Addison Wesley, Madrid.
- Cabello, M. (1987). Actividad enzimática de algunos hongos aislados en suelos de la región Interserrana (provincia de Buenos Aires). *Ciencias del Suelo*, 5(1):89-91.
- Caesar-Tonthat, T., Caesar, A., Gaskin, J., Sainju, U., Busscher, W. (2007). Taxonomic diversity of predominant culturable bacteria associated with microaggregates from two different agroecosystems and their ability to aggregate soil in vitro. *Applied Soil Ecology* 36:10-21.
- Dilly, O. y Munch, J. (1996). Microbial biomass content, basal respiration and enzyme activities during the course of decomposition of leaf litter in a black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) forest. *Soil Biol. Biochem.*, 28 (8):1073-1081.
- Giraldo-Cañas, D. (2010). Gramíneas (poáceas) ornamentales y usadas en artesanías en Colombia. *Polibotánica*, 30:163-191. [Revista en línea]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=62114250011>.
- Herrera, Y., Cortes, A. (2009). Diversidad y distribución de las gramíneas (poáceas) en el estado de Zacatecas. *J. Bot. Res. Inst. Texas*, 3(2): 775-792.
- INAMEH, (2011). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. [Consulta en línea]. Disponible en: http://www.inameh.gob.ve/index.php?pag=d_precipitacion&estado=tachira
- Landeweert, R.; Hoffland, E.; Finlay, R.; Kuyper, T., Breemen, N. (2001). Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *TRENDS in Ecology y Evolution*, 16(5):248-254.
- McGonigle, T., Evans, D., Miller, M. (1990). Effect of degree of soil disturbance on mycorrhizal colonization and phosphorus absorption by maize in growth chamber and field experiments. *New Phytologist*, 116: 629-636.
- Medina-Sierra, M., Orozco, F., Márquez, M. (2009). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares de una crono-secuencia de suelos aluviales degradados por actividad minera en el bajo Cauca Antioqueño, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 62(1): 1-12.
- Mergili, M., Marchan, C., Moreiras, S. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Rev. Colomb. Geogr.*, 24(2):113-131.
- Phillips, J. M., Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 55:158-161.
- Quero, A., Enríquez, J., Miranda, L. (2007). Evaluación de especies forrajeras en América Tropical, *INCI*. 32 (8): 566-571.
- Reyes, I. (1986). *Actividad biológica del suelo de un cafetal sometido a diferentes formas de manejo*. Trabajo de grado de maestría no publicado. Mérida (Venezuela): Universidad de Los Andes.
- Reyes, I., Álvarez, L., El-Ayoubi, H., Valery, A. (2008). Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz. *Bioagro*, 20 (1): 37-48.
- Ritz, K., Young, I. (2004). Interactions between soil structure and fungi. *Mycologist*, 18(2):52-59.
- Sánchez, C. (1987). Descomposición fúngica de la celulosa en un pastizal de la Pampa

- Deprimida. Buenos Aires. Ciencias del suelo, 5(2):135-141.
- Sánchez, M. (2007). Endomicorrizas en agrosistemas colombianos. Cali: Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira -Fenvasa.
- Siegel, S. (1970). Diseño experimental no paramétrico. México: Trillas.
- Sierverding, E. (1991) Vesicular-arbuscular micorriza emenagement in tropical agrosystem. Technical cooperation, Federal Republic Germany. Eschborn, Alemania.
- Straker, C.; Weiersbye, I., Witkowski, E. (2007). Arbuscular mycorrhiza status of gold and uranium tailings and surrounding soils of South Africa's deep level gold mines: I. Root colonization and spore levels. South African Journal of Botany, 7: 218–225.
- Toro, M., Bazo, I., López, M. (2008). Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. Agronomía Tropical, 58 (3): 215-221.
- University of Notre Dame. (1997). Regulation of coal polymer degradation by fungi. Department of civil engineering and geological sciences. Quarterly Report, July 1 - September 30. Work performed Under contract N° DE-FG22-94PC94209.
- Valderrama, B., Téllez, J. (1999). “Microbiología del petróleo y sus derivados”. Cuernavaca: Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. [Consulta en línea]. Disponible en: <http://www.docstoc.com/docs/3180360/Microbiolog%C3%ADa-del-petr%C3%B3leo-y-sus-derivados> -Brenda-Valderrama-y-Juan.

COMPOSICIÓN Y CALIDAD DEL QUESO GUAYANÉS A NIVEL DE CENTROS DE COMERCIALIZACIÓN

COMPOSITION AND QUALITY OF GUYANESE CHEESE AT LEVEL OF RETAIL CENTERS

AUTORES:

Maldonado, Ronald¹; Llanca, Luís¹; Homsí, Wendy¹; Paiva, Alicia¹; Román, Yasmín¹; Calderón, Norely¹; Isturiz, Rosaura¹; Jiménez, Olymar²; Gámez, Lis¹; Meléndez, Bernavé²

¹Laboratorio de Físico-Química, Instituto de Química y Tecnología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Venezuela.

²Laboratorio de Industria de la Carne y de la Leche, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela, Maracay, apartado postal Aragua 2101. Venezuela.

Corresponding Author:

ronald.maldonado@ucv.ve

Palabras clave: Queso guayanés, calidad, composición.

Key words: Guyanese cheese, quality, composition.

RESUMEN

Los quesos de pasta hilada preacidificados fabricados en Venezuela, como el guayanés, se caracterizan porque durante el proceso de descalcificación de la leche para obtener una masa hilante, con textura más suave que el queso mozzarella, es necesaria la adición de un suero acidificado sin pasteurizar previo a la fabricación. Lo anterior constituye un elemento más para incorporar bacterias patógenas y deteriorativas al queso. Bajo esta perspectiva se estudiaron las características fisicoquímicas y microbiológicas del queso guayanés bajo refrigeración a 10°C obtenido en centros de comercialización en Maracay, estado Aragua (Venezuela). Se realizó el muestreo en 4 diferentes centros de ventas y se estimó la variabilidad en las características estudiadas a través de los parámetros estadísticos media, desviación estándar y coeficiente de variación. Por cada centro estudiado, fueron recolectadas dos muestras durante cuatro semanas, para un total de 32 muestras. Los resultados indicaron que el guayanés se caracterizó por presentar alta humedad, con un valor promedio de 74,515 (bs) (consistencia blanda), grasa 49,85% (bs) (categoría graso), proteína 39,80% (bs) y NaCl 8,60% (bh). El pH osciló entre 4,45 y 4,54, acidez de 1,67% y se observaron altos valores del coeficiente de variación (CV) en NaCl (CV=10,48%) y acidez (CV=32,30%). Estos resultados indican que es necesario estandarizar los procesos de salado y acidificación en las queseras para obtener una composición química más estable. Los altos contajes de bacterias mesófilas aerobias (10^6 UFC/g), coliformes totales 10^4 NMP/g y *Staphylococcus* spp (10^6 UFC/g), de las cuales 25% fueron coagulasa positiva, pueden significar una calidad deficiente de materia prima, equipos, manipulación y operarios, que pudieran significar un peligro potencial de riesgo para la salud de los consumidores. El queso guayanés presentó un tiempo de vida útil de 8 días a 10°C.

ABSTRACT

Stretched-curdcheeses such as the Guyanese, made in Venezuela, is characterized because it is necessary the addition of an acidified unpasteurized whey during the decalcification process of the milk to obtain a stretching mass, with texture softer than the Mozzarella cheese. This is another element to incorporate pathogenic and deteriorating bacteria into cheese. Under this concern, the physico-chemical and microbiological characteristics of Guyanese cheese refrigerated at 10°C obtained at marketing centers in Maracay, Aragua State, were studied. Sampling was carried out in 4 different retail centers and the variability in the characteristics studied was estimated through the statistical parameters such as average, standard deviation and coefficient of variation. For each center studied, two samples during four weeks were collected, with a total of 32 samples. The results indicated that, the Guyanese cheese was characterized by high moisture with 74.515 (mwfm) (soft consistency), fat 49.85% (bs) (fat category), protein 39.80% (db) and high content of NaCl (8.60%) (db). The pH ranged between 4.45 to 4.54 and the acidity of 1.67%. There were high values to the coefficient of variation (CV) in NaCl (CV = 10.48%) and acidity (CV = 32.30%). These results indicate that it is necessary to standardize the processes of salting and acidification at the cheese-making level in order to obtain a more stable chemical composition. The high counts of aerobic mesophilic bacteria (10^6 CFU / g), total coliforms 10^4 MPN / g and *Staphylococcus* spp (10^6 CFU / g) of which 25% were coagulase positive, could mean poor quality of raw material, equipment, handling and operators, which could contribute to a potential risk to the health of consumers. The shelf life of Guyanese cheese was of 8 days of storage at 10°C.

INTRODUCCIÓN

Se define como queso de pasta hilada el producto lácteo elaborado a partir de leche, entera o parcialmente descremada, mediante un proceso de coagulación enzimático, en el que se obtiene la cuajada con un escurrimiento parcial del suero, para luego someterla a un proceso de fermentación, amasado y estirado, con lo que se origina una masa hilada y homogénea, de textura blanda y medianamente grasa, que está lista para el consumo poco después de su fabricación (COVENIN-3822, 2003).

La importancia de los quesos de pasta hilada como alimento, en Venezuela y en muchas otras sociedades, radica en que representa una forma de consumo indirecto de leche; además, su tecnología es accesible y su valor nutritivo es alto. Los quesos son fuente de proteína, grasas, vitaminas y minerales, especialmente calcio, hierro y fósforo (Sangronis y García, 2007).

Los coliformes (enterobacterias y *Escherichia coli*) son considerados microorganismos indicadores de contaminación fecal y se vinculan con la presencia de posibles patógenos (Alvarado-Rivas y Díaz-Rivero, 2007).

Existe un creciente interés en las malas prácticas sanitarias durante la preparación de alimentos y su relación con los brotes de intoxicación alimentaria (Dindes *et al.*, 2000).

Staphylococcus aureus se relaciona con la ubre infectada (mastitis), la piel, las mucosas y el tracto respiratorio de los animales y el hombre (ICMSF, 2000).

Esta bacteria se caracteriza porque en concentraciones superiores a 10^4 UFC/g se hace capaz de producir toxinas generadoras de intoxicación alimentaria, que provocan síntomas como diarrea, vómitos y dolores abdominales, y pueden ocasionar la muerte a niños y ancianos (Giannuzzi *et al.*, 1999; Herrera *et al.*, 2001).

En Venezuela la experiencia epidemiológica pone los quesos blancos duros, semiduros, blandos

criollos y llaneros entre los más frecuentes vehículos de enfermedades alimentarias, debido a su deficiente calidad microbiológica (Miró y Ríos, 1999). Las cifras más actualizadas, según el Ministerio de Sanidad y Desarrollo Social (MSDS), de enfermedades transmitidas por los alimentos (ETAS) en Venezuela corresponden al 2004; en ellas el queso representa 46% de los brotes y en 39,5% de los casos el microorganismo involucrado es el *Staphylococcus aureus* como agente causal (MSDS, 2010).

Por estas razones se planteó caracterizar físicoquímica y microbiológicamente el queso guayanés obtenido en centros de comercialización en la ciudad de Maracay, estado Aragua (Venezuela); además de verificar la calidad en función de las normas COVENIN-3822 (2003), y tomando en cuenta los indicadores de higiene (coliformes totales) y manipulación de alimentos (*Staphylococcus aureus*), una vez que el producto está en la cadena de comercialización.

MÉTODO

Muestreo

Se realizó el muestreo en cuatro centros de ventas y comercializadoras de queso guayanés en la ciudad de Maracay. Por cada centro estudiado, fueron recolectadas dos muestras durante cuatro semanas, para un total de 32 muestras.

Estas fueron colocadas en bolsas plásticas y transportadas en cavas con hielo hasta el laboratorio, donde fueron inmediatamente analizadas.

Se tomó como criterio para la selección de las muestras los cuatro centros de ventas de queso guayanés que presentaron mayores ventas semanales. En este sentido, los centros escogidos para el muestreo fueron: Mercado Libre (centro 1), con 30 kg semanales, Mercado Principal (centro 2), con 40 kg semanales, Euromercado (centro 3), con 380 kg semanales, e Hipermercado Modelo (centro 4), con 400 kg semanales.

Caracterización fisicoquímica

A los quesos obtenidos de los centros de comercialización se les realizaron las siguientes determinaciones: humedad, según la norma COVENIN-1077(1997c); grasa, siguiendo la metodología propuesta por COVENIN-1814 (1981); proteína, según COVENIN-370(1997a); acidez titulable, mediante COVENIN-658 (1997b); potencial de hidrógeno (pH), según COVENIN-1315(1982); cloruros expresados como porcentaje de NaCl, de acuerdo a COVENIN 369-86(1986).

Cuantificación microbiológica

Para la preparación de las muestras se procedió según la norma COVENIN-1126(1989a), “Identificación y preparación de muestras para el análisis microbiológico”; para este análisis se pesaron 10 g de queso y se colocaron en bolsas de plástico estéril tipo clic, en presencia de mechero y bajo condiciones de asepsia.

Enumeración de microorganismos indicadores

Al queso guayanés se le cuantificaron bacterias mesófilas según método COVENIN-902 (1987). La determinación de coliformes totales se realizó de acuerdo a lo establecido por la norma AOAC (2002). Para la cuantificación y tipificación de *Staphylococcus* spp se utilizó la norma COVENIN-1292 (1989b), “Alimento, aislamiento y recuento de *Staphylococcus aureus*”, en agar Baird Parker con 5% de yema de huevo y 1% de telurito, utilizando el método de siembra por superficie con 0,1 mL de la dilución.

Finalizado el periodo de incubación de 24-48 horas, se seleccionaron las placas, en las que aparecieron entre 25 y 250 colonias, se determinó el número de colonias características, y se efectuó la tipificación mediante una coloración de gram y la prueba de catalasa, manitol y coagulasa.

Evaluación sensorial y tiempo de vida útil

Se realizó una evaluación sensorial a los quesos que cumplieron con los criterios microbiológicos en coliformes totales ($1,5 \times 10^2$ – $1,1 \times 10^3$ UFC/g) y *Staphylococcus* spp (límite máximo permitido $1 \times$

10^3 UFC/g; coagulasa negativa), según la norma COVENIN-3822 (2003). En la evaluación sensorial participaron 80 panelistas tipo consumidor, y la prueba que se aplicó fue del tipo preferencia. A cada panelista se le entregó una muestra de quesos e indicó su grado de preferencia global en función de una escala hedónica.

Los quesos se evaluaron a los 0, 7 y 14 días de almacenamiento a 10°C. La escala hedónica que se utilizó fue de 5 puntos: 1.- No me gusta (no lo comería), 2.- No me gusta (pero lo comería), 3.- Me da igual comerlo, 4.- Me gusta, 5.- Me gusta extremadamente. Se tomaron como criterio de aceptación aquellas evaluaciones que estuvieron por encima de 4 en la escala hedónica.

Análisis estadísticos

A los datos fisicoquímicos y microbiológicos se les realizó el cálculo de los parámetros estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, coeficiente de variación e intervalo de confianza), empleando el paquete estadístico Statgraphics plus versión 5. El coeficiente de variación se calculó usando la ecuación 1:

$$CV(\%) = (S/\bar{x}) \times 100 \quad (1)$$

Donde S es la desviación estándar muestral y $\bar{x}$ es la media muestral. Para el cálculo del intervalo de confianza fue determinado el error máximo admisible o error experimental (e) basado en el teorema del límite central ($n > 30$) y un $Z_{\alpha/2} = 1,96$ (95% de confianza), para un:

$$e = S / \sqrt{n} \times Z_{\alpha/2} \quad (2)$$

Donde S es la desviación estándar muestral; n es el tamaño de la muestra; y (e) es el error máximo admisible. El intervalo de confianza (IC) fue calculado como:

$$[IC]_{95\%} = e \pm \bar{x} \quad (3)$$

Se calcularon los porcentajes del valor del error máximo admisible (e%) en función de la media muestral para cada parámetro evaluado:

$$e(\%) = (e/\bar{x}) \times 100 \quad (4)$$

A los datos de la evaluación sensorial se les realizó el cálculo del porcentaje de aceptación (A%) como la proporción que divide el número de panelistas que tuvieron una calificación por encima de 4 en la escala hedónica de 5 puntos (denotado como A) entre el total de panelistas evaluados (n=80) multiplicado por 100:

$$A(\%) = (A/n) \times 100 \quad (5)$$

Una vez calculado el A% según la ecuación (5), se utilizó como índice de estabilidad para determinar el tiempo de vida útil (TVU) de los quesos almacenados a 10°C. En este sentido, se procedió a graficar sus valores en función del tiempo de almacenamiento en horas.

Debido a que el porcentaje de aceptación es función lineal de su tiempo (reacción de orden cero) e inversamente proporcional (pendiente negativa), se procedió al cálculo de la ecuación de regresión lineal, según la siguiente fórmula:

$$A(\%) = A_0 - kt \quad (6)$$

Donde A (%) es el porcentaje de aceptación; A₀ representa la intercepción con el eje de ordenadas a t=0; y k es la constante de la velocidad de reacción del grado de preferencia o pendiente de la curva (1/h).

Como los datos obtenidos de la evaluación sensorial provienen de una muestra (que representa cada uno de los tiempos evaluados), variable nominal dicotómica (me gusta/no me gusta) y tamaño de muestra grande (n>30), la distribución de probabilidades más ajustada a los datos es la distribución binomial.

En este sentido, para un tamaño de muestra n=80, probabilidad de selección p=0,5, prueba de dos cola α/2= 0,025, el número mínimo de respuestas concordantes para que la muestra pueda ser aceptada de manera significativa por parte de los panelistas tipo consumidores es de 49, que representan el (49/80)×100= 61% de aceptación.

Por lo tanto, a t=0 el porcentaje de aceptación inicial va a ser el A₀ obtenido de la curva de regresión lineal para la variable A(%), y el A_f representa el mínimo porcentaje requerido para que la muestra sea considerada preferida, en este caso A_f = 61%.

Con la constante de velocidad (k) y los valores de A₀ y A_f es posible calcular el TVU desde el punto de vista sensorial. Despejando de la ecuación (6), tenemos:

$$t = TVU = \frac{A_f - A_0}{k} \quad (7)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica

En la tabla 1 se presentan las características fisicoquímicas, obtenidas de 32 muestras de queso blanco artesanal tipo guayanés, correspondientes a cuatro centros de comercialización de Maracay.

Desde el punto de vista fisicoquímico se puede señalar que el queso guayanés se caracterizó porque el porcentaje de humedad sin materia grasa osciló entre 73,48 y 74,71 % (consistencia blanda), el contenido de grasa (base seca) se encontró entre 49,39 y 50,30%, clasificable como graso (COVENIN-1813, 2000).

Tabla 1. Características fisicoquímicas de los quesos blancos artesanales tipo guayanés en centros de comercialización de Maracay.

Parámetros estadísticos	Humedad (%)		Grasa (%)		Proteína (% $\times 6,38$)		NaCl (%)		acidez (%ac. láctico)	pH
	H	HSMG	bh	bs	bh	bs	bh	bs		
Media	58,99	74,1	20,4	49,85	16,3	39,8	3,53	8,60	1,67	4,5
Desviación estándar	3,44	3,5	1,93	2,6	2,17	3,29	0,49	1,19	0,54	0,24
Intervalo menor	57,80	73,48	20,05	49,39	15,91	39,21	3,44	8,39	1,57	4,45
Intervalo mayor	60,18	74,71	20,74	50,30	16,68	40,38	3,61	8,80	1,76	4,54
Coefficiente de variación	5,8	4,7	9,4	5,3	13,3	8,2	10,48	13,90	32,3	5,3
Error máximo admisible (%e)	2,01	0,83	1,67	0,92	2,35	1,46	2,45	2,41	5,71	0,94

*Tamaño de la muestra $n=32$; bh = base húmeda; bs =base seca; H= humedad; HSMG= humedad sin materia grasa. Para el cálculo de los intervalos de confianza (Ecuación 3), se considera un tamaño de muestra grande, ya que $n>30$, además la varianza poblacional es desconocida, y tomando en cuenta el teorema del límite central, los valores de los intervalos están en función de un $\alpha=0,05$ y un $Z_{\alpha/2} = 1,96$, con el error máximo admisible (e) = $Z(\alpha/2)(S/\sqrt{n})$ (Ecuación 2). El coeficiente de variación se calculó con la ecuación 1 y e% (Ecuación 4).

Oyón (1981) obtuvo valores promedios de humedad sin materia grasa más bajos (68,20%), mientras que los publicados por Homsí y Maldonado (2009) fueron cercanos al obtenido en este trabajo, con 74,11%.

El porcentaje de proteína en base seca estuvo entre 39,21 y 40,38%. La sal, expresada como porcentaje en base seca, entre 8,39 y 8,80%, muy por encima del valor recomendado (3%), según COVENIN-1813 (2000). La acidez estuvo entre 1,57 y 1,76%, bastante elevada, considerando que los quesos hilados fermentados recién elaborados presentan una acidez de 0,40% (Oyón, 1981).

Mientras que el pH osciló entre 4,45 y 4,54. Por su parte, Oyón (1981) reportó valores promedios de 5,35. En función del pH, estos valores son comparables con otro producto lácteo fermentado: el yogur, que presenta esos bajos valores de pH (4,5), de lo cual se podría deducir que los quesos serían percibidos como extremadamente ácidos. Con base en coeficientes de variación tan elevados en NaCl (13,90%) y acidez (32,3%), podría decirse que el proceso de

elaboración no está estandarizado, por lo que es necesario realizar más trabajo en el campo con los queseros para lograr estandarizar el esquema tecnológico y obtener una composición química más estable.

El error máximo admisible indicó que se requiere un mayor número de muestras en el porcentaje de acidez para obtener un valor mucho más preciso.

Los altos valores obtenidos en la acidez pudieran ser debidos a diferentes factores, entre los cuales están: tiempo de almacenamiento prolongado, abuso en las temperaturas y condiciones de almacenamiento que no siguen la cadena de frío, así como el uso de suero fermentado con alta acidez. La combinación de estos factores es lo que pudiera haber ocasionado el alto coeficiente de variación. La adición de suero acidificado de la fabricación del día anterior (pH 3,8) o la adición de un ácido orgánico (láctico, acético o cítrico), previa al proceso de coagulación, es una etapa característica de este tipo de queso.

Lo anterior provoca la desmineralización (descalcificación). El calcio juega un papel importante en la textura de los quesos de pasta hilada por entrecruzamiento con las proteínas, y contribuye a la dureza del producto. La reducción del pH en la cuajada, alrededor de 5,2, mejora la hidratación de la caseína, lo cual incrementa la fusión y estiramiento característica en estos quesos. El mecanismo por el cual sucede es que cambia la proporción de calcio coloidal a calcio soluble (Lucey *et al.*, 2003). El pH final alcanzado en los quesos va a depender de la preacidificación, el tipo de ácido usado y las condiciones de supervivencia de las bacterias acidolácticas (Jeremiah y Timothy, 2004).

Cuantificación microbiológica

En la tabla 2 se presentan las características microbiológicas, obtenidas de 32 muestras de queso artesanal tipo guayanés, correspondientes a cuatro centros de comercialización en Maracay.

Mesófilos aerobios

En general, los contajes de mesófilos aerobios estuvieron bastante elevados, en el orden de 10^6 UFC/g, si bien es cierto que no hay una norma que establezca el máximo valor para estos microorganismos indicadores y tomando en cuenta que este tipo de quesos son elaborados en forma artesanal (en cuyo caso la leche no es higienizada y no están garantizadas las condiciones higiénicas durante el ordeño, procesamiento, transporte y almacenamiento); además, los quesos analizados poseen distintos tiempos de almacenamiento y un elevado porcentaje de humedad. Por estos factores aumenta el crecimiento de ese grupo de bacterias y se incrementa el coeficiente de variación.

Coliformes totales

En cuanto a los coliformes totales, se obtuvo un contaje mínimo de $1,47 \times 10^3$ UFC/g y un máximo de $4,86 \times 10^3$ UFC/g, una media muestral de $3,17 \times 10^3$ UFC/g. El valor promedio se considera elevado, pues se encuentra por encima de lo recomendado por la norma COVENIN-3822 (2003), la cual señala que los criterios

microbiológicos para este grupo de microorganismos deberán estar entre $1,5 \times 10^2$ y $1,1 \times 10^3$ UFC/g. Es importante señalar que el método utilizado no puede diferenciar las bacterias patógenas de las que no lo son, altos contajes pueden reflejar una deficiente calidad higiénica en el producto final, debido a factores como falta de higiene en las labores de procesamiento por parte del personal, métodos de limpieza incompletos, manejo sanitario inadecuado de la leche desde el ordeño hasta el almacenamiento y ausencia de condiciones higiénicas en el transporte, almacenamiento y comercialización.

Staphylococcus spp

El recuento de *Staphylococcus* spp en los quesos tipo guayanés estuvo en un intervalo de confianza de 95% de $8,25 \times 10^4$ UFC/g y $2,49 \times 10^5$ UFC/g, con un valor promedio $1,66 \times 10^5$ UFC/g. De las 32 muestras, 8 dieron coagulasa positiva, lo que constituye 25% del total analizado. Bennett y Lancette (1995) señalaron que las bacterias *Staphylococcus* spp coagulasa (+) tienen una alta correlación con la producción de enterotoxina, causante de enfermedades, y se consideran, de esta manera, un microorganismo patógeno.

Dindes *et al.* (2000) estimaron que un alimento es de riesgo de intoxicación alimentaria por *Staphylococcus* spp cuando tiene una carga igual o superior a 10^4 UFC/g. Por su parte, COVENIN-3822 (2003) recomienda en los quesos de pasta hilada que los contajes de *Staphylococcus* spp estén comprendidos entre 10^2 y 10^3 UFC/g (límite máximo permitido 1×10^3 UFC/g). Mientras que los resultados obtenidos aquí se ubicaron por encima de ese rango.

La alta carga de bacterias *Staphylococcus* spp en los quesos tipo guayanés comerciales analizados en esta investigación son esperables debido a la modalidad artesanal de su fabricación, con leche cruda, no sometida a ningún método de higienización y en contacto directo, a través de las manos, entre el quesero y el producto (el ser humano es un reservorio importante, en manos y mucosa, de este grupo bacteriano).

Tabla 2. Cuantificación microbiológica (UFC/g) de quesos blancos artesanales tipo guayanés en centros de comercialización en Maracay.

<i>Parámetros estadísticos*</i>	<i>Mesófilos aerobios (UFC/g)</i>	<i>Coliformes totales (UFC/g)</i>	<i>Staphylococcus spp. (UFC/g)</i>
Media	2,27x10 ⁶	3,17x10 ³	1,66x10 ⁵
Desviación estándar	6,86x10 ⁶	4,89x10 ³	2,41x10 ⁵
Intervalo menor	1,06x10 ⁵	1,47x10 ³	8,25x10 ⁴
Intervalo mayor	4,63410 ⁶	4,86x10 ³	2,49x10 ⁵
Coefficiente de variación (%)	306,25	154,25	145,18
Error máximo admisible (%)	104,70	53,44	50,30
			8 coagulasa (+) de las 32 muestras

*Tamaño de la muestra n=32. Para el cálculo de los intervalos de confianza (Ecuación 3) se considera un tamaño de muestra grande, ya que n>30, además la varianza poblacional es desconocida, y tomando en cuenta el teorema del límite central, los valores de los intervalos están en función de un $\alpha=0,05$ y un $Z_{\alpha/2} = 1,96$, con el error máximo admisible (e) = $Z(\alpha/2)(S/\sqrt{n})$ (Ecuación 2). El coeficiente de variación se calculó con la ecuación 1 y el error máximo admisible o e% (Ecuación 4).

Evaluación sensorial y tiempo de vida útil

La figura 1 muestra los porcentajes de aceptación del queso guayanés almacenado por 14 días a temperatura de refrigeración de 10°C. Se observó que tal porcentaje fue disminuyendo a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento.

Aplicando la ecuación de regresión lineal presentada en la figura 1, según ecuación 6, se observa que a los 0 y 7 días (168 horas) los porcentajes de aceptación fueron de 96 y 67%, respectivamente.

Para el día 14 (336 horas) el porcentaje de aceptación fue de 37%, significativamente menor, comparado con los de 0 y 7 días de almacenamiento. Si el porcentaje mínimo de aceptación fue de 61% (A_f), sabiendo además que el porcentaje inicial de aceptación fue de 97% (A_0) y la constante de velocidad ($k=0,1786 \text{ h}^{-1}$), aplicando la ecuación 7, se tiene que el tiempo de

vida útil del queso guayanés almacenado a 10°C es de 8 días. Probablemente la reducción del porcentaje de aceptación se deba al incremento de la acidez (0,71%) y reducción del pH (4,67), alcanzado a los 14 días de almacenamiento, comparado con una acidez inicial de 0,31% y un pH de 5,35. La alta acidez en los quesos está asociada a rechazo por parte del consumidor (Homsy y Maldonado, 2009).

CONCLUSIONES

El queso guayanés se caracterizó por ser de consistencia blanda, graso, con un esquema tecnológico no estandarizado y un tiempo de vida útil de 8 días de almacenamiento a 10°C.

Existen altos contajes de bacterias mesófilas aerobias, y no se cumplen las normas COVENIN-3822 (2003) para coliformes totales y *Staphylococcus* spp.

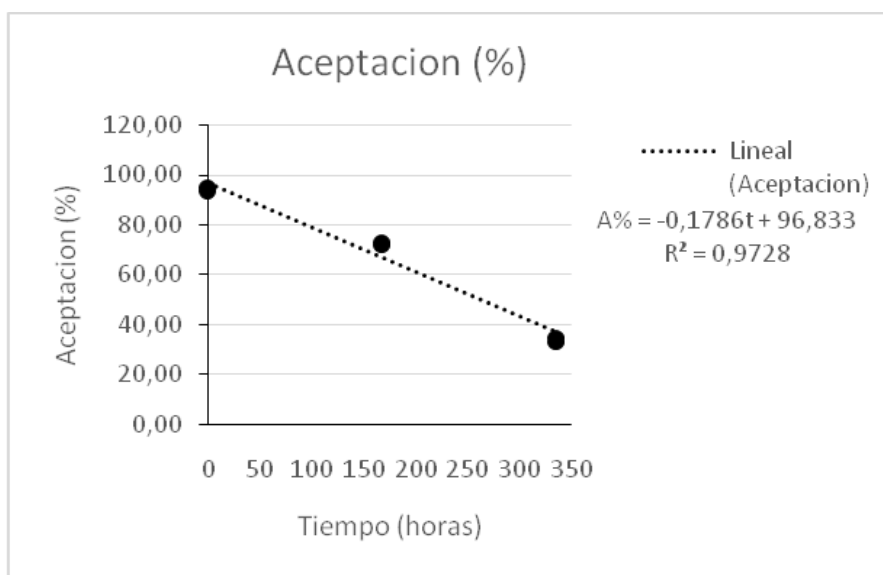


Figura 1. Porcentaje de muestras aceptadas en queso guayanés durante 14 días de almacenamiento a 10°C.

Es muy probable que exista una calidad deficiente de materia prima, equipos, manipulación y operarios, que pudieran contribuir con un peligro potencial de riesgo para la salud de los consumidores. Son necesarias las acciones correctivas por parte de los procesadores de queso guayanés y en la cadena de comercialización para estandarizar sus procesos con el fin de obtener un producto final con una composición química y microbiológica estable.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al CDCH-UCV, proyecto de grupo PG-01-7384-2008/1, por el aporte económico para la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

Alvarado-Rivas, C., Día-Rivero, C. (2007). Evaluación sanitaria de una cantina escolar. Revista de la Facultad de Farmacia, 49(1):17-23.

AOAC. 2002. Contaje de bacterias coliformes en Productos Lácteos. 17.3.03. Método 989.10.

Método de la lámina rehidratable Petrifilm. 2 p.

Bennet, R., Lancette, G. (1995). Staphylococcus aureus. In Bacteriological Analytical Manual. 8va. ed., CFSAN, College Park, MD, pp. 1-5.

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1981). Norma COVENIN: 1814-81. Quesos. Determinación de grasa. 11p.

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1982). Norma COVENIN: 1315-82. Alimentos. Determinación de pH. (Acidez iónica). 5p.

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1986). Norma COVENIN: 369-86. Leche y sus derivados. Determinación de cloruros. 17p.

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1987). Norma COVENIN: 902-87. Alimentos. Método para recuento de colonias de bacterias aerobias en placas de Petri. 4p.

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1989a). Norma COVENIN: 1126-89. Alimentos. Identificación y

- preparación de muestras para análisis microbiológico. 7p.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1989b). Norma COVENIN: 1292-89. Aislamiento y Recuento de *Staphylococcus aureus*. 13p.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1997a). Norma COVENIN: 370-97. Leche y sus derivados. Determinación de proteína. Método Kjeldahl. 6p.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1997b). Norma COVENIN: 658-97. Leche y sus derivados. Determinación de acidez. 5p.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1997c). Norma COVENIN: 1077-97. Leche y sus derivados. Determinación de humedad. 2da Rev. 5p.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (2000). Norma COVENIN: 1813-2000. Norma general de quesos. 5p.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (2003). Norma COVENIN: 3822-2003. Norma general de quesos de pasta hilada. 6p.
- Dindes, M., Orwin, P., Schliever, R. (2000). Exotoxins of *Staphylococcus aureus*. Clin. Microbiol. Rev. 13(8):16-34.
- Giannuzzi, I., Contreras, E., Zaritzky, N. (1999). Modeling the aerobic growth and decline of *Staphylococcus aureus* as affected by pH and potassium sorbate concentration. Journal of Food Protection 62(4):356-362.
- Herrera, M., Vargas, A., Moya, T., Yock, I. (2001). Sensibilidad antimicrobiana de 4015 cepas de *Staphylococcus* sp. 1995-2000. Rev. Méd. Hosp. Nac. Niños. 36(1-2).
- Homsí, W., Maldonado, R. (2009). Determinación de la capacidad inhibitoria de la nisina sobre la bacteria *Staphylococcus aureus* en el queso guayanés. Tesis de Maestría. Caracas, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, 154 p.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). (2000). Microorganismos indicadores. En: Microorganismos de los alimentos, Vol 1 Técnicas de análisis microbiológico. 2da.ed. Zaragoza, Acribia, pp. 3-15.
- Jeremiah, S., Timothy, G. (2004). Effect of pH and Calcium level on the biochemical, textural and functional properties of reduced-fat Mozzarella cheese. International Dairy Journal, 14:161-172.
- Lucey, J., Johnson, M., Horne, D. (2003). Invited review: perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. Journal of Dairy Science, 86:2725-2743.
- Ministerio de Sanidad y Desarrollo Social (MSDS). (2010). Epidemiología y Análisis Estratégico, Vigilancia epidemiológica, Unidad de respuesta inmediata. Disponible en: <http://www.msds.gob.ve/boletines/datosETA05.pdf>
- Miró, A., Ríos, M. (1999). Calidad microbiológica de los quesos blancos venezolanos, analizados en el Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel". Revista del Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel". 30:14-20.
- Oyón, R. (1981). Queso guayanés (queso blanco venezolano de pasta cocida). Descripción, elaboración y composición. Series misceláneos. CONICIT. Proyecto DDCT-TA-3. Maracay. 42 p.
- Sangronis, E., García, J. (2007). Efecto de la adición de nisina en los parámetros físicos, químicos y sensoriales del queso "telita". An. Venez. Nutr. 20 (1): 12-16.

TRANSFERENCIA DE INMUNOGLOBULINAS CALOSTRALES EN BÚFALOS (*Bubalus bubalis*)TRANSFER OF COLOSTRAL IMMUNOGLOBULINS IN BUFFALOS (*Bubalus bubalis*)**AUTOR:****Arellano, Eudi**

Departamento de Ingeniería de Producción Animal,
Universidad Nacional Experimental del Táchira
(UNET), San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela.

Corresponding Author:**earellano@unet.edu.ve**

Palabras clave: Calostro, inmunidad,
inmunoglobulinas, transferencia, búfalos.

Key words: Colostrum, immunity,
immunoglobulin, transfer, buffalos.

RESUMEN

Para calificar la transferencia pasiva de inmunidad en crías bufalinas se determinó la absorción de inmunoglobulinas calostrales. Se utilizaron 69 crías provenientes de seis unidades de producción ubicadas en la Zona Norte del Estado Táchira. Por cada animal se obtuvo, mediante venopunción yugular, dos tubos de ensayo con muestras de sangre a las 24 horas después del nacimiento y posterior consumo del primer calostro. Las pruebas utilizadas en la determinación de la transferencia pasiva de inmunidad fueron la precipitación de las inmunoglobulinas en el Test del Sulfito de Sodio (Na_2SO_3) y la medición de la actividad de la enzima Gamma Glutamyl Transferasa (GGT) por Cinética-Colorimétrica mediante un Fotómetro Clínico Omega 3. En ambos casos se utilizó el suero sanguíneo, por lo tanto, cada muestra recolectada fue centrifugada para retraer el coágulo. La calidad del calostro que consumieron los animales en estudio fue clasificada como superior en un 80,82% de los casos y el resto en moderada. Según el Test del Sulfito de Sodio la absorción de inmunoglobulinas fue adecuada en un 53,62% de las muestras, parcial en 26,09% y nula en un 20,29%. La GGT obtenida fue de $644,69 \pm 626,14$ U/L; el 21,73% de las lecturas obtenidas presentaron valores menores a 200 U/L indicando alteración en la transferencia de la inmunidad pasiva. Estos dos métodos arrojaron porcentajes similares en el caso de la transferencia pasiva de inmunidad inadecuada. Se obtuvo una correlación positiva ($P < 0,01$) entre la concentración de inmunoglobulinas en el calostro y las lecturas obtenidas en el Test del sulfito de sodio y el GGT. Los dos métodos utilizados permitieron calificar la transferencia de inmunoglobulinas calostrales en las crías bufalinas.

ABSTRACT

To qualify the passive transfer of immunity in buffalo pups, the absorption of colostral immunoglobulins was determined. 69 pups were used from six production units located in the North Zone of Táchira State. For each animal, two test tubes with blood samples at 24 hours after birth and subsequent consumption of the first colostrum were obtained by jugular venipuncture. The tests used in the determination of the passive immunity transfer were the precipitation of the immunoglobulin in the Sodium Sulfite Test (Na_2SO_3) and the measurement of the activity of the Gamma Glutamyl Transferase (GGT) enzyme by means of a Photometer-Colorimetric Clinical Omega 3. In both cases the blood serum was used, therefore each collected sample was centrifuged to retract the clot. The quality of the colostrum consumed by the animals under study was classified as superior in 80.82% of the cases and the rest in moderate. According to the Sodium Sulfite Test, immunoglobulin absorption was adequate in 53.62% of the samples, partial in 26.09% and null in 20.29%. The GGT obtained was 644.69 ± 626.14 U / L; 21.73% of the readings obtained presented values lower than 200 U / L indicating alteration in the passive immunity transfer. These two methods yielded similar percentages in the case of passive transfer of inadequate immunity. A positive correlation ($P < 0.01$) was obtained between the concentration of immunoglobulin in colostrum and the readings obtained in the sodium sulfite test and the GGT. The two methods used allowed qualifying the transfer of colostral immunoglobulin in the buffalo pups.

INTRODUCCIÓN

La cría de búfalos en Venezuela representa otra alternativa de producción de alimentos que cobra día a día mayor importancia. Esto se debe a su gran potencial genético para la producción de leche y adaptación en áreas marginales con suelos caracterizados por su baja fertilidad, mal drenaje y marcada estacionalidad en la precipitación, lo que conduce a que la productividad del vacuno se vea comprometida (Piedrahita *et al.*, 1994).

Los bovinos nacen con un sistema inmune incapaz de protegerlos durante sus primeros días de vida, por lo que dependen de la transferencia pasiva de inmunoglobulinas maternas presentes en el calostro. Estas entran al torrente sanguíneo a través del intestino y protegen al animal hasta que su sistema inmune llega a ser funcional (Rodríguez *et al.*, 2010).

Debido al tipo de placentación en la hembra bufalina que no permite el paso de anticuerpos de la madre al feto, los neonatos nacen bajo una condición de hipoinmunocompetencia, lo que origina un déficit en su respuesta inmune, situación que sólo puede corregirse con la transferencia de inmunidad natural pasiva a través del calostro (Aricada *et al.*, 2004).

Quiroz *et al.* (1998) afirmaron que una falla de la transferencia de inmunidad pasiva resulta en una hipogamaglobulinemia, la cual predispone a los animales a diversas infecciones, tales como la onfalitis, onfaloflebitis, artritis séptica, septicemia, neumonías y enteritis que cursan con diarrea. Las pérdidas económicas que se generan como consecuencia de la morbilidad y mortalidad de los animales son cuantiosas.

Por esta razón, es importante que se conozcan las características del calostro y las técnicas de administración de este para proveer una adecuada inmunidad a los becerros.

El tiempo que transcurre desde que la cría nace hasta que se le suministre el calostro es de vital importancia, ya que existe un período óptimo de absorción de inmunoglobulinas a través del

intestino delgado hacia el torrente sanguíneo. La permeabilidad es mayor las primeras horas de vida, siendo el período de más absorción las primeras 4 horas y disminuye al pasar el tiempo, dejando de funcionar a las 24 horas de vida (Aricada *et al.*, 2004).

Por lo anterior, las primeras horas en la crianza y desarrollo de la buchera son vitales en cualquier finca lechera por tratarse de los futuros reemplazos de las hembras en producción. Un adecuado manejo en esta fase no sólo garantiza la disminución de la morbilidad y mortalidad, sino que, además, permite economizar recursos erogados por tratamientos, pérdidas por falta de desarrollo y retraso de la producción, considerándose primordial lograr una búfala saludable y productiva. Lo esencial para alcanzar estos objetivos es lograr la adecuada transmisión de inmunidad a las crías.

Innumerables investigaciones con bovinos han demostrado la importancia de suministrar calostro y lograr una concentración apropiada de inmunoglobulinas (Igs) séricas en las crías recién nacidas, ya que los animales con bajas concentraciones de estos compuestos presentan una alta mortalidad, incidencia de diarreas y bajas ganancias de peso, lo que se traduce en un mayor tiempo para alcanzar la edad y el peso adecuado en la pubertad y, por ende, el parto; generando así pérdidas económicas por el mantenimiento de animales con atrasos para comenzar su ciclo productivo (Elizondo, 2007).

Según García *et al.* (2006) se han desarrollado diferentes formas de medir el estado de la transferencia de inmunidad pasiva en las terneras. La inmuno difusión radial y las pruebas ELISA, son los únicos análisis que miden directamente la concentración de inmunoglobulinas en el suero sanguíneo.

Considerando el impacto económico que tiene en la ganadería la falla en la transferencia de inmunidad pasiva que se produce debido a las altas tasas de mortalidad de las crías, los costos de tratamientos terapéuticos y retardo en el crecimiento, se llevó a cabo esta investigación

con el objetivo de evaluar la transferencia de inmunoglobulinas calostrales en crías bufalinas y, así, calificar su estado inmunológico.

MÉTODO

Para calificar la absorción de las inmunoglobulinas calostrales se utilizaron 69 crías bufalinas procedentes de tres fincas ubicadas en el municipio García de Hevia y tres en el municipio Panamericano del estado Táchira, Venezuela.

Las razas presentes fueron Murrah, Mediterráneo y animales producto de diferentes mestizajes entre estas dos. El rebaño de hembras estaba conformado por 432 búfalas en el predio de menor tamaño y por 1400 en el de mayor superficie, con una producción promedio de 1.260 litros en 258 días de lactancia.

La producción diaria por búfala se ubicó en los 4,9 litros, observándose valores de 6,2 litros/día/búfala en el único sistema de producción que suministraba alimento concentrado al momento del ordeño.

En todos los sistemas bufalinos muestreados el manejo brindado a los bucerros fue similar. Debido a que el ordeño era con apoyo de la cría, el animal mantenía contacto con la madre hasta el momento del destete. Por tanto, el consumo de calostro en sus primeros días de vida fue a voluntad por amamantamiento natural.

La calidad del calostro, según la concentración de inmunoglobulinas que consumieron las crías pertenecientes al estudio fue clasificada como superior en un 80,82% de los casos y en el 19,18% restante como moderada (Arellano *et al.* 2017).

Para determinar la transferencia de las inmunoglobulinas calostrales en las crías se utilizó muestras de sangre extraída a las 24 horas después del nacimiento, recolectando dos tubos de ensayo por cada animal.

Se utilizó la prueba del Test del sulfito de sodio (Na_2SO_3) descrita por García *et al.* (2006). Esta

prueba es efectiva y rápida, permite tamizar un elevado número de crías en un mínimo tiempo y con un equipo básico, lo cual hace posible su utilización en condiciones de campo. Se basa en la precipitación de las inmunoglobulinas del suero por las sales del sulfito de sodio, con una confiabilidad aproximada del 93%.

También se midió la actividad de la enzima gamma glutamiltransferasa (GGT), que es directamente proporcional a la concentración de inmunoglobulinas séricas absorbidas después de la ingestión del calostro.

Según Kraff y Dürr (2000) en terneros, corderos y cabritos la aparición de un considerable aumento de la actividad de la enzima gamma glutamiltransferasa depende de la ingestión de calostro en el período perinatal temprano (6 – 48 horas post nacimiento), puesto que el calostro es muy rico en gamma glutamiltransferasa. Esta particularidad permite utilizar la determinación de esta enzima para controlar indirectamente la ingestión de calostro en recién nacidos.

En ambos casos se utilizó el suero sanguíneo, por tanto, cada muestra recolectada fue centrifugada para retraer el coágulo. A continuación se describe el procedimiento empleado en cada una de las pruebas realizadas:

1.- Test de turbidez del sulfito de sodio (Na_2SO_3)

Se prepararon soluciones de sulfito de sodio en 3 concentraciones diferentes (P/V): 14%, 16% y 18% en 100 ml de agua destilada y se almacenaron en frascos oscuros a temperatura ambiente hasta finalizar la prueba.

Luego, se adicionó 0,1 ml de suero a 1,9 ml en cada una de las soluciones de sulfito de sodio contenidas en tubos de ensayo.

Después se agitaron para dejarlas en reposo en una gradilla durante una hora y a temperatura ambiente para permitir la precipitación. Las muestras se clasificaron negativas si no hubo precipitación y positivas si se presentó cualquier tipo de precipitado.

TRANSFERENCIA DE INMUNOGLOBULINAS EN BÚFALOS

Arellano, E.

La concentración de inmunoglobulinas y absorción de las mismas se estimó basada en los

resultados de precipitación como lo muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Concentración de inmunoglobulinas determinadas por el test de turbidez del sulfito de sodio.

Concentración sulfito de sodio			Concentración de inmunoglobulinas (mg/dL)	Interpretación
18%	16%	14%		
-	-	-	0	No absorción
+	-	-	< 500	No absorción
+	+	-	500 – 1500	Absorción parcial
+	+	+	> 1500	Absorción adecuada

(+): Precipitación visible (-): No precipitación

Fuente: García *et al.* (2006).

2.- Actividad de la enzima gamma glutamiltransferasa (GGT)

La actividad de la GGT se midió utilizando un Fotómetro Clínico Omega 3 y un kit comercial (INVELAB S.A.) para determinar GGT en suero por Cinética-Colorimétrica.

Para la prueba se mezcló 500 µl del reactivo del kit con 25 µl del suero a analizar e, inmediatamente, se realizó la lectura en el equipo bajo las siguientes instrucciones: Longitud de Onda, 405 nm, agua destilada como blanco, lectura del aumento de absorbancia cada 30 segundos, durante 2 minutos (4 lecturas).

El valor obtenido es la actividad de la GGT expresada en U/L.

Análisis estadístico

Las lecturas obtenidas en el test de turbidez del sulfito de sodio se analizaron mediante un estudio de frecuencia.

A los valores de la actividad de la GGT se les aplicó estadísticas descriptivas.

Se determinó, mediante el método de Pearson, la correlación existente entre la transferencia de inmunoglobulinas obtenida a través de las dos pruebas empleadas y la calidad del calostro que consumieron los animales evaluados.

Los análisis fueron realizados con el programa estadístico IBM SPSS Statistics, Versión 24.

RESULTADOS

La absorción de inmunoglobulinas calostrales en las crías bufalinas muestreadas después de 24 horas del nacimiento y posterior consumo del primer calostro, obtenida mediante el test del sulfito de sodio (Na_2SO_3), se presenta gráficamente en la Figura 1.

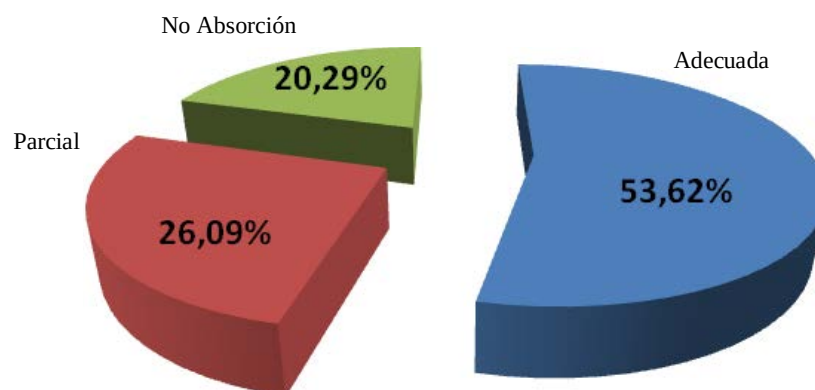


Figura 1. Absorción de inmunoglobulinas calostrales.

La actividad de la enzima gama glutamiltransferasa (GGT) presentó una media de 644,69 U/L, desviación estándar de 626,14 U/L, coeficiente de variación 97,12%, un valor mínimo de 32,50 U/L y máximo de 3500 U/L.

DISCUSIÓN

Según los resultados representados en la Figura 1 el 53,62% de las crías muestreadas lograron tener una absorción de inmunoglobulinas calostrales en forma adecuada. Sin embargo, resulta preocupante el alto porcentaje de animales que obtuvieron una absorción parcial o nula, a pesar de que la calidad del calostro fue clasificada entre moderada y superior. El escenario anterior permite inferir sobre fallas en el consumo adecuado de calostro en las primeras horas de vida. Guzmán (2012) obtuvo una situación más favorable cuando evaluó la transferencia de inmunoglobulinas en 25 becerros mediante la prueba de sulfito de sodio, en este caso 68 % presentaron una absorción adecuada, un 20 % de forma parcial y el 12 % restante no absorbió adecuadamente inmunoglobulinas calostrales.

Los valores de GGT obtenidos presentan un rango amplio ($644,69 \pm 626,14$ U/L) debido a la alta variabilidad de las lecturas obtenidas. Aricada *et al.* (2004) reportaron en lecturas de GGT realizadas a terneros holstein x cebú a las 24 horas después del consumo del primer calostro

valores de 918 ± 132 U/L y 852 ± 607 U/L, en sistemas de lechería especializada y tradicional, respectivamente. Los autores citados consideraron que valores inferiores a 200 U/L de GGT indican alteraciones en la transferencia de inmunidad pasiva en terneros, con un 80% de sensibilidad y un 97% de especificidad. Tomando en cuenta esta referencia, el 21,73% de las lecturas de GGT obtenidas en este ensayo se incluyen en la situación descrita. Igualmente, Cseh *et al.* (2008) evaluando la actividad de la gama glutamiltransferasa sérica para determinar si la misma es un buen indicador del grado de transferencia pasiva recibida por becerros a través de la ingestión de calostro, obtuvieron una actividad promedio de la gama glutamiltransferasa de $20,74 \pm 14,38$ U/l pre-calostro y 1298 ± 855 U/l 24 horas post ingestión de calostro.

Como era de esperarse se obtuvo una correlación positiva entre la concentración de inmunoglobulinas en el calostro y las lecturas obtenidas de la transferencia de estas en las crías evaluadas mediante las dos técnicas utilizadas. Los coeficientes de correlación obtenidos no fueron tan altos, ya que la cantidad de inmunoglobulinas que son transferidas no depende solamente de la concentración de estas en el calostro, sino de otros factores como el momento del primer consumo y de la cantidad ingerida en las primeras 12 horas.

CONCLUSIONES

Los dos métodos utilizados para determinar la transferencia de inmunoglobulinas calostrales arrojaron porcentajes similares en el caso de transferencia pasiva de inmunidad inadecuada.

Los resultados obtenidos demuestran que en las unidades de producción muestreadas existen prácticas de manejo inadecuadas en las primeras horas de vida del animal que inciden en casos de falla de transferencia de inmunidad pasiva.

AGRADECIMIENTO

El autor desea agradecer al Médico Veterinario Carlos Moreno e Ingeniero Jesús Contreras por la colaboración prestada.

REFERENCIAS

- Arellano, E., García, J. y Vivas, F. (2017). Calidad del calostro de búfalos (*Bubalus bubalis*) en la zona norte del estado Táchira, Venezuela. *Revista Científica UNET*, 29(1), 68-73.
- Aricada, H., Bedoya, R., Del Pilar, A., Heredia, C., Maldonado, A., Peláez, C. y Ceballos, A. (2004). Competencia inmunológica en la primera semana de vida en terneros mantenidos bajo dos sistemas de producción de leche. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 17(2), 167-172.
- Campos, R., Fairut, A., Loaiza, V y Giraldo, L. (2007). El calostro: herramienta para la cría de terneros. Trabajo de Investigación, Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ciencia Animal.
- Cáceres, B. y Elizondo, J. (2013). Transferencia de inmunidad pasiva en bucerras y bucerros y su influencia en la etapa de pre-destete. *Agron.Mesoam*, 24(2), 277-284.
- Cseh, S., Soler, J., Lloberas, M y Peralta, M. (2008). Evaluación de la actividad de la gama glutamiltransferasa sérica como predictor del grado de transferencia de inmunidad pasiva en terneros de tambo. *Rev. Med. Vet. (B. Aires)*, 89(6), 206-208.
- Elizondo, J. (2007). Importancia del calostro en la crianza de terneras. *Agron. Mesoam*, 18(2), 271-281.
- García, J., Albornoz, O y Vela, D. (2006). Determinación de inmunoglobulinas séricas de origen calostrales en terneros recién nacidos. *Boletín Técnico 6. Serie Zoológica* 2, 77-85.
- Guzmán, A. (2012). Efectos en la salud asociados con el fracaso de la transferencia de la inmunidad pasiva en becerros recién nacidos en Cajeme. Tesis de Grado. Instituto Tecnológico de Sonora, México.
- Kraff, W. y Dürr, U. (2000). Diagnóstico clínico de laboratorio en veterinaria. Editores Médicos, S.A. Madrid, España.
- Piedrahita, M., Hahn, M., Ojeda, A y Burguera, R. (1994). Caracterización de la producción del Búfalo (*Bubalus bubalis*) en Venezuela. I Cursillo de Búfalos. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias Veterinarias.
- Quiroz, G., Bouda, J., Medina, M., Núñez, L y Yabuta, A. (1998). Impacto de la administración y la calidad del calostro sobre los niveles de inmunoglobulinas séricas en becerros. *Veterinaria México* 29 (2), 15-21.
- Rodríguez Z, J., Noguera S, L. y Elizondo S, J. (2010). Manejo de las terneras recién nacidas para lograr una adecuada inmunidad pasiva. *Agron. Mesoam*, 21(1), 143-151.

SOCIO ECONÓMICO

ANÁLISIS FISIOLÓGICO DE LA TRANSICIÓN AERÓBICA-ANAERÓBICA APLICADO A PATINADORES DE CARRERAS POR MEDIO DEL TEST DE CAMPO TIVRE-PATÍN

PHYSIOLOGICAL ANALYSIS OF THE AEROBIC-ANAEROBIC TRANSITION APPLIED TORACING SKATERS THROUGH THE FIELD TEST TIVRE-SKATE

AUTORES:

Lozano, Rafael¹; Bustos-Viviescas, Brian²; Acevedo-Mindiola, Andrés³

¹Ph.D en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Docente de Planta de la Licenciatura en Educación Básica con Énfasis en Educación Física, Recreación y Deportes. Universidad de Pamplona. Colombia.

²Estudiante de la Licenciatura en Educación Básica con Énfasis en Educación Física, Recreación y Deportes. Universidad de Pamplona. Colombia.

³Licenciado en Educación Básica con Énfasis en Educación Física, Recreación y Deportes. Universidad de Pamplona. Colombia.

Corresponding Author:

rafaenloza@unipamplona.edu.co

Palabras clave: Test de campo, patinaje de carreras, transición aeróbica-anaeróbica, volumen máximo de oxígeno y perfil fisiológico.

Key words: Field test, in line Skate, aerobic-anaerobic transition, maximal oxygen consumption.

RESUMEN

El patinaje de carreras ha ido evolucionando año tras año y son escasos los estudios científicos que lo abordan, hecho por el cual se planteó conocer la transición aeróbica-anaeróbica con patinadores de carreras, ya que Colombia es potencia mundial en este deporte. La mayoría de test se hacen en el laboratorio y de una manera inespecífica, y por esto se creó un test específico de campo (TIVRE-Patín). El objetivo fue determinar el cambio de un metabolismo aeróbico hacia uno anaeróbico, para conseguir el punto de inflexión, de acuerdo a Conconi, y su capacidad máxima aeróbica expresada en el volumen máximo aeróbico durante el esfuerzo físico (VO₂ máx.), teniendo en cuenta que este es el único test de campo para conocer esos parámetros de una forma confiable, válida y reproducible. Desarrollado en la tesis doctoral de Lozano (2010), este protocolo de campo es continuo, maximal e interválico, y logra parámetros muy objetivos al momento de optimizar el rendimiento. En la investigación participaron seis hombres (edad 15,33±1,03 años; peso corporal de 66,50±4,23 kg y una talla de 174,50±3,94 cm) y seis mujeres (edad 15,33±2,66 años; peso corporal de 55,15±2,79 kg y una talla de 161,00±2,07 cm), pertenecientes a la preselección de Norte de Santander. A partir de los resultados del test fue posible evidenciar que el umbral anaeróbico de los hombres se ubicó en 95,38 % de la FC máx y el de las mujeres en 95,45%, y que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre géneros y especialidades (p>0,05). En consecuencia, se encontraron unos resultados muy favorables y relevantes para la optimización del rendimiento y planificación del entrenamiento deportivo.

ABSTRACT

Race Skating is an ancient sport that has evolved through the pass of the years, and there exists few scientific studies that dealt with it. That is the reason why it was raised this work to know aerobic anaerobic race skaters transition, since Colombia is one of the powerful countries in this sport. The majority of the test are in the laboratory and in a non-specific way, this created a specific field test (TIVRE-Skate), the objective was to determine the change of aerobic metabolism to one anaerobic, to achieve the tipping point of agreement to Conconi and its maximum aerobic capacity expressed in the aerobic maximum volume during physical exertion (VO₂ Max), taking into account that this test is the only field test to know these parameters in a reliable way, valid and reproducible, developed as in the doctoral thesis of Lozano (2010). This field protocol is continuous, maximum and interval, achieving objective parameters at the time of performance; In this research six men (age 15,33±1,03 years; body weight of 66,50±4,23 kg and a size of 174,50±3,94) and six women (age 15,33±2,66 years; body weight of 55,15±2,79 kg and a size of 161,00±2,07 cm) belonging to the North of Santander pre-selection took part. From the test results it was possible to demonstrate that anaerobic threshold of men stood at 95.38% of the maximum heart rate and 95.45% of the maximum heart rate in women, and that there was no statistically significant difference between genres and specialties (p>0, 05), consequently it was found relevant and very favorable results for the optimization of performance and planning of the sports training.

Recibido: 07/03/2018 Aprobado: 17/05/2018 Versión Final: 06/09/2018

INTRODUCCIÓN

Diversos investigadores concuerdan en que el patinaje de carreras es un deporte de gran crecimiento a nivel mundial pero que no hay suficientes estudios científicos aplicados al mismo (Lozano, 2009, 2010, 2016, 2017; Lozada, 2017; Lozada *et al.*, 2013).

Asimismo, cabe resaltar que dentro del control y seguimiento del entrenamiento indudablemente es necesario realizar evaluaciones físicas (Acevedo-Mindiola y Bustos-Viviescas, 2017) y, en el caso del patinaje de carreras como deporte de resistencia, es importante valorar el consumo máximo de oxígeno (VO₂ máx.) y la transición aeróbica-anaeróbica para tener un control más riguroso de las cargas a aplicar con el patinador (umbral anaeróbico) (Lozano, 2009, 2016, 2017).

Por lo expuesto, el objetivo del presente estudio fue analizar fisiológicamente la transición aeróbica-anaeróbica en patinadores de carreras por medio del test de campo TIVRE-Patín.

MÉTODO

Tipo de estudio

Investigación de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo, conformado por una muestra a conveniencia.

Este estudio es un resultado secundario del proyecto “Determinación de la capacidad aeróbica de los patinadores de la liga de Norte de Santander, por medio del test de campo TIVRE-PATÍN”.

Participantes

La muestra está conformada por seis hombres (edad 15,33±1,03 años; peso corporal de 66,50±4,23 kg y una talla de 174,50±3,94 cm) y seis mujeres (edad 15,33±2,66 años; peso corporal de 55,15±2,79 kg y una talla de 161,00±2,07 cm), pertenecientes a la preselección de Norte de Santander (Colombia).

Protocolo

El test aplicado fue el TIVRE-Patín (versión 1.0), el cual, según Lozano (2009), es un test interválico de cargas progresivas, que por medio de un software controla la velocidad de carrera impuesta al participante durante su aplicación. Para ello se ubica cada 50 metros un cono de referencia para llevar un control de la velocidad; inicia con una velocidad de 24 km/h y va incrementando 0,8 km/h por periodo; un periodo consiste en 4 vueltas al patinódromo, y entre periodo y periodo se da un lapso de 45 segundos.

Determinación del VO₂máx y el umbral anaeróbico

Para establecer el umbral anaeróbico del patinador se consideró la inflexión de la frecuencia cardíaca, como lo sugieren Conconi *et al.* (1982, 1996). No obstante, para estimar la frecuencia cardíaca máxima se aplicó la siguiente ecuación, propuesta por Tanaka *et al.* (2001):

FC máx: $208 - (0,70 * \text{edad})$

El VO₂máx se estimó de manera indirecta a través de una ecuación desarrollada específicamente para el test TIVRE-Patín.

Ecuación:

VO₂ máx: $(3,5 + (x / (t / 60))) * 0,15$

X: Distancia total en metros.

T: Tiempo total en segundos.

Nota: Para hombres 0,15 y para mujeres 0,165.

Instrumentos de recolección de datos

Pulsómetro: empleado para registrar la frecuencia cardíaca en reposo y la frecuencia cardíaca inicial y final del deportista por cada periodo, así mismo en post esfuerzo.

Software TIVRE-Patín (Versión 1.0): utilizado para controlar la velocidad de carrera por cada periodo; además, para determinar el tiempo total empleado en realizar el test de campo.

Análisis estadístico

La tabulación y análisis de los datos obtenidos se realizó en el paquete estadístico PSPP para Windows 7 (licencia libre). Se determinaron las medias y desviaciones típicas, y se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar los resultados por género y especialidad del deportista.

Normas éticas

Todos los participantes fueron informados del objetivo del estudio y diligenciaron un

consentimiento informado. Además, el estudio fue aprobado por el comité de Ética e Impacto Ambiental de Investigación de la Universidad de Pamplona, por medio del acta N° 009 del 28 de agosto de 2017.

RESULTADOS

En la tabla 1, se presentan las características generales de los participantes masculinos, y en la tabla 2, las de las mujeres.

Tabla 1. Características generales de los hombres.

Hombres (6)	Especialidad	Edad (años)	Peso (kg)	Talla (cm)	Fcardíaca Reposo (ppm)
Sujeto 1	Velocista	15	62,3	178	66
Sujeto 2	Velocista	15	69,4	175	74
Sujeto 3	Fondista	16	67,4	171	64
Sujeto 4	Fondista	14	66,5	180	96
Sujeto 5	Fondista	15	72,3	170	93
Sujeto 6	Fondista	17	61,1	173	91
	Media	15,33	66,50	174,50	80,67
	DE	1,03	4,23	3,94	14,36

Tabla 2. Características generales de las mujeres.

Mujeres (6)	Especialidad	Edad (años)	Peso (kg)	Talla (cm)	Fcardíaca Reposo (ppm)
Sujeto 1	Velocista	20	57,4	157	53
Sujeto 2	Velocista	16	56,7	160	84
Sujeto 3	Fondista	16	58,4	166	91
Sujeto 4	Fondista	14	52,5	160	86
Sujeto 5	Fondista	13	51,5	161	111
Sujeto 6	Fondista	13	54,4	162	92
	Media	15,33	55,15	161,00	86,17
	DE	2,66	2,79	2,97	18,86

PERFIL FISIOLÓGICO PATINADORES DE CARRERAS

Lozano, R.; Bustos-Viviescas, B.; Acevedo-Mindiola, A.

Es posible evidenciar los resultados del VO₂máx, frecuencia cardiaca del umbral anaeróbico (FC UA), frecuencia cardiaca máxima (FC máx), velocidad máxima en km/h y m/s en hombres en la tabla 3, y en mujeres en la tabla 4. El umbral anaeróbico de los hombres se ubicó en 95,38% de la FC máx y el de las mujeres en 95,45 %.

Por otra parte, en la tabla 5 es posible identificar que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las medias del VO₂ máx, frecuencia cardiaca del umbral anaeróbico (FC UA), frecuencia cardiaca máxima (FC máx) y velocidad máxima en km/h y m/s, al comparar por género y modalidad ($p>0,05$).

Tabla 3. Test TIVRE-Patín en hombres.

Hombres (6)	Especialidad	Vo ₂ máx (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	FC UA (ppm)	FC máx (ppm)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad máxima (m/s)
Sujeto 1	Velocista	57,72	191,00	201,00	39,20	10,89
Sujeto 2	Velocista	58,19	187,00	193,00	40,00	11,11
Sujeto 3	Fondista	57,82	185,00	198,00	39,20	10,89
Sujeto 4	Fondista	56,79	186,00	192,00	37,60	10,44
Sujeto 5	Fondista	57,77	186,00	196,00	39,20	10,89
Sujeto 6	Fondista	62,85	182,00	189,00	42,40	11,78
	Media	58,52	186,17	194,83	39,60	11,00
	DE	1,03	4,23	3,94	14,36	0,44

Tabla 4. Test TIVRE-Patín en mujeres.

Mujeres (6)	Especialidad	Vo ₂ máx (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	FC UA (ppm)	FC máx (ppm)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad máxima (m/s)
Sujeto 1	Velocista	59,52	188,00	196,00	41,60	11,56
Sujeto 2	Velocista	56,78	192,00	201,00	36,80	10,22
Sujeto 3	Fondista	55,99	184,00	189,00	38,40	10,67
Sujeto 4	Fondista	60,83	190,00	203,00	36,80	10,22
Sujeto 5	Fondista	57,15	196,00	210,00	37,60	10,44
Sujeto 6	Fondista	56,24	183,00	190,00	36,80	10,22
	Media	57,75	188,83	198,17	38,00	10,56
	DE	1,96	4,92	8,08	1,88	0,52

Tabla 5. ANOVA

ANOVA	Vo2màx (ml·kg·min)	FC UA (ppm)	FC màx (ppm)	Velocidad màxima (km/h)	Velocidad màxima (m/s)
Hombres-Mujeres	0,53	0,28	0,39	0,14	0,14
Hombres Velocistas- Mujeres Velocistas	0,90	0,76	0,78	0,88	0,89
Hombres Fondistas- Mujeres Fondistas	0,51	0,31	0,47	0,09	0,09
Hombres Velocistas- Hombres Fondistas	0,70	0,09	0,45	1,00	1,00
Mujeres Velocistas- Mujeres Fondistas	0,77	0,73	0,95	0,32	0,32

DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue analizar fisiológicamente la transición aeróbica-anaeróbica en patinadores de carreras por medio del test de campo TIVRE-Patín. Entre los principales hallazgos se pudo evidenciar que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre géneros y especialidades ($p>0,05$).

Entre los escasos estudios realizados con el test TIVRE-Patín se encuentra el aplicado por Lozano (2009) a 30 patinadores masculinos de una edad de $18,18 \pm 0,34$ años; obtuvo resultados similares en el VO2 máx ($55,52 \pm 1,20$ ml. kg. min) y FC máx ($194,86 \pm 0,99$ ppm), y la velocidad máxima alcanzada fue de $34,31 \pm 0,31$ km/h ($9,53 \pm 0,08$ m/s); no obstante, el umbral anaeróbico se ubicó en 91,28% de la FC máx ($177,54 \pm 1,08$ ppm), por lo que con respecto a este estudio los patinadores masculinos obtuvieron un umbral anaeróbico más alto y consecuentemente su transición aeróbica-anaeróbica se ubica en niveles más altos de intensidad de la frecuencia cardiaca.

Igualmente en el año 2017 Lozano expuso los resultados de la selección de argentina en el test TIVRE-Patín, entre los cuales se destaca una FC máx promedio de 195,34 ppm, un umbral anaeróbico en $94,54 \pm 1,23\%$ de la FC máx, y un VO2 máx de $55,36 \pm 2,73$ ml/kg/min.

Por otra parte, Lozano *et al.* (2009), por medio de un test en ciclo ergómetro aplicado a patinadoras y patinadores, obtuvo una FC máx de $191,22 \pm 7,50$ ppm y $185,99 \pm 8,32$ ppm, VO2 máx de $50,29 \pm 2,59$ ml.kg.min y $56,54 \pm 5,47$ ml.kg.min y un umbral ubicado en $172,90 \pm 7,21$ ppm (90,58% FC máx) y $170,40 \pm 8,18$ ppm (86,73% FC máx) respectivamente, por lo que se pueden apreciar valores similares de FC máx; sin embargo, el umbral anaeróbico es inferior al obtenido en este estudio.

Recientemente, en otra investigación, Lozano (2016) obtuvo en una prueba sobre el ciclo ergómetro una FC máx en mujeres de $188,33 \pm 7,2$ ppm y en hombres de $196,75 \pm 8,42$ ppm, y el umbral anaeróbico se ubicó en 88% en la muestra del estudio.

Por otra parte, Lozano *et al.* (2011) sugieren que el controlar la frecuencia cardíaca (FC) y a su vez la velocidad de carrera es importante para optimizar el rendimiento; esto principalmente se debe a que el controlar la velocidad de carrera del patinador asociada al umbral anaeróbico permitirá dosificar las diferentes cargas en el terreno competitivo, y de esta manera aplicar un trabajo más específico.

Cabe resaltar que existe la postulación de una relación positiva entre la economía de carrera y el VO2 máx en atletas entrenados (Shaw *et al.*, 2015), por lo cual la capacidad aeróbica en el patinador es un factor determinante del

rendimiento, debido a que un mayor VO₂ máx está asociado a un mejor desempeño del componente aeróbico del patinador y de esta manera se optimiza la economía del movimiento técnico propio del deporte, y con ello se alcanzan velocidades más elevadas de carrera mientras se retrasa la aparición de fatiga.

Por otro lado, es fundamental seguir aplicando investigaciones que permitan caracterizar el perfil fisiológico del patinador. Consideramos que esto aportaría información importante a nivel funcional del deportista, para, a partir de esto, ejecutarla toma de decisiones en la preparación y planificación del entrenamiento (Lozada *et al.*, 2013).

Es importante destacar que las pruebas de laboratorio, además de complejas, son costosas y solo están disponibles en algunos laboratorios de función pulmonar (González y Rodríguez, 2016), por lo que es más objetivo el aplicar pruebas de campo en el patinaje de carreras, como es el caso del TIVRE-Patín.

CONCLUSIONES

El umbral anaeróbico de los patinadores de carrera de este estudio se encuentra alto en ambos géneros y modalidades, puesto que la transición aeróbica-anaeróbica fue respectivamente superior a la intensidad de la frecuencia cardíaca. Así mismo, hombres y mujeres de la modalidad fondo y velocidad obtuvieron valores similares en las variables del VO₂ máx, frecuencia cardíaca del umbral anaeróbico, frecuencia cardíaca máxima y velocidad máxima; por ende, los patinadores de este estudio presentan características fisiológicas semejantes.

Además, este estudio permite concluir que la FC máx, el umbral anaeróbico, VO₂máx y la velocidad máxima alcanzados en el test TIVRE-Patín por parte de los patinadores de la selección de Norte de Santander son similares a los de otros estudios, por lo que estos deportistas presentan un buen rendimiento asociado al máximo desempeño en competencia.

REFERENCIAS

- Acevedo-Mindiola, A. A., Bustos-Viviescas, B. J. (2017). *Correlación entre la flexibilidad de la musculatura isquiosural con la altura del salto vertical en jugadores de balonmano, selección del departamento Norte de Santander*. EDU-FÍSICA: Revista de Ciencias Aplicadas al Deporte, 9 (20), 109-120. Recuperado de <http://revistas.ut.edu.co/index.php/edufisica/article/view/1198/957>
- Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P. G., Droghetti, P., Codega, L. (1982). *Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners*. J. Appl. Physiol., 52 (4), 869-873.
- Conconi, F., Grazzi, G., Casoni, I., Guglielmini, C., Borsetto, C., Ballarin, E., Mazzoni, G., Patracchini, M., Manfredini, F. (1996). *The Conconi test: methodology after 12 years of application*. Int J Sports Med., 17 (7), 509-519. doi: <https://doi.org/10.1055/s-2007-972887>
- González Mangado, N., Rodríguez Nieto, M. J. (2016). *Prueba de la marcha de los 6 minutos*. Medicina Respiratoria, 9 (1), 15-22. Recuperado de: <http://www.neumologiaysalud.es/descargas/R9/R91-3.pdf>
- Lozada Medina, J. L. (2017). *La velocidad aeróbica máxima en el patinaje de carreras*. En: Coloquio Internacional Marabana AFIDE 2017.
- Lozada, J. L., Padilla, J. R., Torres, Y., Paredes, W. (2013). *Valoración de la potencia aeróbica por medio de test progresivos e incrementales en patinadoras de carreras categoría cadetes del estado Barinas*.

- Dimensión Deportiva, 6, 43-52. Recuperado de:
http://www.uideporte.edu.ve/WEB/pdf/revisita_6.pdf
- Lozano Zapata, R. E. (2009). *Evaluación de la calidad aeróbica del patinador de velocidad sobre ruedas, por medio de un test específico de campo*. Spagatta Magazine. Recuperado de:
http://afpyma.startlogic.com/pdf/articulos/mad/evaluacion_calidad_aerobica.pdf
- Lozano Zapata, R. E. (2010). *Test de campo (Tivre Patín) para valorar la calidad aeróbica del patinador sobre ruedas* (tesis doctoral). España: Universidad de León.
- Lozano Zapata, R. E. (2016). *Incidencia del estrés metabólico con patinadores de la liga de Norte de Santander*. En: VI Congreso Internacional de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Colombia: Universidad de Pamplona.
- Lozano Zapata, R. E. (2017). *Transición aeróbica-anaeróbica, con patinadores de la selección argentina con el test de campo Tivre-Patín*. En: III Congreso Internacional de Educación Física y Áreas Afines. Colombia: Universidad de los Llanos.
- Lozano Zapata, R. E., Villa, J. G., Morante, J. C. (2009). *Características fisiológicas del patinador de velocidad sobre ruedas, determinadas en un test de esfuerzo en el laboratorio*. Spagatta Magazine. Recuperado de:
http://afpyma.startlogic.com/pdf/articulos/mad/caracteristicas_fisicas_patinador_velocidad.pdf
- Lozano Zapata, R. E., Mariño Landazábal, N., Clavijo, N. O. (2011). *Determinación del umbral anaeróbico en jugadores profesionales de fútbol, a través de la frecuencia cardiaca*. Revista Digital EF Deportes, 16 (163). Recuperado de:
<http://www.efdeportes.com/efd163/umbral-anaerobico-en-jugadores-profesionales-de-futbol.htm>
- Shaw, A. J., Ingham, S. A., Atkinson, G., Folland, J. P. (2015). *The correlation between running economy and maximal oxygen uptake: cross-sectional and longitudinal relationships in highly trained distance runners*. PLoS ONE, 10 (4): e0123101.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123101>
- Tanaka, H., Monahan, K. G., Seals, D. S. (2001). *Age predicted maximal heart rate revisited*. J Am Coll Cardiol, 37 (1), 153-156.

LA WEBQUEST COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA EL DESARROLLO DE LAS BASES TEÓRICAS EN UN TRABAJO DE APLICACIÓN PROFESIONAL

THE WEBQUEST AS A DIDACTIC STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF THE THEORETICAL BASES IN A WORK OF PROFESSIONAL APPLICATION

AUTOR:

Ruíz, Yovanni

Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET). Venezuela. Programa de Investigación en Innovación y Calidad Educativa.

Corresponding Author:

yruizmorales@gmail.com

Palabras clave: Aprendizaje colaborativo, bases teóricas de un trabajo de aplicación profesional, educación superior, enseñanza basada en proyectos tutorados, WebQuest.

Key words: Collaborative learning, theoretical basis of a professional application work, higher education, teaching based on tutored projects, WebQuest.

RESUMEN

Este artículo describe el proceso de implantación de una WebQuest como estrategia didáctica para orientar a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Informática de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) en el desarrollo de las bases teóricas de su Trabajo de Aplicación Profesional, durante los semestres 2015-1 al 2017-1. La investigación se enmarca en el enfoque cuantitativo, nivel descriptivo. La estrategia se desarrolla virtual, desde Moodle, para propiciar el aprendizaje colaborativo y la Enseñanza Basada en Proyectos de Aprendizaje Tutorados. Participaron dos docentes y ciento sesenta estudiantes, quienes al finalizar el ciclo formativo respondieron un cuestionario con el propósito de valorar la utilidad didáctica de la WebQuest y conocer los aprendizajes adquiridos para el desarrollo de las bases teóricas. De acuerdo con sus percepciones, el 99% logró: a) reconocer la importancia del marco teórico referencial en una investigación, b) comprender las actividades que implica el desarrollo de las bases teóricas y c) construir un ensayo que presenta la fundamentación teórica de un objeto de estudio, siguiendo el estándar de la American Psychological Association. Esta estrategia puede convertirse en una buena práctica en el contexto universitario si la intención es integrar principios del aprendizaje colaborativo, la metodología de enseñanza por proyectos y la navegación Web.

ABSTRACT

This article describes the process of implementing a WebQuest as a didactic strategy to guide the students of the Computer Engineering career at the National Experimental University of Táchira (UNET) in the development of the theoretical bases of their Professional Application Work, during the semesters 2015-1 to 2017-1. The research is based on the quantitative approach, at a descriptive level. The strategy is developed virtually, on Moodle, to promote collaborative learning and Teaching Based on Tutored Learning Projects. Two professors and one hundred and sixty students participated. At the end of the training cycle, they answered a questionnaire with the purpose of evaluating the didactic usefulness of the WebQuest and knowing the acquired learning for the development of the theoretical bases. According to their perceptions, 99% managed to: a) recognize the importance of the referential theoretical framework in a research, b) understand the activities involved in the development of the theoretical bases, and c) build an essay that presents the theoretical foundation of an object of study, following the standard of the American Psychological Association. This strategy can become good practice in the university context, if the intention is to integrate principles of collaborative learning, the methodology of teaching by projects and web browsing.

INTRODUCCIÓN

El auge de Internet y la ampliación de las redes de comunicación han conducido a las universidades a plantear y replantear experiencias de enseñanza, aprendizaje y evaluación apoyadas de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Aprovechar las posibilidades que proporcionan las TIC y aproximarse a un paradigma centrado en el aprendizaje del estudiante está constituyendo un reto para los profesionales que ejercen la docencia en el ámbito universitario.

A este respecto, Collazos y Guerrero (2005), indican que “el uso de las nuevas tecnologías en el salón de clase abren extraordinarias posibilidades de realización de nuevos modelos pedagógicos tendientes a mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje” (p. 3). Las aplicaciones son variadas, dependen del contexto y de las intenciones que el profesorado quiera darle, van desde la elaboración de los materiales educativos hasta el diseño e implantación de estrategias didácticas con apoyo de las TIC, donde los estudiantes adquieren un mayor protagonismo, intervención y control en su proceso de aprendizaje.

Precisamente, el objeto de estudio de este trabajo se centra en la implantación de una estrategia didáctica, dirigida a los tesisistas y pasantes de la carrera de Ingeniería Informática de la UNET, para el desarrollo de las bases teóricas del Trabajo Especial de Grado o Trabajo de Pasantías Profesionales. Es relevante, para este trabajo, las posibilidades que ofrece las TIC en dos aspectos: a) los motores de búsqueda permiten la indagación de información para la contextualización de un problema de investigación científica; y b) un Sistema de Gestión de Aprendizaje (en este caso Moodle) facilita la planificación, diseño, puesta en marcha y evaluación de estrategias didácticas en el marco de la Enseñanza Basada en Proyectos de Aprendizaje Tutorados y la mediación virtual.

La Enseñanza Basada en Proyectos de Aprendizaje Tutorados se define como una

propuesta docente diseñada para el desarrollo del aprendizaje autónomo de los estudiantes, bajo el acompañamiento del profesorado. Básicamente, la responsabilidad del aprendizaje recae en el estudiante, él es el protagonista de su propio proceso de aprendizaje, adopta un estilo de aprendizaje más activo y reflexivo cuya meta es la realización y evaluación de una tarea o proyecto específico que requiere la aplicación de conocimientos previos, habilidades de búsqueda, selección, organización y análisis de la información (Gil Flores *et al.*, 2005; Gutiérrez Tapias, 2010; Manrique Arribas *et al.*, 2010; Barba, Martínez Scott y Torrego Egido, 2010; Martínez-Mínguez, 2016).

Otro aspecto vertebrador de este trabajo es el aprendizaje colaborativo, que de acuerdo con Biggs (2005) y Cabero y Román (2006) la realización colaborativa de proyectos tutorados potencia la construcción del conocimiento. Desde la perspectiva de Ruiz Morales (2013) la metodología del aprendizaje colaborativo “Constituye un paradigma del proceso de enseñanza y aprendizaje que demanda una participación activa del estudiante, es fundamental que los estudiantes desarrollen autonomía para dirigir sus aprendizajes, es decir, competencias para aprender y desarrollarse en las facetas de la vida” (p. 78).

Actualmente en el Plan de Estudios de la carrera de Ingeniería Informática de la UNET, noveno semestre, se encuentra la asignatura Metodología de la Investigación, la cual tiene como alcance el desarrollo de competencias investigativas que contribuyen a la realización del Trabajo de Aplicación Profesional (TAP) en las modalidades de proyecto especial de grado y de pasantías profesionales.

Los contenidos de esta asignatura comprenden: a) selección del tema de investigación, b) planteamiento de un problema, c) selección del método y d) elaboración de un plan de trabajo para el desarrollo del proyecto. Independientemente de que el estudiante opte por una u otra modalidad del TAP, es necesaria la conformación de un aparato teórico que

fundamente el objeto de estudio, defina los conceptos implícitos y el enfoque o perspectiva desde el cual desarrolla el proyecto especial de grado o el trabajo de pasantías profesionales.

Durante los semestres 2015-1 al 2017-1, el autor de este trabajo ha observado que cuando los estudiantes se enfrentan al desarrollo del marco teórico referencial para exponer el enfoque teórico y los antecedentes de investigación pertinentes a su objeto de estudio, pareciera que le dan poca importancia al marco teórico referencial, suele ser repeticiones de trabajos ya presentados por otros estudiantes en contextos y situaciones distintas; también se evidencia desvinculación entre la base teórica, el problema objeto de investigación y los objetivos que orientan el desarrollo del trabajo e, incluso, bases teóricas que consisten en una recopilación de autores, sin un análisis crítico y sin un marco conceptual contextualizado. De igual forma, se observa que a los estudiantes se les dificulta hacer uso de las citas textuales y parafraseadas como parte de la sustentación teórica del objeto de estudio.

Esta situación pudiera deberse al empleo de estrategias didácticas tradicionales por parte de los docentes que orientan la asignatura, como la clase expositiva, los trabajos prácticos en grupos y el uso de diapositivas.

Con el fin de disminuir esta situación y, a su vez, promover aprendizajes significativos en los estudiantes apoyado en las TIC, en el marco de un proceso de Enseñanza Basada en Proyectos de Aprendizaje Tutorados, se propone una innovación docente consistente en la planificación, diseño, implementación y evaluación de una WebQuest como estrategia didáctica que le permita a los tesisistas y pasantes de la carrera de Ingeniería Informática de la UNET, desarrollar la fundamentación teórica de su trabajo especial de grado o trabajo de pasantías profesionales, según sea el caso, a través de la comprensión de las actividades que se deben realizar para revisar y analizar la literatura pertinente a un problema de investigación científica, y la adopción de una teoría o desarrollo de una perspectiva teórica, así

como también el conocimiento y aplicación de los aspectos formales en la elaboración de citas que permitan fundamentar, argumentar, comprender y contextualizar el problema o situación de estudio.

En este contexto, conviene aclarar que el concepto de WebQuest fue introducido por Dodge (1995) quien la define como una actividad orientada para la investigación a través de recursos provenientes de Internet. Por su parte, Bernabé (2008) la define como una actividad didáctica que propone una tarea factible para los estudiantes. Dicha tarea se realiza en colaboración, mediante: búsqueda de información, análisis, síntesis, comprensión, transformación, creación y valoración. La WebQuest está concebida como una estrategia bajo presupuestos constructivistas del aprendizaje y se basa en técnicas de trabajo por proyectos en equipo y en la investigación. Su principal objetivo es implicar a los estudiantes en la búsqueda de soluciones a cuestiones planteadas sobre una temática concreta propuesta por el docente (Gómez *et al.*, 2010).

En cuanto a su estructura, la WebQuest se compone de: *Introducción, Tarea, Proceso, Recursos y Evaluación*. Consisten en: 1. Introducción: información al estudiante sobre la importancia del tema y objetivos de aprendizaje. 2. Tarea: descripción de las actividades de aprendizaje. 3. Proceso: descripción de los pasos a seguir para realizar las actividades. 4. Recursos: selección de los recursos electrónicos que se van a utilizar. 5. Evaluación: información sobre cómo se realizará el proceso de evaluación del aprendizaje.

MÉTODO

La investigación se ubica en el enfoque cuantitativo, de tipo descriptiva, que consiste en la descripción de un fenómeno para plantear una solución (Hernández Sampieri *et al.*, 2006). El diseño es no experimental, se recolectan datos en ambiente natural, sin manipulación de variables y mediante la técnica de la encuesta (Ramírez, 2006).

Población y muestra

La población está conformada por 160 estudiantes de la Carrera de Ingeniería Informática, noveno semestre, asignatura

Metodología de la Investigación y 2 profesores que orientan dicha asignatura. En la Tabla 1 se especifica el número de estudiantes que participan.

Tabla 1: Distribución de la población que conforma el estudio. Semestres 2015-1 al 2017-1.

Semestre	Nº de estudiantes	Nº de mujeres	Nº de hombres
2015-1	60	20	40
2016-1	50	20	30
2017-1	50	20	30
Total	160	60	100

Para efectos metodológicos, por tratarse de un número reducido de unidades de análisis, se realiza un muestreo censal a la población indicada. Es decir, se trabaja con los ciento sesenta estudiantes, de los cuales el 37,50% son mujeres y 62,50% hombres.

Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La técnica empleada es la encuesta, el instrumento un cuestionario dirigido a los estudiantes con el propósito de valorar la utilidad didáctica de la WebQuest y conocer los aprendizajes adquiridos para la escritura de las bases teóricas. El cuestionario queda constituido por diez preguntas sujetas a tres opciones de respuesta, para seleccionar solo una de ellas. Se indaga sobre los siguientes aspectos: a) claridad de los objetivos de la experiencia virtual, b) organización de la estrategia didáctica, c) calidad de los recursos para el aprendizaje, d) calidad de la participación de los estudiantes, e) cantidad y calidad de las actividades para promover el aprendizaje y f) calidad de la retroalimentación realizada por los docentes.

Procedimiento

Para el diseño metodológico de la WebQuest, se sigue el procedimiento del Modelo ASSURE: a) análisis de los estudiantes, b) formulación de objetivos, c) selección de métodos, medios y materiales; d) uso de medios y materiales, e)

participación de los estudiantes y f) evaluación. Este modelo se utiliza como guía de procedimientos para planificar y conducir de forma sistemática un ambiente de aprendizaje (Heinich *et al.*, 2002).

Fase I. Análisis de los estudiantes: Se realiza un diagnóstico para la caracterización de los estudiantes que forman la muestra de estudio. En cuanto a las características generales de los estudiantes, se tiene que sus edades oscilan entre 20 y 24 años y en el noveno semestre han cursado entre 115 y 120 unidades crédito. Poseen competencias formativas relacionadas con la planificación, diseño, construcción, prueba e implantación de Sistemas Informáticos y Multimedia, así como también para el manejo y uso de recursos didácticos instruccionales. Como requisito obligatorio para optar al título de ingeniero se encuentra la realización del TAP.

Fase II. Formulación de objetivos: Se plantea una introducción a la estrategia didáctica y los objetivos de aprendizaje. Esta fase corresponde al componente de la WebQuest denominado *Introducción*. Concretamente, la introducción y los objetivos de la WebQuest se presentan de la siguiente manera:

“Cuando se realiza una investigación es importante sustentar teóricamente el estudio, es decir, consultar fuentes especializadas que le permitan al investigador ubicar dentro de un contexto teórico el problema a resolver y que apoye el desarrollo de los objetivos propuestos. La elaboración del marco teórico

referencial es una tarea sencilla y fácil de realizar si desde el comienzo de su abordaje se hace de manera ordenada y analítica, para ello existe en el aula virtual material de apoyo y un conjunto de recursos que van a facilitar el trabajo. Esta WebQuest tiene los siguientes objetivos de aprendizaje: 1. Comprender las fases implicadas en la realización de las bases teóricas del Trabajo de Aplicación Profesional. 2. Desarrollar un ensayo preliminar de

las bases teóricas del Trabajo de Aplicación Profesional”

Fase III. Selección de métodos, medios y materiales: Se identifican los recursos disponibles para el aprendizaje, los cuales se sintetizan en los Cuadros 1 y 2. Esta fase corresponde al componente de la WebQuest denominado Recursos.

Cuadro 1: Medios para la producción de la estrategia didáctica.

Plataforma Moodle: UNET Virtual
-Programa de escritorio: Microsoft Word, Microsoft Power Point
-Otros programas: Corel draw.

Cuadro 2: Materiales y su ubicación

e-Libro “El proceso de investigación”, de Sabino (1992). Es un clásico para la comprensión de los fundamentos de un proceso de investigación científica. URL:http://paginas.ufm.edu/sabino/word/proceso_investigacion.pdf

e-Libro “Cómo hacer una tesis”, de Sabino (1994). Representa un clásico que orienta de manera sencilla el desarrollo de un trabajo de investigación. URL:http://www.catedranaranja.com.ar/taller5/notas_T5/Como_hacer_una%20tesis-Sabino.pdf

Documento sobre “¿Qué es un marco teórico?”, de Daros (2002). URL: <http://www.redalyc.org/pdf/259/25914108.pdf>

Formato “Inventario de Bases Teóricas”: Ubicación: Aula virtual del curso de Metodología de la Investigación, semestres 2015-1 al 2017-1. Es autoría del autor de la investigación.

Documento sobre “Cómo se elabora un ensayo”, de Díaz Herrera (2004). URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2972010>

Documento “Orientaciones didácticas para la organización y desarrollo del discurso escrito de la base teórica”. Ubicación: Aula virtual del curso de Metodología de la Investigación, semestres 2015-1 al 2017-1. Es autoría del autor de la investigación.

Guía a la redacción en el estilo American Psychological Association (6ta edición), compilado por Zavala Trias (2012)URL: <http://148.202.167.116:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1401/Gu%C3%ADa%20a%20la%20redacci%C3%B3n%20en%20el%20estilo%20APA%2c%206ta%20edici%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fase IV. Uso de medios y materiales: Se describe la utilidad de los medios y materiales disponibles para el aprendizaje, lo cual se

sintetiza en el Cuadro 3. Esta fase corresponde a los componentes de la WebQuest denominados *Tarea y Proceso*, respectivamente.

Cuadro 3: Uso pedagógico de los medios y materiales.

	Identificación	Uso
Medios	Plataforma Moodle: UNET Virtual	Producción de la estrategia didáctica basada en WebQuest, comunicación y trabajo colaborativo.
	-eLibro “El proceso de investigación” -eLibro “Cómo hacer una tesis” -Documento digital ¿Qué es un marco teórico?	Fundamentación teórica para la participación en el foro electrónico “Importancia de las bases teóricas de un trabajo de investigación.
	Portal educativo Educar.org	Orientaciones básicas para la elaboración de mapas conceptuales.
	Software Inspiration	Construcción de mapas conceptuales.
Materiales	Formato “Inventario de Bases Teóricas”, para registrar las fuentes de información consultadas (libros, revistas, periódicos, reportes técnicos, trabajos de investigación, reseñas, boletines, repositorios, base de datos especializadas, entre otros).	Sistematización de los títulos, subtítulos y contenidos generales de la base teórica.
	Documento digital “Cómo se elabora un ensayo”.	Orientaciones para la elaboración del ensayo de las bases teóricas, siguiendo recomendaciones sobre el discurso escrito.
	Documento digital “Orientaciones didácticas para la organización y desarrollo del discurso escrito de la base teórica”.	Orientaciones básicas para la organización de la base teórica que sustenta los objetivos planteados en el proyecto.
	Normas de la American Psychological Association	Orientaciones para la elaboración de citas textuales y parafraseadas.

Fase V. Participación de los estudiantes: Se desglosan las actividades de aprendizaje que realizan los estudiantes para alcanzar los objetivos planteados en la Fase II. Esta fase, al

igual que la anterior, corresponde a los componentes de la WebQuest denominados *Tarea y Proceso*, respectivamente. En el Cuadro 4 se describen las actividades de aprendizaje.

Cuadro 4: Actividades de aprendizaje.

Objetivo	Actividades
1. Comprender las fases implicadas en la realización de las bases teóricas del TAP.	-Participación en el foro electrónico “ Importancia del marco teórico referencial en un proceso de investigación ” dando los aportes individuales que enriquezcan el aprendizaje propio y de los compañeros. -Elaboración de un mapa conceptual , en equipo, explicando las fases para la construcción de las bases teóricas de un trabajo de investigación.
2. Desarrollar un ensayo preliminar de las bases teóricas del TAP.	-Elaboración en equipo de un inventario de fuentes impresas y electrónicas. -Redacción de un ensayo de las bases teóricas que sustentan el TAP.

Fase VI. Evaluación: Se define el procedimiento para la evaluación del aprendizaje, corresponde al componente de la WebQuest denominado *Evaluación*. Se realiza en dos dimensiones: la primera, relacionada con el progreso de los estudiantes, haciendo uso de la evaluación formativa y sumativa. La segunda

dimensión vinculada con la valoración de la utilidad didáctica de la WebQuest, de acuerdo con la percepción de los estudiantes. En el Cuadro 5 se presentan los indicadores que utilizan los docentes para la evaluación del aprendizaje.

Cuadro 5: Evaluación del aprendizaje.

Actividad de aprendizaje	Indicadores de evaluación
Participación en el foro electrónico <i>“Importancia del marco teórico referencial en un proceso de investigación”</i> (actividad individual).	Aportes significativos, cantidad de participaciones y puntualidad en la participación.
Elaboración de un <i>mapa conceptual</i> explicando las fases para la construcción de las bases teóricas de un trabajo de investigación (actividad en equipo de tres miembros).	Secuencia lógica de conceptos, calidad de los conceptos, uso de palabras apropiadas, capacidad de síntesis, presentación y responsabilidad en la entrega.
Elaboración de un <i>inventario de fuentes</i> impresas y electrónicas (actividad individual).	Correspondencia del inventario con los objetivos de la investigación, variedad de fuentes y responsabilidad en la entrega.
Redacción de un <i>ensayo de las bases teóricas</i> que sustentan el TAP (actividad individual).	Secuencia de ideas, respeto a las ideas de otros, aplicación correcta de las Normas APA, ideas originales, ortografía y uso adecuado de signos de puntuación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los planteamientos sobre los cuales se indaga con la aplicación del cuestionario para valorar la WebQuest como estrategia didáctica en el desarrollo de las Bases Teóricas en un TAP, son: a) claridad de los objetivos de aprendizaje, b) aprendizaje adquirido, c) organización de la estrategia didáctica, d) calidad de los recursos, e) calidad de la retroalimentación docente, f) trabajo en equipo y g) interacción con los pares para alcanzar metas comunes.

De acuerdo con los resultados, el 97% de los estudiantes encuestados refieren que los dos objetivos de aprendizaje planteados en la experiencia virtual estaban claramente definidos. A su vez, el 100% de ellos califican entre *mu*y *adecuada* y *adecuada* la experiencia virtual, específicamente lo relacionado con la estructura de las partes que conforman una WebQuest (introducción, asignaciones, recursos, evaluación y conclusiones). Los estudiantes valoran significativamente la planificación de los contenidos, es decir, el procesamiento

pedagógico y formativo de los contenidos con la intención de lograr la apropiación del saber.

Con respecto al contenido de los materiales seleccionados por los docentes como recursos para la realización de las asignaciones planteadas, el 97% de los estudiantes coinciden al calificarlos como *excelente* y *bueno*, solo el 3% los ubican en la categoría de *regular*. Con estos porcentajes, se pudiera deducir que la selección de los contenidos fue acertada para promover la construcción del conocimiento sobre el tema objeto de estudio; los hallazgos obtenidos por Gros, García y Lara (2009) y Frey, Schmitt y Justin (2012) constatan la importancia de los contenidos para la consecución de metas de aprendizaje.

El 91% de los estudiantes indican estar de acuerdo con la participación activa de todos los compañeros en la elaboración del mapa conceptual. Todos los estudiantes lograron construir el mapa con las fases que implica la elaboración del marco teórico referencial, a través del trabajo colaborativo. Sólo el 9%

Ruiz, Yovanni

señala estar en *desacuerdo* y *muy en desacuerdo* con la participación de sus compañeros, pudiera atribuirse este porcentaje a competencias genéricas como el compromiso en la elaboración de la actividad y puntualidad en la entrega de la tarea.

Con respecto a la cantidad de asignaciones programadas durante la ejecución de la WebQuest, el 100% de los estudiantes considera que fueron *suficientes* y *aceptables*.

Para la dimensión participación en el foro electrónico, los estudiantes se autoevaluaron y el 86% la califica como *buena*. El 12% autoevalúa su participación como *regular*, y el 3% restante se ubica en la categoría *deficiente*. Al realizar evaluación de pares a la participación de sus compañeros, la ubican en la escala de *buena*, con un 99%. Al relacionar los hallazgos se tienen altos porcentajes, entre 86% y 99%, con lo cual se pudiera inferir aprendizaje mediante el intercambio de reflexiones, experiencias y conocimientos sobre la importancia de las bases teóricas en un trabajo de investigación. En este aspecto, la autoevaluación y evaluación de pares, sigue representando un recurso clave para la participación activa, reflexión y aprendizaje de los estudiantes; así lo demuestran los trabajos de Nicol (2010), Sánchez y Garcés (2011), Ruiz Morales (2013).

Cuando los estudiantes evalúan la calidad y oportunidad de la retroalimentación presentada por los docentes a las participaciones en el foro

electrónico, el 98% la califica como *buena*, para el 2% restante fue *regular*. Pareciera entonces que se cumplió con el papel de un tutor – mediador virtual, en cuanto a ofrecer feedback significativo y oportuno a través de la atención a cada estudiante y la entrega de información pertinente sobre sus participaciones y las actividades realizadas, con el fin de alcanzar los objetivos trazados al inicio de este trabajo y aspectos relacionados con la capacidad para comunicarse y relacionarse con sus pares, trabajar en equipo, aprender a aprender y a pensar.

La presentación visual de la WebQuest, es valorada por los estudiantes como *agradable*, el 98% de ellos lo confirma con sus respuestas; este aspecto es importante para la motivación, comunicación e interacción en la socio construcción del aprendizaje.

En síntesis, el 99% de los estudiantes señalan estar de acuerdo con que esta experiencia virtual contribuye en la elaboración del marco teórico del proyecto de investigación realizado.

Como evidencia del aprendizaje, se presenta en el Cuadro 6 algunos discursos contruidos por los estudiantes en el foro electrónico denominado “*Importancia del marco teórico referencial en un proceso de investigación*”.

Cuadro 6: Síntesis de los discursos contruidos por los estudiantes en el e-Foro.

Estudiante 1: “A la mayoría de nosotros el tema de las bases teóricas nos parece un tema algo aburrido y fastidioso, pero no nos damos cuenta que es una parte vital para el buen desarrollo de la investigación, ya que al fundamentar nuestro proceso de conocimiento en las lecturas y en las investigaciones hace más valadero nuestro trabajo”.

Estudiante 2: “El marco teórico en mi opinión es el sustento de toda investigación ya que allí parte la misma. Podemos establecer el límite de nuestra investigación y su desarrollo, lográndose gracias a una amplia y precisa información documental de investigaciones previas y teorías que abarquen del tema a investigar, brindando una orientación a la hora de organizar las ideas, hipótesis y variables de estudio... y lo ubica dentro de un enfoque teórico dando paso al diseño de investigación”.

CONCLUSIONES

1. El resultado de esta investigación lo constituye una propuesta didáctica contemporánea, apoyada en la tecnología, comprometida con la enseñanza y aprendizaje de la investigación en estudiantes universitarios, así como también con la cultura discursiva y la interpretación de contenidos científicos. La WebQuest está enmarcada en la concepción de la Enseñanza Basada en Proyectos de Aprendizaje Tutorados y el aprendizaje colaborativo, implantada en la UNET Virtual, dirigida a los estudiantes que cursan la asignatura Metodología de la Investigación de la Carrera de Ingeniería Informática. Puede ser replicada como experiencia didáctica en las demás Carreras que ofrece la Universidad, haciendo sus adaptaciones de acuerdo con las características y necesidades de los estudiantes e, incluso, de su perfil profesional.

2. En términos de aprendizaje, los estudiantes consiguen: a) reconocer la importancia de sustentar teóricamente el estudio; b) identificar y aplicar las fases necesarias para el desarrollo de las bases teóricas de un trabajo de investigación; c) elaborar un ensayo de las bases teóricas haciendo uso de citas y siguiendo el estándar de Normas APA y d) interactuar virtualmente para la realización de la ruta didáctica propuesta. En este sentido, se evidencia la importancia de haber atendido, intencionalmente, el desarrollo de las bases teóricas como parte de un proceso epistémico propio de un Trabajo de Aplicación Profesional.

3. El profesorado que incursione en el desarrollo de este tipo de estrategia didáctica debe realizar una planificación de los contenidos que se van a estudiar, esto es, precisar el objetivo de aprendizaje, seleccionar los contenidos y definir las tareas. También es importante la buena selección de los recursos que los estudiantes van a emplear para el desarrollo de las actividades. La selección debe ser atendiendo a tres criterios básicos: confiabilidad de la fuente, calidad del contenido y correspondencia con el tipo de estudiante al cual va dirigido. Es decir, como mencionan Ruiz Morales *et al.* (2017) es

fundamental un proceso didáctico -sistemático que contemple las metas educativas y los objetivos que deben ser alcanzados por los estudiantes, así como también las tareas, los medios, las herramientas y los recursos destinados para el aprendizaje en red.

4. El impacto social de este trabajo de investigación se argumenta en dos razones: a) la incorporación de las TIC en la práctica pedagógica como alternativa para generar procesos de enseñanza y aprendizaje que apunten al mejoramiento de la calidad de la educación y del efecto que están generando en la sociedad desde sus primeras experiencias con el desarrollo de un Trabajo de Aplicación Profesional, sustentado en marcos teóricos contextualizados y b) la referencia teórica y práctica que aporta esta innovación docente, en cuanto a diseño y ejecución de una estrategia didáctica apoyada en la tecnología, que puede ser replicada en el ámbito universitario. Esta segunda razón la explica Díaz (1999) cuando refiere la importancia de la didáctica universitaria para el desarrollo de la enseñanza como práctica asumida científicamente y con pertinencia social, es posible que sólo desde esta perspectiva pueda estar a tono con las exigencias de las transformaciones de la sociedad e incidir en la calidad de los profesionales egresados de la Educación Superior.

REFERENCIAS

- Barba, J. J., Martínez Scott, S. y Torrego Egidio, L. (2010). El proyecto de aprendizaje tutorado cooperativo: una experiencia en el grado de maestra de Educación Infantil. *Revista de Docencia Universitaria*, 10 (1), pp. 123-144.
- Bernabé, I. (2008). *Las WebQuests en el Espacio Europeo de Educación Superior. Desarrollo y evaluación de competencias con Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Universidad*. Castelló de la Plana: Universitat Jaume I, Tesis Doctoral.
- Biggs, J. (2005). *Calidad del aprendizaje universitario*. Madrid: Narcea.

Ruiz, Yovanni

- Cabero, J. y Román, P. (Coord.) (2006). *E-Actividades. Un referente básico para la formación en Internet*. Sevilla: Editorial MAD.
- Collazos, C. A. y Guerrero, L. A. (2005). *Diseño de software educativo*. Disponible en <https://www.dcc.uchile.cl/~luguerre/papers/CVEI-01.pdf>
- Daros, W. (2002). ¿Qué es un marco teórico? *Enfoques*, vol. XIV, núm. 1, pp. 73-112.
- Díaz, D. (1999). La didáctica universitaria: Referencia imprescindible para una enseñanza de calidad. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación de Profesorado*, 2(1). Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2795011>
- Díaz, D. (2004). Cómo se elabora un ensayo. *Acción Pedagógica*, 13(1), pp.108-113.
- Dodge, B. (1995). Web Quests: a technique for Internet-based learning. *Distance Educator*, 1(2), 10-13.
- Frey, B., Schmitt, V. y Justin P. (2012). Defining Authentic Classroom Assessment. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 17(2). Disponible en <http://pareonline.net/pdf/v17n2.pdf>.
- Gil, J., Álvarez, V. y García, E., Romero Rodríguez, S. (2004). *La Enseñanza Universitaria. Planificación y Desarrollo de la Docencia*. Madrid: EOS Universitaria.
- Gómez, M.A., Gallego, B. y Ibarra, Ma. S., Rodríguez, G. (2010). DiagWeb: Una experiencia de enseñanza basada en proyectos tutorados en Educación Superior mediante una WebQuest alojada en Moodle. *RED, Revista de Educación a Distancia*. Disponible en http://www.um.es/ead/red/24/Gomez_Gallego.pdf
- Gros, B., García, I. y Lara, P. (2009). El desarrollo de Herramientas de apoyo para el Trabajo Colaborativo en Entornos Virtuales de Aprendizaje. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 12(2). Disponible en <http://www.utpl.edu.ec/ried/images/pdfs/vol12N2/desarrolloherramientas.pdf>.
- Gutiérrez, M. (2010). Los Proyectos de Aprendizaje Tutorado en la formación universitaria dentro del Espacio Europeo. *Acción Pedagógica*, 12, pp. 4 -15.
- Heinich, R., Molenda, M., Russell, J. y Smaldino, S. (2002). *Instructional media and technology learning*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*, (4ª ed.). México: McGraw-Hill.
- Manrique, J. C., López, V. M., Monjas, R. y Real, F. (2010). El potencial de los proyectos de aprendizaje tutorado y los sistemas de evaluación formativa en la mejora de la autonomía del alumnado. Una experiencia interdisciplinar en formación inicial del profesorado. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, 14, pp. 39-57.
- Martínez-Mínguez, L. (2016). Proyectos de Aprendizaje Tutorados y autoevaluación de competencias profesionales en la formación inicial del profesorado. *Retos*, 29, pp. 242-250.
- Nicol, D. (2010). From monologue to dialogue: Improving written feedback in mass higher education. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 35(5), 501-517.
- Ramírez, T. (2006). *Cómo hacer un proyecto de investigación. Guía práctica*. Venezuela: Editorial Panapo.
- Ruiz Morales, Y. (2013). *Evaluación de competencias genéricas en la universidad. Estudio comparativo en entorno b-learning y presencial*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Tesis Doctoral.
- Ruiz Morales, Y., García-García, M., Biencinto-López, Ch. y Carpintero, E. (2017). Evaluación de competencias genéricas en el ámbito universitario a través de entornos virtuales: Una revisión narrativa. *RELIEVE*, 23(2), doi: <http://doi.org/10.7203/relieve.23.1.7183>

Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*. Caracas: Editorial Panapo.

Sabino, C. (1994). *Cómo hacer una tesis*. Caracas: Editorial Panapo.

Sánchez, L. F. y Garcés, A. (2011). Desarrollo y evaluación de la competencia capacidad de análisis y síntesis en la asignatura de química, en *Actas del Congreso Internacional EVAL trends*, 749-765. Cádiz.

Zavala Trias, S. (2012). *Guía a la redacción en el estilo APA 6ta Edición*. Venezuela: Universidad Metropolitana. Disponible en: <http://148.202.167.116:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1401/Gu%C3%ADa%20a%20la%20redacci%C3%B3n%20en%20el%20estilo%20APA%2c%206ta%20edici%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UNA MIRADA A LA TECNOLOGÍA NO CONVENCIONAL ACERO-CONCRETO A TRAVÉS DE LA OBRA DEL ING. JOSÉ ADOLFO PEÑA

A LOOK AT THE NON-CONVENTIONAL STEEL-CONCRETE TECHNOLOGY THROUGH THE WORK OF ING. JOSÉ ADOLFO PEÑA

AUTOR:

Hernández, Erika

Laboratorio de Investigación de Materiales para la Construcción. Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Corresponding Author:

ehernandez@unet.edu.ve

Palabras clave: Sistemas estructurales no convencionales, tecnología constructiva acero-concreto, innovación, elementos delgados prefabricados, microconcreto.

Key words: Non-conventional structural systems, steel-concrete construction technology, innovation, prefabricated thin elements, microconcrete.

RESUMEN

Como parte de los sistemas estructurales no convencionales se encuentran los prefabricados. En el ámbito nacional, el aporte de la tecnología acero-concreto asumida por el Ing. José Adolfo Peña, es un ejemplo de aplicación exitoso, dadas las particularidades conceptuales y tecnológicas de los mismos demostradas en la ejecución de sus obras. En este artículo se describen los sistemas constructivos que han marcado un hito en su obra y que han sido el resultado de innovaciones tecnológicas y de sus propias acciones creativas. A través de un abordaje metodológico cualitativo, se desarrolló una investigación descriptiva apoyada en un diseño documental por medio del cual se estudiaron algunas edificaciones con los sistemas: Sancocho y Concaprego. El desarrollo de la investigación permitió identificar la aplicación de los siguientes criterios: a) rasgos tecnológicos; b) tipificación de los componentes constructivos en los diferentes sistemas; c) racionalización del sistema por medio del proceso de producción y montaje. Todos estos aspectos fueron contrastados con las respuestas arquitectónicas que permitieron concluir que los sistemas no convencionales en acero-concreto representan un aporte tecnológico-estructural de gran valor para la industria de la construcción que los convierten en referentes teóricos y prácticos para su uso y derivación tecnológica.

ABSTRACT

Prefabricated are seen as part of the non-conventional structural systems. At the national level, the contribution of the steel-concrete technology undertaken by Ing. José Adolfo Peña is an example of successful application given the conceptual and technological peculiarities of the systems shown in the execution of his works. In this article, we describe the construction systems that have marked a milestone in his work and that have been the result of technological innovations and of his own creative actions. Through a qualitative methodological approach, a descriptive research was developed based on a documentary design, through which some buildings were studied with the systems: Sancocho and Concaprego. The research development allowed to identify the application of the following criteria: a) technological features; b) typification of the constructive components in the different systems; c) rationalization of the system through the production and assembly process. All these aspects were contrasted with architectural responses that allow us to conclude that the non-conventional systems in steel-concrete represent a technological-structural contribution of great value for the construction industry that make them theoretical and practical reference for its use and technological derivation.

Recibido: 09/04/2018 Aprobado: 02/07/2018 Versión Final: 06/09/2018

INTRODUCCIÓN

Al hablar de sistemas estructurales en Venezuela, rápidamente se piensa en los aportados de concreto o acero por lo tradicional de su uso, ubicándolos dentro de los sistemas convencionales. Estos se caracterizan por la aplicación de materiales de uso común en la construcción como el concreto y el acero. La tecnología asociada a los mismos ha sido ampliamente aplicada, siendo de gran aceptación por usuarios y constructores en un país o región determinada durante un período de tiempo considerable.

Sin embargo, dentro de la industria de la construcción han surgido y evolucionado otros sistemas con propuestas tecnológicas novedosas en sus componentes, materiales, técnicas de producción y construcción, distinguiéndolos de los anteriores y reconociéndolos como sistemas no convencionales. Estos sistemas industrializados comparten características comunes como la rapidez de ejecución, la economía de materiales disponibles, reducción de personal y el aspecto cualitativo del producto (Orozco, 2008).

A nivel latinoamericano y dentro del campo de los sistemas estructurales no convencionales, los prefabricados y sus tecnologías innovadoras se han empleado con éxito, en especial para dar respuesta a soluciones habitacionales económicas y apropiadas, es decir, adaptadas a las condiciones sociales, culturales y ambientales de cada región.

Han involucrado procesos de producción industrializada donde predomina claramente la utilización de los equipos sobre la mano de obra, facilitando la elaboración de componentes en serie que luego se ensamblan en obra; lo que repercute en una enorme disminución del tiempo de trabajo y, por ende, del tiempo de entrega.

Estos sistemas y sus técnicas constructivas en América Latina, ofrecieron en las últimas décadas del siglo XX una oportunidad de producción masiva con eficiente utilización de recursos y con modelos originales, tendencia que continuó en lo que va del siglo XXI,

destacándose el control en sus procesos productivos y soluciones no convencionales para dar respuesta, con especial atención, a los problemas de déficit de vivienda.

Dentro del desarrollo de estas tecnologías destaca la de los elementos delgados prefabricados de concreto o mortero armado, actualmente reconocida como microconcreto, derivado de la tecnología del ferrocemento, cuya aplicación se mostró particularmente adecuada en el periodo de reconstrucción de Europa luego de la II Guerra mundial (Fonseca, 2005). Especialmente en Brasil a partir de las experiencias iniciales del ingeniero de estructuras italiano Pier Luigi Nervi, y la Escuela de Ingeniería de São Carlos da Universidad de São Paulo, institución que se destacó en el desarrollo de la tecnología del ferrocemento desde la década de los sesenta, y que continua con una larga trayectoria como centro de excelencia nacional en esta área (Fonseca, 2017).

Por otro lado, continúa señalando el mismo autor, surge el trabajo del arquitecto João Filgueiras Lima, quien a través de su obra incursiona en la tecnología de la “argamasa armada” para la prefabricación de componentes y sistemas constructivos industrializados en Brasil, en busca de una alternativa tecnológica para viabilizar proyectos de urbanización de favelas en Salvador de Bahía, en el año 1979.

El microconcreto se puede definir como un ferrocemento industrializado de alto desempeño, resultante de la conformación de un mortero estructural (cemento, arena y agua) que ha presentado un buen comportamiento estructural y gran durabilidad. Tiene una relación agua/cemento (a/c) baja, entre 0,30 y 0,35 a diferencia de los concretos comunes; cuanto más baja es la relación a/c, más próximas están las partículas del cemento de la pasta y esto, consecuentemente, mejora la resistencia de la pasta y, por ende, de la mezcla (Fonseca, 2017).

A estas experiencias se suman muchas otras en diversos países latinoamericanos, como Cuba, en donde el sistema constructivo Sandino se ha destacado por la versatilidad demostrada al facilitar la manipulación de sus componentes en

el montaje, adaptación a diferentes soluciones constructivas como viviendas, escuelas, puestos médicos, entre otros.

Este es un sistema prefabricado de microconcreto que se caracteriza por columnas laminares con sección H portantes y pequeños paneles del mismo material con un espesor de 60 mm, que trabajan como elementos de cierre y rigidizadores, complementados por componentes laminares en forma de canal para entrepiso y cubierta también en microconcreto (Bocalandro, 2013).

Así mismo en Uruguay, gracias al Arq. Kruk y la empresa Consur, se desarrolló un sistema de microconcreto que consiste en una cubierta de losetas autoportantes de 2,5cm de espesor, 40cm de ancho y 3m de largo; sobre vigas de 5cm de espesor, 11cm de ancho y 4,5m de largo. Los muros consisten en paneles de 2,40m por 0,40m y 10cm de espesor, en dos capas de 1,5cm de microconcreto armado con malla de acero o fibra de vidrio y un alma de poliestireno expandido de 7cm (Kruk, 2013). Experiencias similares se han desarrollado con éxito también en Argentina, México y Venezuela.

En Venezuela estos sistemas estructurales, basados en elementos delgados prefabricados en microconcreto, han sido desarrollados desde principios de la década de los noventa, a través de la obra construida del Ing. José Adolfo Peña, con su tecnología en acero-concreto. El Ing. Peña junto con el equipo de la empresa OTIP C.A., inició en el país un cambio en la forma de proporcionar soluciones tecnológicas no convencionales para dar respuesta a una incesante necesidad de vivienda digna y más accesible, que incorporara los beneficios de la industrialización.

Como lo dice el mismo Peña (2010) “el paradigma del desarrollo de OTIP C.A. se basa en la idea de que la tecnología debe tener como fin primario estar al servicio de la sociedad en la cual ella se crea, se desarrolla y se aplica” (p.3). Se identifica el aporte de la tecnología acero-concreto que ofrecen los componentes, contruidos con bastidores de lámina de acero que actúan como encofrado colaborante y diafragmas de concreto armado, asumida por el

Ing. Peña, apegado al hecho práctico de optimizar el uso de los materiales e integrarlos en un conjunto tecnológico no convencional que se funde en una difusa línea creativa entre la arquitectura y la estructura, logrando propuestas teóricas y obras construidas particulares y distintivas. Circunstancia que merece ser documentada, caracterizada, analizada y que ha sido el objeto principal de este artículo.

MÉTODO

Esta investigación es de tipo descriptiva, apoyada en una modalidad documental, en la que se realiza una caracterización de los sistemas constructivos principales desarrollados por el Ing. Peña en los últimos treinta años, a saber: Tecnología Sancocho y Concaprego. La misma se desarrolló cumpliendo las siguientes fases:

a) indagación previa: referida a la búsqueda de las fuentes impresas y electrónicas respecto a las tecnologías no convencionales en edificaciones, concreto y microconcreto, prefabricación e industrialización; b) revisión selectiva por medio del estudio de los referentes documentales de manera sistemática, rigurosa y profunda sobre el desarrollo de la obra del Ing. Peña y los sistemas constructivos señalados, identificando la aplicación de criterios como: rasgos tecnológicos, tipificación de los componentes constructivos en los sistemas en estudio, racionalización del sistema a través del proceso de producción y montaje, así como la versatilidad de estos para variados acabados.

En esta etapa se consideraron documentos inéditos del mismo Ing. Peña, como artículos publicados en revistas especializadas, libros compilados y otros documentos; c) fase de desarrollo: con la información conseguida en las fases anteriores se establecieron las características de cada sistema, de los que se muestran: sus rasgos tecnológicos, tipificación de componentes de los sistemas, producción y montaje; d) Con el uso de imágenes y figuras se diagramó el proceso de prefabricación y montaje de forma genérica y, además, se muestran algunos componentes en obras construidas referenciales de los sistemas estudiados.

RESULTADOS

Lo que a continuación se presenta forma parte de los resultados parciales de una investigación mayor. Con este avance se describen los sistemas estructurales no convencionales Sancocho y Concaprego, como propuestas tecnológicas de prefabricación liviana del Ing. Peña desde los noventa y desarrollados durante los últimos treinta años. Todos los sistemas aquí descritos son propiedad intelectual y material de OTIP C.A.

Se ha analizado la información bajo los criterios seleccionados para su estudio, como los rasgos tecnológicos en los que se exponen las características de los materiales involucrados y su aporte en el comportamiento estructural de los sistemas. Para cada uno se ha descrito a detalle la tipificación de los componentes constructivos, dimensiones, formas, estandarización de piezas y medios de unión.

La racionalización de ambos sistemas se observa en la optimización de los materiales, en el destacado aporte del microconcreto y, además, en los niveles de calidad alcanzados durante los procesos de prefabricación que permiten estandarizar y controlar con precisión, en planta, las piezas, así como producir un inventario suficiente para disminuir los tiempos de trabajo en obra y la ejecución de un montaje limpio y rápido.

1. Sistema Sancocho

Tecnología basada en la producción de elementos livianos prefabricados de acero y concreto, de manejo manual, cuyo peso máximo es del orden de los 60 kg y que se ensamblan mediante soldadura hecha en el sitio de la obra, sin necesidad de utilizar equipos complejos, ni mano de obra especializada.

1.1 Rasgos tecnológicos

El sistema se ha usado principalmente para el desarrollo de viviendas, sin embargo, también ha aportado soluciones integrales a otros tipos de obras como educacionales y de servicio, entre otras. Además, se ha logrado fabricar con esta misma tecnología componentes curvos para

cubiertas abovedadas, escaleras o soluciones especiales con luces de más de 19m.

El conjunto de componentes está constituido por nodos de fundación, columnas, paredes, vigas de soporte, vigas de cierre y losas para entrepisos y para techos planos o inclinados; conformando un sistema de paredes delgadas de acero-concreto armadas en dos direcciones ortogonales y unidas por sus bordes metálicos a las columnas por soldadura. Las vigas, a su vez, se unen por el mismo medio a los topes superiores de las columnas obteniéndose de esta manera una estructura compuesta.

Respecto al comportamiento estructural, Peña (2013) señala que las fuerzas horizontales debidas a la acción sísmica o de viento, son resistidas mediante el conjunto de paredes portantes en las dos direcciones ortogonales. El factor de esbeltez de las edificaciones, al no ser mayor de dos, disminuye los esfuerzos de tracción a nivel de la fundación.

Bajo la acción de las fuerzas verticales, las losas trabajan como un diafragma continuo, apoyado sobre las vigas; estas se comportan como elementos, simplemente apoyados sobre las columnas, que forman junto con las paredes el sistema portante que ofrece la rigidez requerida.

La estructura de vigas y losas se hace monolítica con el vaciado en sitio de 4.5cm de concreto sobre ellas, que incluye una malla electrosoldada de 10x10cm como acero de refuerzo. La estructura de los entrepisos está diseñada para soportar su peso propio y una carga de servicio de 200Kgf/cm², en cuanto al techo, este puede resistir igualmente su peso propio, además de una carga permanente asociada a un revestimiento de teja de arcilla y manto impermeabilizante y una sobrecarga de servicio de 100Kgf/cm².

El sistema Sancocho permite el desarrollo progresivo de las edificaciones, tanto en el crecimiento como en la incorporación de acabados, para obtener mejores condiciones de confort y de calidad estética (Proyecto XIV.5, 2005).

1.2 Componentes del sistema

En cuanto a su calidad, los materiales con que están construidas las piezas compuestas de acero-concreto, son de concreto con una resistencia de $f'_c=250\text{Kg/cm}^2$ y acero A36. Las piezas planas están conformadas por un bastidor de lámina o chapa doblada de acero, de 1,1mm de espesor y rigidizado mediante alambres de 5mm de diámetro colocados diagonalmente. Este bastidor le confiere regularidad dimensional al componente, le sirve de encofrado lateral y facilita la unión posterior entre los componentes (Salas, 2000).

Los componentes usados en el sistema para la construcción de viviendas y edificaciones de servicios, hasta de dos pisos, son los siguientes:

- Módulos de pared, constituidos por elementos planos de 3cm de espesor, con alturas desde 15cm hasta 125cm y ancho de 90cm.
- Columnas: elaboradas con perfiles de lámina metálica en forma de "H", de sección nominal en planta de 6cm por 3,5cm, las cuales permiten, según su tipo, la llegada de una, dos, tres o cuatro paredes, de alturas variables. En los casos en que las alturas superen los 2,70m, y/o la luz libre sea mayor de 3,60m, estos son sustituidos por tubulares estructurales de 50x50x2mm.
- Vigas de techo de 3 cm de espesor y altura entre 15cm a 20cm y longitud variable, con una luz máxima de 3,60m.
- Losa de entrepiso de 3cm de espesor y de dimensiones variables, con una luz máxima de 1,10m.
- Losas de techo de 2,5cm de espesor, de dimensiones variables.
- Instalaciones, para el paso de las instalaciones eléctricas se dispone de una columna en forma de tubo elaborado con lámina del mismo tipo, con las aberturas correspondientes a tomas, puntos de iluminación e interruptores. Sustituyen los conductos de alimentación especificados en el proyecto de electricidad.

Para construcciones de más de dos pisos, el sistema Sancocho presenta una variante en cuanto a sus componentes como solución a las nuevas exigencias estructurales. El peso máximo de los nuevos elementos es de 103Kg y se

continúa con la unión por medio de soldadura, quedando conformado por:

- Columnas tubulares de acero de 90x90mm de sección, rellenas de concreto, en longitudes máximas de 400cm.
- Módulos de paredes de 4cm de espesor, de 85cm de ancho y 60cm de altura para conformar paredes completas de 240cm y 300cm de altura.
- Columnas rigidizadoras de las paredes, de 5x5cm de sección y 240 cm de altura.
- Vigas principales de acero-concreto de 8cm de espesor, altura constante de 15cm y longitud máxima de 360 cm.
- Vigas secundarias o correas de 4cm de espesor, 15cm de altura y longitudes de hasta 360 cm.
- Losa de entrepiso de 3,6 cm de espesor, de dimensiones acordes con la modulación.
- Escalera conformada por escalones de 3,6cm y contrahuellas de 3cm de espesor, respectivamente.

1.3 Producción - prefabricación

La producción de los elementos prefabricados se realiza en la planta Precast, ubicada en San Sebastián de los Reyes, estado Aragua, allí mismo se genera el inventario para las obras respectivas en ejecución.

Sin embargo, dependiendo de la ubicación, esta puede ser sustituida por una planta móvil a pie de obra. De cualquier modo, la producción se realiza en dos fases: en la primera se fabrican todos los elementos de acero, tales como columnas, los bastidores para los componentes de paredes, losas y vigas como se ve en la imagen (a) de la Figura 1, en la que se presenta en orden cronológico el proceso.

En la segunda fase, ya sea a pie de obra o en una planta fija de producción, se elaboran los elementos de acero-concreto, iniciándose con el vaciado de concreto en los bastidores para módulos, paredes, vigas y losas que han sido preparados con anterioridad, según el tamaño requerido, y ya incorporado el acero de refuerzo.

El proceso se realiza sobre pistas o mesas horizontales de acero que se van apilando una sobre otra, hasta una altura manejable por los que

están vaciando y resanando el concreto, según se ve en (b) y (c) de la misma Figura.

El fraguado se produce con los componentes cubiertos tal como se aprecia en (d), lo que evita una pérdida de agua prematura y la consecuente retracción hidráulica que deriva en mejores calidades de los concretos producidos.

Completada la elaboración de las piezas, estas se trasladan manualmente dentro de la planta, apilándose verticalmente hasta el momento de ser requeridas, terminando la elaboración según se ve en (e) y (f). El transporte se hace en paquetes de elementos tipo y el manejo puede realizarse mediante el uso de montacargas.



Figura 1. Proceso de elaboración de los componentes del sistema Sancocho.

Fuente: Peña (2010).

1.4 Montaje

El proceso constructivo comprende las actividades que a continuación se describen y que son representadas en la serie de imágenes de la Figura 2:

1. Se acondiciona el terreno: conformación, compactación y vaciado de concreto pobre.
2. Replantear la estructura, colocar los elementos de fundación (anclajes prefabricados de concreto), armar instalaciones sanitarias y vaciar la losa de fundación.
3. Instalar las columnas: soldar las columnas ya niveladas a la pletina embutida en el elemento de fundación, iniciar por las esquinas.
4. Ensamblar las paredes a las columnas, soldando solamente en dos puntos concordones de 1cm de longitud. Empezar por columnas principales de esquina hacia las dos

direcciones ortogonales, controlando la perpendicularidad y rigidez de las mismas, conformándose una estructura monolítica. El proceso de montaje de las paredes se repite hasta cerrar por completo la planta.

5. Instalar las vigas: soldar las vigas a las columnas.
6. Instalar las losas: soldar las losas de entrepiso o techo a las vigas, según sea el caso, en sus cuatro bordes con cordones de 1cm de longitud cada uno. Se debe colocar primero las losas de los bordes para facilitar el alineamiento y continuar hacia el centro o la cumbrera y luego vaciar el topping de 4cm de concreto sobre la losa.
7. Si la vivienda es de dos pisos se repiten las actividades desde el punto 3 y se instala la escalera.

8. Para finalizar el montaje se rematan las conexiones con soldadura y se sellan las uniones entre los componentes prefabricados de paredes y columnas, haciendo uso de un mortero de arena y cemento.
9. Instalaciones sanitarias y eléctricas: se hace uso de la columna-instalación y, en otros casos, se dejan a la vista, pudiendo hacer uso de un plafón para cubrirlas por debajo de la losa.

10. Acabados: la tecnología Sancocho permite la instalación de los materiales comunes para acabados como cerámica, madera, vinyl para revestimiento de pisos y cerámica y frisos texturizados o lisos para paredes interiores, así como impermeabilización y tejas para revestimiento de techos. En cuanto al exterior se puede aplicar pintura de caucho o texturizada directamente sobre el concreto.



Figura 2. Proceso genérico de montaje del sistema Sancocho.

Fuente: Peña (2010) y Proyecto XIV.5 Con Techo, Programa 10x10 (2005).

2. Sistema Concaprego

Este sistema surge para dar respuesta a la necesidad de construcción de edificaciones multifamiliares de hasta ocho pisos, y está basado en la producción de componentes laminares prefabricados constituidos por bastidores de lámina de acero que actúan como armadura rígida y diafragmas de concreto armado, conformando una estructura compuesta más liviana y más dúctil en un conjunto de paredes portantes en dos direcciones ortogonales unidas a perfiles de acero estructural, lo que ofrece un

mejor comportamiento ante solicitaciones sísmicas (Peña 2010).

La versatilidad de esta tecnología consiste en que ha sido aplicada en edificaciones de servicios y en obras cuyos componentes responden a diseños específicos determinados por el uso; además, se ha logrado una amplia gama de soluciones formales basadas en la tecnología de las estructuras compuestas de acero-concreto, como es el caso de los elementos de curvatura utilizados en centros de servicios, espacios

culturales y cubiertas de luces libres de hasta 40m (Proyecto XIV.5 2005).

Mediante este proceso es posible obtener múltiples soluciones de diseño adaptadas a las circunstancias particulares de cada obra, gracias a la presencia de los bordes metálicos que, además de ser la armadura rígida, actúan como encofrados permitiendo el desarrollo de una gran variedad de formas geométricas para obtener diferentes soluciones en las edificaciones.

2.1 Rasgos Tecnológicos

El sistema Concapregre evoluciona mejorando la respuesta estructural ante las exigencias sísmicas que demanda una edificación de mayor altura.

Considerando el esquema funcional de la edificación y de sus posibilidades de evolución en vez de los pórticos internos de una estructura convencional, estos son sustituidos por paredes portantes, conformando “cajas” o núcleos rígidos, todos interconectados entre sí.

Así configurada, constituye un todo que se integra en un conjunto monolítico -mediante uniones por soldadura de los módulos de paredes con las columnas de tubulares estructurales- creando unas paredes portantes y generando una estructura rígida que se consolida en cada nivel con el vaciado adicional de un topping sobre las losas prefabricadas de entrepiso.

La fundación está conformada por una losa corrida entre 15 y 25cm que se asienta sobre una capa de concreto pobre de 4cm.

En casos particulares, como las edificaciones educacionales construidas, la fundación está compuesta por anclajes sobre los cuales apoyan vigas de acero-concreto que conforman una retícula en dos o más direcciones, según el diseño de la edificación, en las que se apoyan las losas de acero-concreto en los ejes principales hacia dos direcciones de la estructura base, se realiza un vaciado de concreto creando una zapata corrida de sección 1,20m de ancho y 20cm de espesor.

Esta fundación eleva la edificación a 50 cm del nivel de la terraza (Peña, 2010).

2.2 Componentes del Sistema

Los elementos básicos que componen el sistema son:

- a. Columnas de tubulares estructurales de acero, de 9cm x 9 cm de sección y de 600cm de longitud máxima, rellenas de concreto, para aumentar su resistencia a la compresión y evitar la oxidación.
- b. Las paredes portantes de 5cm de espesor, ancho variable y altura constante de 242cm, en las cuales van incorporadas las instalaciones eléctricas.
- c. Las vigas de entrepiso de 8cm de espesor, altura constante de 15 cm y longitud variable.
- d. Las losas de entrepiso y cubierta son de 10cm de espesor, con anchos de 90 a 180 cm y longitud máxima de 360cm.

2.3 Producción – prefabricación

La producción de los elementos prefabricados se realiza en forma general, del mismo modo que los componentes del sistema Sancocho dentro de la planta Precast de Venezuela; sin embargo, dada la mayor dimensión de los elementos planos, estos requieren de equipos especiales para su manejo en la planta de fabricación.

En cuanto al transporte a los sitios donde se erigen las edificaciones, se realiza en gandalas de 30 toneladas de capacidad y la descarga en sitio se hace utilizando una grúa (Yanes y Velandia, 2012).

2.4 Montaje

Para el montaje de los componentes se requiere el uso de una grúa, cuyas especificaciones dependen de las condiciones del montaje y de las cargas a movilizar; en forma general, el peso máximo de los componentes del sistema es de 1.500 kg.

En la secuencia de imágenes de la Figura 3, se puede observar el proceso constructivo de un edificio de 5 pisos.



Figura 3. Proceso constructivo de un edificio de cinco pisos ejecutado con el sistema Concaprego.

Fuente: Peña (2010) y Proyecto XIV.5 Con Techo, Programa 10x10 (2005).

2.5 Derivaciones tecnológicas del sistema Concaprego

Como alternativa tecnológica para la construcción de la Escuela Venezolana de Planificación, el equipo profesional de OTIP C.A., bajo la dirección del Ing. Peña, propone la incorporación del sistema Concaprego pero con algunas variaciones derivadas del potencial tecnológico estructural que ofrece el mismo. Con base en los componentes prefabricados del sistema Concaprego, se plantea para esta edificación la conformación de estructuras aporticadas constituida por columnas octogonales de 27cm de lado y longitud variable, con franjas envolventes de acero que forman anillos en cada nivel de entrepiso; las vigas son elementos de acero-concreto, carteladas de 8 a 10cm de espesor según su ubicación y de 40cm de altura, con bordes en bastidor de acero que les sirven de refuerzo y, además, de molde perimetral para su fabricación. Las losas de entrepiso están conformadas por retículos de vigas en dos direcciones ortogonales de 40cm de altura y 8cm de ancho, ubicadas cada 2,40 m. Sobre los

retículos se colocan las losas prefabricadas de 8cm, sobre cuya superficie se vacía un topping de 5cm de concreto, tal como se aprecia en la Figura 4. Además, también se incorpora al sistema paredes portantes en dos o más direcciones donde sean requeridas. Los pórticos tienen luces de 9,60m con altura de entrepiso de 3,40m armados en dos direcciones.

La fundación del edificio es una losa maciza de concreto armado, de 15cm de espesor, con macizados de 40cm (15 cm + 25 cm) en los puntos de apoyo de las columnas; para ella se prevé un asiento de concreto pobre de 5 cm de espesor, el cual se vacía sobre el terreno debidamente compactado.

A continuación se describirán los elementos constructivos prefabricados utilizados, los cuales se representan en la Figura 4:

- a. Columnas octogonales de acero-concreto, de sección 27cm de lado, longitud variable, de tres o dos pisos de altura, con franjas envolventes de acero (anillos), ubicadas en

- cada nivel de los entrepisos, que permiten la unión con las vigas y con las paredes.
- Vigas de entrepiso de acero-concreto de 8 a 24cm de espesor según su ubicación y su luz libre, que varían su altura de 40 a 80cm.
 - Losas de entrepiso se conforman por elemento laminar acero-concreto de 8 cm de espesor, con ancho máximo de 240 cm apoyado en retículos de vigas.
 - Paredes portantes de espesor, ancho y altura variable.



Figura 4. Imágenes de los componentes del sistema Concaprego (derivación) usados en la construcción de la Escuela Venezolana de Planificación.

DISCUSIÓN

El desarrollo de sistemas y componentes constructivos más livianos parece ser una tendencia dominante para el futuro del segmento de prefabricados en microconcreto, por su reciente evolución y alto desempeño demostrado (Fonseca 2017). El uso de componentes de microconcreto se ha desplegado por Latinoamérica, ejecutando en diferentes latitudes elementos para la industria de la construcción, con variadas presentaciones, en especial para atender el sector vivienda. Experiencias como las desarrolladas en Brasil por el Arq. João Filgueiras fueron capaces de responder a condiciones de trabajo y acceso difíciles, tanto por la topografía como por la alta densidad poblacional, como sucedió con sus proyectos en las favelas. En estas los componentes desarrollados, predominantemente, tenían un peso máximo de 90 kg y su operación de montaje era manual, con un ensamblaje

simple. De forma similar el sistema Sancocho ha logrado proporcionar una solución apropiada para el desarrollo de propuestas habitacionales con elementos laminares livianos cuyo peso aproximado es de 60 kg con montaje manual y de forma sencilla gracias a su tecnología acero-concreto. Casos similares se han desarrollado en Argentina, Cuba, México y Uruguay; sin embargo, los sistemas bajo el concepto acero-concreto Sancocho y Concaprego tienen un valor tecnológico significativo ya que reduce los tiempos-costos de producción y construcción, debido a la simplicidad de las operaciones y la racionalización de los materiales utilizados. Han sido aplicados no solo para el sector vivienda, como son la mayoría de los casos antes señalados, sino que se ha incursionado con soluciones alternativas en edificaciones educativas y de servicio.

El aporte de la tecnología acero-concreto del Ing. Peña reduce la necesidad de incorporar acero de refuerzo en los componentes laminares de

microconcreto armado, debido a que el bastidor de lámina de acero actúa como armadura rígida o encofrado colaborante, confinando un diafragma de microconcreto. Esta es la diferencia primordial de esta tecnología en comparación con las restantes caracterizadas por elementos livianos prefabricados en Latinoamérica, puesto que los sistemas Sancocho y Concaprego logran disminuir sus espesores y facilitar una unión limpia, rápida y segura en el montaje, haciéndola una tecnología flexible para responder a las exigencias arquitectónicas y estructurales.

CONCLUSIONES

Todos los aspectos estudiados en los sistemas Sancocho y Concaprego fueron contrastados con las respuestas arquitectónicas. Esto permite concluir que los sistemas no convencionales en acero-concreto representan un aporte tecnológico-estructural de gran valor para la industria de la construcción, por cuanto se convierten en referentes teóricos y prácticos para su aplicación y derivación tecnológica.

Destaca en ambos el uso racional y potencial del acero en el perímetro del componente que influye en la disminución del refuerzo, rigidizado por el diafragma de concreto. Esta tecnología acero-concreto facilita el montaje limpio, rápido y sencillo, lo que repercute en una disminución del tiempo en la etapa constructiva.

Los elementos laminares livianos del sistema Sancocho son una alternativa viable técnica y social para la construcción de viviendas en sectores precarios con dificultades topográficas de acceso, ya que su montaje es manual; además, permite el crecimiento progresivo. La aplicabilidad de estos sistemas constructivos ha sido ampliamente demostrada a través de las obras construidas, ya que se han adaptado a diversas exigencias arquitectónicas y compatibilidad, con distintos acabados finales. Se resalta lo alcanzado en las construcciones de edificaciones educacionales por medio de la aplicación de una derivación del sistema Concaprego, puesto que permitió la ejecución de una estructura aporticada conformada por columnas y vigas de acero-concreto.

REFERENCIAS

- Bocalandro, M. (2013). *Sistema Constructivo Sandino. En Microconcreto de alto desempeño: La tecnología del Micro CAD aplicada en la construcción del hábitat social*, Fonseca (org), Proyecto MicroCAD: 138-139.
- Fonseca, P. (2017). *Tecnologias para a construção do habitat social*. Resumen de ponencia en 4º Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono, Universidade da Beira Interior do Porto.
- Fonseca, P. (2005) *Microconcreto de Alto Desempenho: Uma Contribuição para o Desenvolvimento da Pré-fabricação Leve*. Resumen de ponencia en 1o. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produçãoem Concreto pré-moldado. Brasil.
- Kruk, W. (2013) *Cubierta premoldeada de viguetas y losetas livianas de microconcreto. En Microconcreto de alto desempeño: La tecnología del Micro CAD aplicada en la construcción del hábitat social*, Fonseca (org), Proyecto Micro CAD del CYTED: 144-145
- Orozco, E. (2008). *Notas sobre materiales, técnicas y sistemas constructivos, Tecnología y Construcción*, Vol. 24-I: 09-17.
- Peña, J. (2013). *El microconcreto de alto desempeño (Micro CAD) como conocimiento apropiado, apropiable y sustentable para la generación de tecnologías no convencionales para el hábitat*. Revista Entrerayas.
- Peña, J. (2010). *Compilación de Artículos OTIP C.A.* Editado por la revista Entre Rayas.
- Proyecto XIV.5 *Con Techo, Programa 10x10 (2005) Ficha 8.1 OTIP. C.A. Ing. Peña, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. HABYTED. Subprograma XIV Tecnología para Viviendas de Interés Social.*
- Salas, J. (2000). *La Industrialización posible de la vivienda latinoamericana*, Editorial Escala, Bogotá.
- Yanes C. y Velandia D. (2012). *Desarrollo habitacional La Urbina. Categoría hábitat social y desarrollo*. Documento en línea disponible en: <http://arquitecturapanamericana.com/development-habitacional-la-urbina/>

MODELO INTERACTIVO DE SIMULACIÓN: PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS, VIGAS Y LOSAS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA EDIFICACIONES ORTOGONALES

SIMULATION INTERACTIVE MODEL: DIMENSIONING OF COLUMNS, BEAMS AND SLABS OF CONCRETE STRUCTURES FOR ORTHOGONAL BUILDINGS

AUTOR:**Vivas, Pablo**

Departamento de Arquitectura. Universidad
Nacional Experimental del Táchira (UNET).
República Bolivariana de Venezuela

Corresponding Author:

pjvivas@gmail.com.

Palabras clave: Modelo de simulación, predimensionamiento de estructura, concreto, columnas, recurso didáctico.

Key words: Model simulation, pre-dimensioning of structure, concrete, columns, didactic resource.

RESUMEN

Se desarrolló un modelo interactivo de simulación para el predimensionamiento de estructuras de concreto reforzado (columnas, vigas y losas de plantas ortogonales) con el objeto de ser utilizado como recurso didáctico en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los talleres de diseño arquitectónico. Es una investigación proyectiva, bajo el enfoque metodológico de planeación-acción, utilizando un proceso de modelación con aplicación de Microsoft Excel, que permite al usuario el manejo de variables para la geometría estructural del edificio y la incidencia del espacio que ocupan los elementos portantes, bajo estándares internacionales con basamento teórico en las normas American Concrete Institute (ACI) y la Comisión Venezolana de Normas Industriales (Covenin). Se sustenta con los estudios teóricos del cálculo estructural del concreto reforzado y la modelación en tiempo real de sistemas complejos mediante la simulación para el diseño de columnas, vigas y losas en una dirección. Como contribución a la didáctica y apoyo a la docencia, este instrumento permite al profesor y al estudiante procesar datos en dispositivos móviles sin recurrir al uso de un software costoso. El modelo de simulación producido admite valorar y determinar aproximadamente el área que ocupará el sistema portante del edificio, arrojando datos de columnas de sección cuadrada, rectangular o circular y dimensiones de vigas de carga y losas nervadas. En la retroalimentación del proceso de modelado se aplicó: la Verificación, para evaluar el proceso de implementación y la derivación lógica de los resultados y, la Validación, mediante la comparación de los resultados con edificaciones existentes y proyectos recién calculados por software de ingeniería complejos con una coincidencia de 95% demostrando, así, su efectividad en el contexto de la aplicación.

ABSTRACT

An interactive simulation model was developed for the pre-dimensioning of reinforced concrete structures: columns, beams and slabs in orthogonal plants with the purpose of using it as a didactic resource in the teaching and learning process of architectural design workshops. This is a projective research type, under the planning-action methodological approach, using a process of modeling with the application of Microsoft Excel, allowing the user the management of variables that define the structural geometry of the building and the incidence of space occupying the floor, under international standards with theoretical basis on the ACI (American Concrete Institute) and Covenin (Venezuelan Industrial Standards Commission). It is underpinned with the theoretical studies of the structural design of reinforced concrete and the modeling of real time complex systems using simulation for the design of columns, beams and slabs in one direction. As a contribution to the didactics and teaching support, this instrument allows the student and Professor to process data on mobile devices avoiding the use of expensive software. The simulation model produced admits rating and determining approximately the area that will occupy the building's load-bearing system, giving data of square rectangular or circular section columns and dimensions of the load beams and ribbed slabs. In the feedback of the modeling process The Checking or verification, to evaluate the implementation process and the derivation of logical results and the Validation were applied by comparing results with existing buildings and projects recently calculated by complex engineering software with a coincidence of 95% demonstrating their usefulness and validity in the context of the application.

INTRODUCCIÓN

El predimensionamiento de estructuras ha sido abordado por muchos autores como una solución individual para dimensionar cada elemento del sistema estructural. Este acertado procedimiento se basa en un lenguaje específico del ingeniero calculista y representa una barrera al momento de ser aplicado por otros profesionales, situación que se evidencia en los modelos didácticos dirigidos a los estudiantes de Ingeniería Civil que, a pesar de apoyarse en ejemplos de cálculo explícitos para la aplicación de fórmulas a casos concretos, son también procedimientos complejos a utilizarse en el proceso de enseñanza y aprendizaje del diseño arquitectónico.

El predimensionamiento de la estructura no es de uso exclusivo del ingeniero calculista, el arquitecto en su propuesta de diseño debe contemplar el manejo del espacio que ocupan estos elementos por ser quien desarrolla la misma, en primera instancia; por tanto, requiere de una herramienta de aproximación y simulación. La carrera de Arquitectura de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) contempla en las unidades curriculares de la asignatura Proyectos, el predimensionamiento de estructuras para todos los ejercicios en el taller de diseño (anteproyectos) desde el tercero al décimo semestre; sin embargo, la mayoría de los docentes no emplean recursos didácticos al momento de predimensionar los elementos estructurales.

A esto se suma que los estudiantes, durante la realización de dichos ejercicios, no aplican los procedimientos para calcular las estructuras ya adquiridos en las unidades curriculares del Núcleo de Producción y Tecnología, además, no existen métodos globales de estimación para el predimensionamiento de elementos estructurales a nivel de anteproyectos.

A causa de ello, la práctica docente en el taller de diseño no emplea métodos para el cálculo del tamaño de las estructuras de las propuestas arquitectónicas de forma recurrente durante toda la carrera, lo que origina en el estudiante el desarrollo de competencias proyectuales sin el uso de herramientas para la estimación del

espacio que ocupan dichos elementos. Esto trae como consecuencia que se delegue esta responsabilidad, en la práctica profesional, al ingeniero estructural con los consiguientes problemas que afectan, significativamente, a los espacios arquitectónicos y a la calidad de los proyectos ejecutados, debido a que en las fases previas de diseño se subestima el verdadero tamaño de las columnas, las vigas de carga y las losas nervadas.

Por esta razón, se diseñó un modelo de simulación interactivo, en tiempo real, para apoyar la realización de anteproyectos arquitectónicos de edificaciones en altura con planta de geometría ortogonal de concreto reforzado, que calcula con más precisión el tamaño de los elementos estructurales: columnas, vigas y losas nervadas para uso del docente y el estudiante de Arquitectura.

El diseño de este modelo abarca dos ejes temáticos: el predimensionamiento de estructuras y la teoría de la simulación, razón por la cual el estudio se basa en los siguientes trabajos de investigación: 1) Fullana y Urquía (2009) en su trabajo titulado: “Los modelos de simulación: Una herramienta multidisciplinar de investigación” en la cual analizan la teoría de la simulación mediante el estudio de antecedentes, procesos, métodos y lenguajes de programación para la modelización adecuada a empresas. La metodología descrita en el estudio sirve de base al desarrollo del modelo de simulación a diseñarse. Otro aporte teórico y metodológico en el tema, es presentado por Izquierdo *et al.*, (2008), quienes desarrollan teorías para el modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y con dinámica de sistemas. Estos conceptos permiten diferenciar las técnicas de modelado y las características tanto del modelado tradicional como del modelado científico.

En México, Parra (2004) diseñó recursos didácticos en Excel para la modelación y simulación del diseño de trabes y columnas de concreto como apoyo a la docencia en Ingeniería Civil. Utilizó el método de planeación-acción (diagnóstico-diseño) dentro del paradigma de sistemas. Compiló las teorías y cálculos referentes a las estructuras de concreto para el desarrollo de herramientas

didácticas. Determinó que el uso del Excel, como recurso didáctico para el cálculo de estructuras, ofreció características de funcionamiento probadas, brindando un proceso de solución a los problemas planteados de forma rápida, sencilla y de bajo costo. Esto posibilitó el cumplimiento de asignaciones de proyectos estructurales más completos y laboriosos durante el curso, enriqueciendo así la experiencia de los estudiantes en la práctica del cálculo de estructuras. Y agregó, que dada la facilidad de uso de las herramientas desarrolladas en los estudiantes, estas podrían ser actualizadas y ser aplicadas en el campo profesional.

La teoría de la simulación se define como un medio que experimenta con un modelo detallado de un sistema real para determinar cómo responderá el sistema a los cambios de su estructura o entorno (Harrell y Tumay, 1995 citado por Fullana *et al.* 2009). Un modelo implementado y que se ejecuta en un ordenador es un modelo formal (Suber, 2003), en el caso del modelo a desarrollar la técnica de simulación está orientada a objetos cuyo proceso se forma por la combinación de información (atributos) y procedimientos (métodos) lo que permite una reducción drástica de los tiempos de desarrollo del modelo. Otra técnica involucrada es la del método analítico, cuya simulación pone de manifiesto múltiples aspectos como la variabilidad asociada a procesos de entrada-salida (Fullana *et al.*, 2009).

El predimensionamiento de elementos portantes de una edificación es una consecuencia del diseño de estructuras, lo cual permite la determinación, de forma general, de todas las dimensiones específicas de una estructura en particular, de manera que esta cumpla con las funciones para las cuales se han creado y resistan en forma segura los efectos que actuarán sobre ella a través de su vida útil (Nilson, Darwin y Dolan, 2010).

En las estructuras de concreto, su dimensionamiento obedece a dos métodos: el diseño elástico o por cargas de servicio y el diseño a la rotura o por resistencia última; actualmente, el más utilizado es el diseño a la rotura donde se emplea un factor de seguridad total basado en la mayoración de las cargas (viva y muerta) y otro en los materiales de

fabricación. En este sentido, se manejan expresiones para calcular la carga última de diseño o la suma de las diversas cargas actuantes en la estructura (ACI, 2014).

Las cargas vivas corresponden a cargas de ocupación de edificios, en las que su magnitud y distribución son inciertas en un momento dado. Para los elementos estructurales horizontales (vigas y losas), se emplean las cargas mínimas tabuladas según los tipos de ocupación del edificio. Las cargas muertas, por su parte, corresponden al peso propio de la edificación, mientras que las cargas ambientales se consideran inciertas, tanto en magnitud como en distribución, debido a que son producidas por presión y succión de viento, lluvia, sismos, y fuerzas causadas por cambios de temperatura (Nilson *et al.*, 2010).

Las estructuras de concreto ofrecen ventajas en su diseño siempre y cuando se guarde el principio de que el acero resista los esfuerzos de tracción y el concreto los de compresión. Por esta razón, su calidad depende fundamentalmente del diseño de armaduras, y se atribuye que la mayor parte de los fallos estructurales no se deben a errores de análisis estructural o de cálculo, sino a ejecución de armado insuficientes o mal concebidos, Torroja (2010) señala: “la armadura puede aumentarse o disminuirse, repartirse o concentrarse en determinada cara por una parte o pasarse a la opuesta por otra zona (...)” (p.70).

Según esto, la repartición del acero depende del dimensionamiento de cada elemento estructural, por lo que es importante que se determine en los trazos iniciales del proyecto, ya que le corresponde al arquitecto su definición; además, la concepción de un espacio arquitectónico se basa necesariamente en una estructura definida, por tanto, la certeza en este caso es fundamental antes de ser estudiada por un ingeniero calculista.

En el caso de las columnas, la determinación de la sección en una fase inicial de diseño no cuenta con una regla simple dada la ubicación de estas en la planta y por la capacidad de carga axial de la sección transversal señalada, debido a que varían por el momento ejercido sobre dicha sección. En general, su tamaño depende de la capacidad de carga axial máxima cuyos valores aportan relaciones

aproximadas para dimensionar la columna (Wight y MacGregor, 2012).

MÉTODO

El estudio se fundamentó en una investigación proyectiva cuya propuesta consistió en un “proceso sistemático de búsqueda e indagación que requiere la descripción, el análisis, la comparación, la explicación y la descripción” (Hurtado, 2012). Se apoyó en el enfoque cualitativo mediante un muestreo por conveniencia, cuyos informantes claves resultaron de un cuestionario de selección: a) Estudiantes del núcleo de conocimiento I y II de la unidad curricular Proyectos - cohorte 2017-1 de la carrera de Arquitectura UNET: seis estudiantes del núcleo I y 18 estudiantes del núcleo II; b) tres docentes que imparten Proyectos del núcleo I y II y, c) un ingeniero civil con amplia experiencia en el cálculo de estructuras de concreto y docente de la carrera de Ingeniería Civil UNET. Se basó en el método de “ejecución del modelo de simulación” (Fullana *et al.*, 2009) y la “retroalimentación en el proceso de modelado” (Izquierdo *et al.*, 2008).

Evaluación y diseño:

La determinación de necesidades de la implementación del modelo en la carrera de Arquitectura de la UNET se apoyó en la técnica del grupo focal aplicado a docentes y estudiantes por separado, señalando lo siguiente: en los ejercicios de diseño de las unidades curriculares desde Proyectos III al VIII, el predimensionamiento del sistema estructural corresponde al aspecto tecnológico del proceso de diseño arquitectónico y está presente en las asignaciones de estos proyectos.

Al momento de predimensionar la estructura, los estudiantes prefieren consultar al docente, el cual, a su vez, afirmó que por no haber desarrollado conocimientos en métodos y cálculos de lógica estructural de forma didáctica recurre a su experiencia y a la intuición, induciendo en el estudiante un proceso empírico. Esto da como resultado, en las propuestas de diseño del taller, un predimensionamiento poco adecuado en la mayoría de los casos.

Los estudiantes manifestaron que los conocimientos adquiridos en las unidades curriculares teóricas referentes al cálculo de estructuras, no son aplicados en sus propuestas de diseño por falta de adiestramiento en su desarrollo lo que limita significativamente el tiempo de realización de las asignaciones. Los participantes en las dos sesiones de trabajo señalaron la necesidad de incorporar en los ejercicios de diseño un método de predimensionamiento adecuado, razón por la cual estarían dispuestos a hacer uso de herramientas que se adapten a sus propuestas, tanto en el proceso de enseñanza y aprendizaje como en la práctica profesional, con la condición de que sean rápidas, sencillas y de efectiva aplicación.

Una vez definido el diagnóstico se procedió a la determinación de las necesidades de simulación, la cual permitió definir las características o atributos de cada objeto y su proceso o método:

1) determinación de dimensiones y formas de columnas basados en fórmulas internacionalmente aceptadas para las estructuras de concreto reforzado; 2) número de pisos en altura, plantas libres, volados de losas y luces entre columnas; 3) tipologías de columnas dentro del perímetro de la edificación: centrada, excéntrica y de esquina; 4) chequeo por esbeltez para columnas y 5) predimensionamiento de secciones de vigas de carga y altura de losas aligeradas en un sentido, cuyas fórmulas, generalmente aceptadas, surgieron como indicadores para su aplicación directa en el modelo a desarrollar.

Además de estos aspectos se consideró para la realización del modelo la búsqueda de optimización de tiempo y resultados, por lo que el software Microsoft Excel se concibió adecuado para la puesta en marcha de la tecnología de simulación por su amplia difusión, fácil acceso y bajo presupuesto para la elaboración del modelo. La hoja de cálculo electrónica permitió diseñar una matriz interactiva de valores y fórmulas que estiman el predimensionamiento de columnas, vigas y losas de una edificación en tiempo real, por sectores elegidos con similitud de usos.

En la gestión del proyecto piloto del modelo de simulación se contempló:

a) el análisis y captura de datos de entrada: tipo de edificación, resistencia a la compresión del concreto, cargas permanentes y cargas variables, altura en pisos, dimensión entre ejes de columnas y voladizos; b) construcción del modelo piloto partiendo de una matriz de celdas contentivas de fórmulas referentes a los atributos de cada objeto y relacionándolos entre sí y c) diseño y realización de pruebas y análisis de los datos de salida, basados en casos de estructuras de concreto reforzado ya construidas, determinando así la efectividad de la simulación con el modelo.

Ejecución

El modelo prediseñado permitió definir las dimensiones de columnas, vigas y losas en concreto reforzado por tramos en altura y por pisos de la edificación.

En cuanto al alcance de los valores del modelo:

a) se descartó analizar el refuerzo metálico empleado para compensar esfuerzos no gravitacionales de flexión, debido a que no afectan de manera sensible el dimensionamiento físico espacial del elemento estructural del concreto una vez mayoradas las cargas actuantes y b) la matriz corresponde a una planta de geometría ortogonal de un máximo de 40 metros de extensión como límite normativo permitido por la dilatación de la estructura, a este efecto se estableció la modulación de una retícula estructural de 4 x 5 ejes de columnas que permite, ampliamente, llegar al máximo de esos límites.

El modelo se estructuró en tres partes:

1) información básica contentiva de variables como: cargas vivas o variables determinadas por el uso de la edificación y cargas muertas o permanentes; 2) procesamiento de la información básica para el análisis de cargas: aplicación del reglamento ACI 318SUS-14 para establecer las cargas gravitacionales y las cargas de trabajo mediante el proceso de mayoración de cargas que incluye consideraciones básicas de efectos de sismo y niveles de seguridad por flexión de cargas no axiales y 3) matriz de entrada y salida de datos: representada por una planta o un sector de la edificación conformada por una retícula

estructural de 4 x 5 ejes, donde se aprecian 20 columnas, 4 ejes de vigas de carga y representación de losas armadas en un sentido, con voladizos en los cuatro lados.

Esta estructura facilitó desarrollar el modelo de simulación en Excel en tres hojas de cálculo, cuyos datos se vincularon para generar la matriz interactiva.

La primera hoja denominada *Datos base*, contiene uso del modelo y la información básica, se presenta con una serie de tablas específicas contentiva de datos en Kg/m²: peso propio de columnas, vigas y losas, tabiquería, acabados, fachadas, pisos e instalaciones y resistencia del concreto a la compresión.

Los datos expresados tienen la posibilidad de ser modificados por el estudiante o el docente para brindar flexibilidad de uso del modelo por la variabilidad que presentan estos elementos de construcción.

La segunda hoja, denominada *Tabla A-01*, combina la información de las variables introducidas en los *Datos base* y la *Planta A-01* o matriz para procesarlos con base en fórmulas y métodos específicos.

La información principal de esta tabla se basa en una tabulación de los datos de entrada, que se extraen del análisis de carga cuyo contenido corresponde a: la posición de la columna, área tributaria (m²), carga por área tributaria (Kg/m²), factor α , carga factorizada por sismo ($\times 1.25$), número de pisos, carga total en Kg por pisos, área de columna m² $A = \alpha P_m / f_{cx}$, sección cuadrada, sección circular ($\emptyset$) y sección rectangular (lado A y lado B) (Tabla A-01).

Los resultados arrojados corresponden, principalmente, al predimensionamiento de columnas y se visualizan en la hoja 3 denominada *Planta A-01*, representando así el área de las columnas de acuerdo a su posición en la planta y la forma de dicho elemento, según la preferencia del diseñador (cuadrada, circular o rectangular). Para calcular la columna de forma rectangular se modifica el lado A y el B se ajusta automáticamente.

Tabla 1. Análisis de cargas mayoradas, ejemplo de demostración (Tabla A-01).

Posición columna	Área tributaria	Carga (CU) por área tributaria	Factor α	Carga		Numero de pisos	Carga Total N° de pisos	Área de columna M2.	Sección cuadrada	Sección circular (ϕ)	Sección rectangular	
				Factorizada Sismo (x1.25)							Lado A	Lado B
Esquinera	A-1	15.75	17,181.01	6.0	21,476.27	14	300,667.74	0.64	0.80	0.91	0.60	1.10
Excéntrica	A-2	24.00	26,180.59	4.6	32,725.74	14	458,160.36	0.75	0.86	0.98	0.60	1.30
Excéntrica	A-3	19.50	21,271.73	4.6	26,589.66	14	372,255.29	0.61	0.78	0.88	0.60	1.00
Excéntrica	A-4	15.00	16,362.87	4.6	20,453.59	14	286,350.23	0.47	0.68	0.77	0.60	0.80
Esquinera	A-5	7.50	8,181.44	6.0	10,226.79	14	143,175.11	0.31	0.55	0.63	0.60	0.50
Excéntrica	B-1	28.13	30,680.38	4.6	38,350.48	14	536,906.67	0.88	0.93	1.06	0.60	1.50
Centrada	B-2	37.50	40,907.18	3.3	51,133.97	14	715,875.56	0.84	0.91	1.04	0.60	1.40
Centrada	B-3	37.50	40,907.18	3.3	51,133.97	14	715,875.56	0.84	0.91	1.04	0.60	1.40
Centrada	B-4	37.50	40,907.18	3.3	51,133.97	14	715,875.56	0.84	0.91	1.04	0.60	1.40
Excéntrica	B-5	18.75	20,453.59	4.6	25,566.98	14	357,937.78	0.59	0.76	0.87	0.60	1.00
Excéntrica	C-1	24.38	26,589.66	4.6	33,237.08	14	465,319.12	0.76	0.87	0.99	0.60	1.30
Centrada	C-2	37.50	40,907.18	3.3	51,133.97	14	715,875.56	0.84	0.91	1.04	0.60	1.40
Centrada	C-3	37.50	40,907.18	3.3	51,133.97	14	715,875.56	0.84	0.91	1.04	0.60	1.40
Centrada	C-4	37.50	40,907.18	3.3	51,133.97	14	715,875.56	0.84	0.91	1.04	0.60	1.40
Excéntrica	C-5	22.50	24,544.31	4.6	30,680.38	14	429,525.34	0.71	0.84	0.95	0.60	1.20
Esquinera	D-1	7.50	8,181.44	6.0	10,226.79	14	143,175.11	0.31	0.55	0.63	0.60	0.50
Excéntrica	D-2	15.00	16,362.87	4.6	20,453.59	14	286,350.23	0.47	0.68	0.77	0.60	0.80
Excéntrica	D-3	15.00	16,362.87	4.6	20,453.59	14	286,350.23	0.47	0.68	0.77	0.60	0.80
Excéntrica	D-4	19.50	21,271.73	4.6	26,589.66	14	372,255.29	0.61	0.78	0.88	0.60	1.00
Esquinera	D-5	15.75	17,181.01	6.0	21,476.27	14	300,667.74	0.64	0.80	0.91	0.60	1.10

La tercera hoja corresponde a la *Planta A-01* o matriz, conformada por un diagrama que representa una estructura ortogonal de 5x4 ejes de columnas con vigas y losas en voladizo ubicadas en los cuatro extremos.

En la hoja de cálculo, los campos de variables del modelo se ubican en el lado izquierdo e inferior que permiten datos de entradas como: distancia entre ejes, longitud de volados, altura de la edificación en número de pisos, el lado menor de la columna rectangular y la tabla auxiliar para chequear esbeltez de columnas.

Estos datos están resaltados en la hoja y son, por definición, las variables para el manejo interactivo. Como datos de salida se obtiene: medidas de columna de forma cuadrada y circular en metros, altura de vigas de carga y

espesor de la losa aligerada armada en una dirección.

Las fórmulas y principios que determinan estos valores se basan en las sugeridas por Nilson *et al.* (2010) y el reglamento ACI 318SUS-14, cuyo método consiste en llevar las tensiones admisibles del concreto a valores que permitan no superar la resistencia del concreto y un armado medio.

La expresión resultante de este proceso consiste en asumir que las tensiones en el concreto dependen del axil o carga vertical que afectan a la columna, más la mayoración de dichas cargas mediante un porcentaje que toma en cuenta la excentricidad debido a los momentos que le llegan, razón por la cual el área de este elemento vertical se determina con la fórmula siguiente:

$$A = \alpha \frac{P}{F_c x}$$

Donde:

A= Área de la columna

M2.

α =Factor situación columna

Factor α

P= Carga por M2.

Kg/m2.

$F_c x$ =Resistencia a la compresión del concreto

280,00

Kg/cm2.

Para obtener las cargas a mayorar, una vez aplicadas las fórmulas indicadas por el reglamento ACI318SUS-14, con base en las cargas gravitacionales producto del análisis de carga y considerando las permanentes (muertas) y las variables (vivas), se concluye en calcular la mayoración de las mismas con la sola indicación de incluir una previsión

mínima para efectos de sismo, situación incluida en el modelo. En cálculos más específicos se deberá tomar en cuenta razones de orden geográfico para la zona de sismicidad más los efectos de lluvia y viento, los cuales no son objeto en la aplicación de esta investigación.

Tabla 2. Mayoración de cargas, solicitaciones para el estado límite de agotamiento resistente.

	CP		factor		CV		Factor		CV
CU=1.2CP+1.6CV+CV (9-3)	475.72	x	1.20	+	200.00	X	1.60	+	200.00 = 1,090.86
CU=1.4CP (9-1)	475.72	x	1.45						= 689.79
CU X 1.25 (Consideración Sismo)	1,090.86	x	1.25	=	1,363.58		Se asume la mayor		$FSr = \frac{CU}{C/S}$
ACI 318SUS-14					1.98	=	Factor de seguridad		

En la Figura 1 (Planta A-01) se muestra un esquema de la matriz que se emplea para la carga y lectura de resultados, la cual permite mediante celdas libres (que se encuentran sombreadas o resaltadas) introducir valores en ejes, volados y número de pisos. El resto de información, por seguridad, se presenta bloqueada para efectos de protección y evitar cualquier alteración de las fórmulas e hipervínculos que posee el modelo.

En esta matriz se reflejan los datos de dimensiones de columnas cuadradas y circulares, así como los datos de las secciones rectangulares de vigas de carga y el espesor de las losas nervadas armadas en una dirección, complementando así el modelo de predimensionamiento, con la recomendación de redondear a un múltiplo de 5 centímetros los valores arrojados en el rango intermedio.

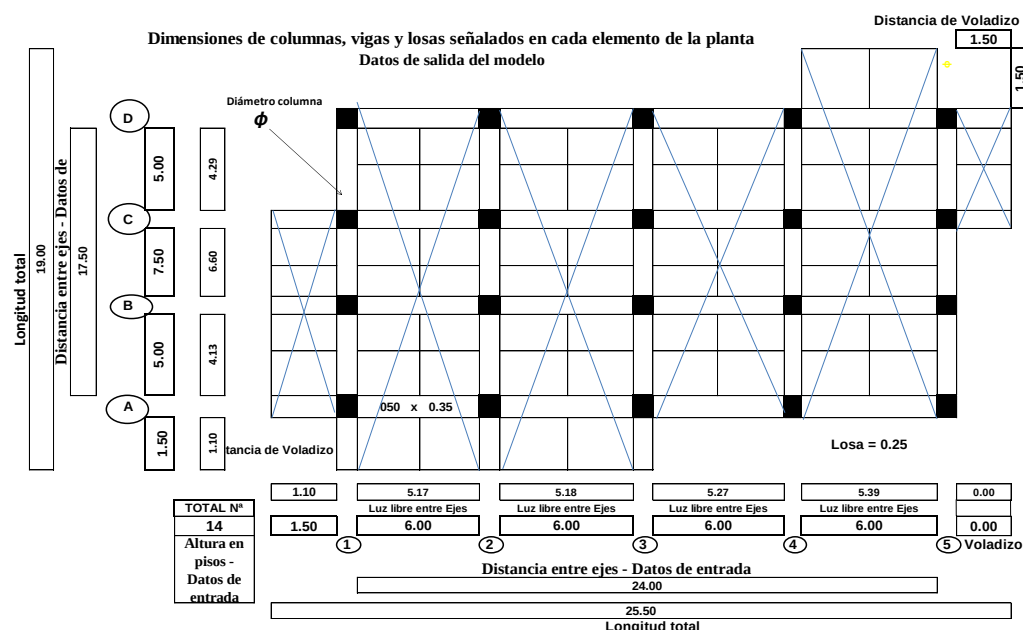


Figura 1. Matriz de procesamiento y control del modelado. (Planta A-01).

RESULTADOS

La retroalimentación del proceso de modelación comprendió la verificación para comprobar que el modelo desarrollado cumple con los requisitos autoimpuestos por el diseñador y se presentó a los estudiantes de Proyectos III que estaban realizando un ejercicio de uso residencial y comercial representado en una edificación de 12 pisos, con sótano y plantas libres. El software permitió a los estudiantes predimensionar la estructura de acuerdo con las diferentes condiciones propuestas en el ejercicio de una forma rápida y precisa, bajo las indicaciones del modelador. La experiencia determinó que la herramienta empleada es fácil de interpretar y manejar por los estudiantes.

Sin embargo, el modelador realizó ajustes y mejoras al modelo como la inserción de 3 hojas de cálculo adicionales guardando el mismo esquema de planta denominadas: A-02, A-03 y A-04 para que simulen las plantas de los pisos superiores y calculen los cambios de secciones de columnas por tramos de pisos del edificio hasta 14 niveles de altura (Figura 2). Por ejemplo, en el caso de esta edificación resultaría la siguiente estructura: la *planta A-01* permite el cálculo de dimensiones de columnas de los 2

primeros niveles de sótano con 14 pisos de carga, la *planta A-02* para los pisos comprendidos entre el primer y cuarto nivel, con 12 pisos de carga; la *planta A-03* señalaría las dimensiones de columnas de los pisos ubicados entre el quinto y octavo nivel, con 8 pisos de carga y la *planta A-04* para los pisos comprendidos en el noveno y duodécimo nivel, con 4 pisos de carga. Esta modificación señala que el modelo usa 6 hojas de cálculo en su totalidad.

El modelo de simulación definitivo se presentó a tres docentes de la unidad curricular Proyectos de la carrera de Arquitectura UNET, quienes lo consideraron como una herramienta sencilla, efectiva y de gran utilidad que puede aplicarse como recurso didáctico de carácter lúdico que permite integrar conocimientos teóricos del sistema estructural en su aplicación con el proceso de diseño arquitectónico que requiere, específicamente, el predimensionamiento de los elementos estructurales de concreto reforzado, desde Proyectos III hasta la fase del Trabajo Final de Grado (Proyecto X). Esto permite estimular los procesos de lógica estructural y su importancia en las prácticas del taller de los diferentes semestres.

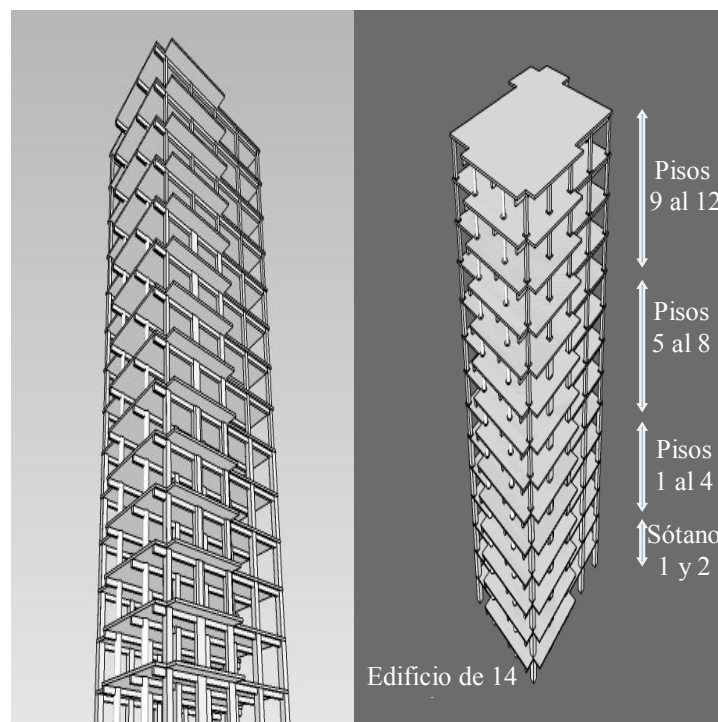


Figura 2. Resultados del ejemplo de demostración. Estructura levantada en 3D según los tamaños de columnas indicado por el modelo de simulación.

Igualmente, un ingeniero especialista en estructuras estimó que, para efectos didácticos, el modelo representa un gran potencial como recurso de aprendizaje y uso en la práctica profesional, debido a que familiariza al diseñador con los elementos tradicionales de vigas y columnas a través del uso de cuadros de formación, con una presentación sencilla, que posibilitan el predimensionamiento aproximado en estructuras simétricas al comportamiento real.

Sin embargo, podría ser revisado con un mínimo de ajustes, considerando otras variables que le permitirían una aplicación universal.

Entre las limitantes observadas se determinó que el modelo no permite colocar columnas de apoyo fuera de los ejes preestablecidos en el esquema de planta.

Tampoco contempla vacíos interiores, debido a que el objetivo es determinar dimensiones máximas del área de columnas principalmente, razón por la cual se desprecian los vacíos de escaleras, ascensores y patios por no afectar los valores estimados en el modelo.

No obstante, se considera incorporar mejoras *a posteriori* una vez realizado el seguimiento y evaluación en el uso de dicho instrumento.

DISCUSIÓN

El modelo demostró su utilidad dentro del contexto de aplicación y para verificarlo se aplicó a dos proyectos ejecutados en la ciudad de San Cristóbal que presentan una regularidad en el diseño estructural de planta: el Centro Profesional El Samán (1973) cuyo cálculo estructural se basó en la norma ACI 318-63 y las Residencias Tepuy 26 (2011) en la que se empleó la norma ACI 318-2005.

Las exigencias dimensionales de columnas por cargas gravitatorias señaladas en estas versiones de las normas, no presentan mayores diferencias con la vigente ACI 318SUS-14.

El análisis comparativo del modelo arrojó para ambos casos un predimensionamiento de columnas, vigas y losas similar a las de dichas edificaciones con una coincidencia en un 95 %.

También se aplicó a dos proyectos con un diseño estructural irregular en planta realizados por el autor: Hotel Camino de Santiago en Santa Ana del Táchira (2013) (norma ACI 318-2005) y edificio Casa Parroquial La Consolación en Táriba (1990) (Covenin 1753-87).

También, el análisis comparativo del modelo para ambos casos resultó en que las exigencias dimensionales de columnas por cargas gravitatorias no presentaron mayores diferencias entre las normas aplicadas y la vigente ACI 318SUS-14, los cuales fueron diseñados por ingenieros civiles en estructura con el uso de software especializado; los valores obtenidos de dicha comparación arrojaron resultados similares hasta en un 90%.

Según esto, se evidencia la utilidad del modelo para predimensionar estructuras de concreto reforzado en la fase de anteproyecto arquitectónico, sin recurrir a modelos y cálculos complejos con uso de software de alto nivel.

CONCLUSIONES

El modelo de simulación para pre-dimensionar estructuras en su proceso de verificación indicó que es viable como una herramienta didáctica que apoya la solución de ejercicios de diseño arquitectónico; mientras que en su proceso de validación demostró ser un modelo adaptable en el predimensionamiento de estructuras para uso de arquitectos.

Este contribuye en el diseño arquitectónico con el fin de plantear propuestas de plantas más acertadas con respecto a la distribución de espacios, reduciendo el impacto que generan las posteriores revisiones y resultados del cálculo estructural por parte de los ingenieros. En consecuencia, afecta significativamente el tiempo y el costo para adaptar nuevamente los valores finales de columnas y vigas al proyecto arquitectónico elaborado con deficiencia en su predimensionamiento.

El modelo interactivo es un recurso didáctico que apoya el proceso de enseñanza y aprendizaje en los talleres de diseño de arquitectura, pues no entra en competencia con la enseñanza clásica del cálculo estructural.

También ofrece aplicación parcial de la simulación de una estructura a analizar o comparar por sectores, sin alterar la efectividad de los demás elementos; lo que demuestra flexibilidad para la variedad de diseños que se presenten, es decir, se aplica por similitud en los diversos sectores de interés del edificio.

REFERENCIAS

- American Concrete Institute (ACI) 318SUS-14 (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. 38800. Farmington Hills: Autor.
- Fullana, C. y Urquía, E. (2009). *Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación*. Revista Dialnet Unirioja, 11 (32), p. 37-48. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10486/679256>
- Hurtado, J. (2012). *Metodología de la investigación: guía para una comprensión holística de la ciencia*. Bogotá, Ediciones Quirón – Sypal.
- Izquierdo, L., Galán, J., Santos, J., Del Olmo, R. (2008). *Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas*. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales, 16, p. 85-112. Disponible en: revistas.uned.es/index.php/empiria/article/view/1391.
- Maldonado, C. y Gómez, N. (2010). *Modelación y simulación de sistemas complejos*. Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad – CEEP. Bogotá: Universidad
- American Concrete Institute (ACI) 318-05 (2005). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural* (ACI 318).P. B. Farmington Hills: Autor.
- American Concrete Institute (ACI) 318-63 (1963). *ACI Standard Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. Michigan: Autor. Covenin 1753-87. Estructuras de Concreto Armado para edificaciones: análisis y diseño (Nº 6-87). Norma Venezolana. 8 de diciembre de 1987. Caracas: Ministerio del Desarrollo Urbano.
- del Rosario.
- Nilson, A., Darwin, D., Dolan, C. (2010). *Design of Concrete Structures*. (14º Ed.).New York: The McGraw-Hill Companies.
- Parra, A. (2004). *Modelación y simulación del diseño de trabes y columnas de concreto reforzado para apoyo a la docencia*. (Tesis de Maestría en línea). Instituto Politécnico Nacional. México. Disponible en: tesis.ipn.mx/handle/123456789/1341
- Suber, P. (2003). *Formal systems and machines: an isomorphism: hand-out for logical systems*. Indiana: Earlham College
- Torroja, E. (2010). *Razón y ser de los tipos estructurales* (3º Ed.). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- Wight, J. y MacGregor, J. (2012). *Reinforced concrete mechanics and design* (6º Ed.).New Jersey: son Education, Inc., Sixth Edition Upper Saddle River, 0745

PARTICULARIDADES MORFOLÓGICAS Y CONSTRUCTIVAS DEL CRECIMIENTO VERTICAL EN EDIFICACIONES EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE SAN CRISTÓBAL, ESTADO TÁCHIRA

MORPHOLOGICAL AND CONSTRUCTIVE PARTICULARITIES OF VERTICAL GROWTH IN BUILDINGS IN DOWNTOWN SAN CRISTOBAL, TACHIRA STATE

AUTORES:**Villanueva, Luis; Machado, José; Marín, Dulce; Orozco, Enrique**

Programa Tecnología y Producción del Grupo de Investigación Arquitectura y Sociedad. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Arquitectura UNET.

Corresponding Author:

lvillan@unet.edu.ve

Palabras clave: Densificación, crecimiento vertical, morfología edificatoria, soluciones constructivas, contaminación visual.

Key words: Densification, vertical growth, building morphology, constructive solutions, visual contamination.

RESUMEN

La ciudad de San Cristóbal viene experimentando un proceso de densificación urbana en la que destaca el fenómeno del crecimiento vertical sobre las edificaciones preexistentes, lo cual genera modificaciones en la morfología urbana y edificatoria que pueden afectar la tipología arquitectónica y propiciar la aparición de lesiones constructivas. El objetivo de esta investigación fue determinar las particularidades morfológicas y constructivas del crecimiento vertical en edificaciones ubicadas en el centro de la ciudad de San Cristóbal; para este fin se parte de un enfoque postpositivista donde se usan datos cuantitativos y cualitativos con la finalidad de realizar un análisis descriptivo de tal situación, todo apoyado en un trabajo de campo en un sector de 55 manzanas, con un total de 465 edificaciones y una muestra de 108 edificaciones con crecimiento vertical. En el sector estudiado se genera una densificación urbana por crecimiento vertical no planificada, al margen del cumplimiento de los permisos municipales y la ausencia de la asesoría-proyecto de profesionales; todo motivado por la necesidad física-espacial de ampliar los metros cuadrados para destinarlo al uso comercial y residencial. En el 96% de los casos, la intervención por crecimiento vertical es negativa, ya que se agrede de manera morfológica la edificación original por la mixtura de formas, materiales, colores y acabados; a su vez, constructivamente, no existe un adecuado uso de las soluciones estructurales para garantizar la durabilidad y estabilidad de la edificación lo que tiene su incidencia en la calidad y estética de la imagen de la ciudad.

ABSTRACT

The city of San Cristóbal has been experiencing a process of urban densification which highlights the phenomenon of vertical growth on pre-existing buildings; this situation generates changes in urban and building morphology, affecting the architectural typology and promoting the appearance of building damages. The objective of this investigation was to determine the morphological and constructive peculiarities of vertical growth on buildings in the downtown area of San Cristóbal; for this purpose, a methodological post-positivistic approach, simultaneously handling quantitative and qualitative aspects for a descriptive research was used, supported by a field work in a sector of 55 blocks with a total of 465 buildings and a sample of 108 buildings with vertical growth. In the sector studied, urban densification is generated by unplanned vertical growth, besides non-compliance with municipal permits, and the absence of professional advice-projects, all this motivated by the physical-spatial need to expand the commercial and residential area to be used. In 96% of the cases, the intervention by vertical growth is negative, since the original building is altered in a morphological way by the mixture of shapes, materials, colors and finishes, in turn constructively there is no adequate use of the structural solutions to guarantee the durability and stability of the building, which affects the quality and aesthetics of the image of the city.

Recibido: 22/03/2018 Aprobado: 14/06/2018 Versión Final: 06/09/2018

INTRODUCCIÓN

La ciudad como unidad urbana representa un espacio de reflexión e investigación, siendo un laboratorio multidimensional en la que confluyen aspectos físicos-políticos-territoriales y socio-económicos-culturales; todos ellos particularizados por la naturaleza, intereses y acciones de los diferentes actores que interactúan (Ferrer, 2013). La génesis de una ciudad viene marcada, generalmente, con el reconocimiento y las formas de ocupación territorial en las que en postreras acciones se entretajan diversas tipologías y formas de “hacer, habitar-vivir y pensar la ciudad” (Ferrer, 2013, p. 15), lo que deriva en la expansión y crecimiento territorial.

La expansión natural de la ciudad, producto del desbordamiento poblacional y la necesidad de ocupación de nuevo territorio, se ha visto frenada por la baja disponibilidad de terrenos urbanizables que limitan su accesibilidad por su alto valor económico. En los últimos años se ha notado el auge de la densificación urbana mediante el proceso del crecimiento vertical, derivado de intervenciones progresivas en las edificaciones. Esto se constituye en un interesante tipo de modificación de la arquitectura existente que busca adaptar la construcción a nuevas exigencias de espacio, derivadas de las dinámicas de aumento poblacional y cambios socioculturales de una localidad. Este fenómeno, generalizado en gran parte de nuestras ciudades latinoamericanas, está relacionado con su densificación interna a través de la reestructuración de las áreas ya construidas, en un proceso de transformación que es notorio en la imagen urbana y que caracteriza propiamente la arquitectura.

La ciudad de San Cristóbal, capital del estado Táchira, no escapa de esta realidad, pues la densificación urbana ha hecho que el crecimiento vertical sobre las edificaciones preexistentes modifique la morfología urbana, específicamente la morfología del edificio que lleva implícita la tipología edificatoria: características espaciales, volumétricas y constructivas (Babini, Alcaraz, Hernández y Salgado, 2012). Dentro de las posibles causas,

este fenómeno pudiera asociarse a aspectos tales como la falta de la planificación y el control adecuado de los organismos competentes, lo que favorece actuaciones individuales sin asistencia técnica especializada; generándose, por lo regular, un producto de baja calidad, propenso a padecer lesiones en el tiempo y que incide en la seguridad constructiva de sus usuarios y en la morfología e imagen arquitectónica-urbana de la ciudad.

Esta situación se pudo constatar previamente en el artículo realizado por Machado *et al.*, (2013) en el que mediante un muestreo aleatorio en edificaciones localizadas en el centro, zonas aledañas y áreas de expansión urbana de la ciudad de San Cristóbal, registraron edificaciones de variadas características en cuanto al uso, altura, antigüedad y técnicas constructivas. Estas presentaron una gama de respuestas que afectan la arquitectura existente en su forma, función y tecnología constructiva, de manera degenerativa, haciéndola medioambientalmente vulnerable.

Con esta visión general del fenómeno urbano en San Cristóbal, se estableció como objetivo determinar las particularidades morfológicas constructivas del crecimiento vertical en edificaciones de un sector en el centro de la ciudad para que, de forma comparativa, se pudieran tener las recurrencias o patrones de acciones de los usuarios, así como la gama de soluciones físicas y estéticas realizadas que repercuten en ese dinámico proceso urbano que vive la ciudad.

El abordaje de un fenómeno urbano dentro de la ciudad genera nuevas preguntas de investigación, por lo que se requiere de un basamento teórico claro y flexible así como de la experiencia innovadora de profesionales y ciudadanos que perciban tanto lo cuantitativo como lo cualitativo de ese diálogo entre lo tangible y lo intangible, y que representen las voces sociales de los especialistas (Rivera y Sánchez, 2013).

Con respecto al tema urbano de la ciudad han tenido vigencia fenómenos de su expansión que indican un crecimiento y desarrollo de este

núcleo de manera planificada o informal sobre terrenos adyacentes o periféricos que pueden tener generalmente un carácter rural (Salazar, 2001). La expansión tiene variadas y confrontadas posiciones sobre sus desventajas como tipo de crecimiento, a saber: a) no ha podido solucionar los problemas críticos de vivienda; b) es costosa la dotación del transporte e infraestructuras; c) servicios públicos insuficientes e ineficientes; d) afecta el paisaje y el medio ambiente; e) se construye una periferia habitacional sin calidad de vida; f) invasión de terrenos y áreas naturales, etc. (Salazar, 2001; Chavoya *et al.*, 2009).

En los últimos años ha tomado mayor fuerza, como una posibilidad de equilibrio a la expansión urbana, el proceso de densificación urbana de la ciudad existente mediante el reordenamiento de zonas de baja densidad, áreas y edificaciones abandonadas, terrenos baldíos o con uso de servicios e industriales. De manera que la densificación busca el aumento de la densidad humana, entendida esta como el número de población por unidad espacial (Chavoya *et al.*, 2009).

La densificación urbana de manera planificada representa una solución a la necesidad de vigencia y calidad de vida, pudiéndose emprender acciones de diferentes naturaleza, tales como: a) reconversión de lo existente; b) construcción dentro del tejido urbano; c) atribución de un nuevo valor de uso a edificios existentes; d) dar mayor altura a edificios existentes. Estas acciones pueden significar beneficios de carácter público, social y económico para la gestión de la ciudad, entre ellos: a) mejores servicios de transporte público; b) mayor facilidad para la dotación de servicios públicos; c) reuso de infraestructuras y mezcla socio-funcional; d) sociabilidad y vitalidad urbana; e) ambiente favorable para los negocios; f) preservación de las áreas verdes; g) ahorro del suelo agrícola y h) gobernabilidad menos compleja (Chavoya *et al.*, 2009, p. 40). Una forma práctica e innovadora de materializar la densificación urbana es mediante el crecimiento vertical de las edificaciones preexistentes a través del proceso de intervención arquitectónica y constructiva o la realización de nuevas

edificaciones tipo torres que disminuye el área de ocupación en el terreno y ahorro en los costos de inversión.

La morfología urbana es el aspecto externo que presenta la ciudad, sobre la que se estudia el tejido urbano y sus elementos construidos desde su génesis, evolución, transformación e interrelaciones físicas y procesos sociales. Puede estar representada por los siguientes aspectos: a) el entorno natural —sitio de emplazamiento y situación urbana—; b) la construcción urbana —tipología de los edificios y el volumen—; c) el entramado urbano en función de sus elementos: calles, aceras, plazas, manzanas, entre otros; d) los usos del suelo y e) las características propias de los elementos físicos construidos —las edificaciones— (Azevedo, 2003; Rangel, 2006; Babini *et al.*, 2012).

Específicamente sobre el ítem “e” *Características propias de los elementos físicos construidos, edificaciones*, se centra el estudio morfológico y constructivo de las edificaciones, que engloba: arquitectura, naturaleza y color de los materiales, formas y tipos de cubiertas, proporciones de los vanos, volumetría y número de plantas, técnicas de construcción, entre otros. La morfología urbana de la ciudad o de un sector, inciden sobre la morfología edificatoria individual, haciéndose recíproca e influyente sobre la percepción global de la construcción y entramado urbano, razón por la cual es necesario entender cómo la dinámica de la densificación mediante el crecimiento vertical de las edificaciones puede contribuir en la morfología de un lugar.

Con respecto a la densificación urbana, Marín (2005) identifica algunas formas de crecimiento de las edificaciones, principalmente las vinculadas a la modificación sin subdivisión de la parcela, ni sustitución y construcción de edificaciones, a saber: a) modificación interna por crecimiento de la edificación sin afectación de la parcela; b) modificación de la edificación por crecimiento vertical sobre ella, sin afectación de la parcela; c) modificación de la parcela y de la edificación por ocupación de los retiros a través de la sumatoria o adición de nuevos elementos edificatorios; d) subdivisión de la

parcela original para generar un nuevo inmueble, trayendo la densificación de la manzana; e) sustitución parcial o total de las edificaciones existentes y f) construcción de nuevas edificaciones sobre parcelas libres.

La densificación urbana por crecimiento vertical de las edificaciones existentes es un proceso que está acompañado de la constante alteración e intervención de la arquitectura, producto de actuaciones para adaptarla a diferentes necesidades; esta acción puede tener diferentes niveles de profundidad sobre los elementos funcionales, formales y técnicos-constructivos, que le confiere al edificio, generalmente, cambios estructurales y morfológicos importantes, logrando nuevos usos, proporciones y funcionamientos. Según Marín (2005) se pueden limitar las acciones interventoras en los siguientes niveles: a) mantenimiento y b) reutilización, para que la edificación pueda cumplir un nuevo ciclo de vida albergando la misma función o cambiando su uso original.

Dentro de la intervención arquitectónica, la reutilización de las edificaciones existentes representa una opción de densificación urbana por las siguientes razones: a) permite la conservación de buena parte del parque inmobiliario; b) facilita dar respuesta a la obsolescencia de las edificaciones por causas funcionales, pues ya no cumple las funciones para la cual fue concebida y construida como los aspectos físicos (deterioro de la estructura, las instalaciones); económicos (no es rentable mantener determinados usos) y sociales (sea necesaria la adecuación de su imagen a nuevos tiempos) y, finalmente, c) costos de nuevas construcciones en contraposición con una reutilización.

La reutilización de una preexistencia conlleva una metamorfosis que puede cambiar drásticamente su imagen, su aspecto físico, alterando ciertos elementos de índole formal que le mantenían integrada con el entorno, ya que produce una variación de sus relaciones funcionales y espaciales así como de sus componentes constructivos. También permite proponer actuaciones más conservadoras, manteniendo los elementos que le confieren una

personalidad propia, aún si se le proporciona una apariencia más contemporánea, sin menoscabar al mismo tiempo la identidad de la localidad.

Este proceso de transformación morfológica de la edificación tiene su incidencia en la envolvente arquitectónica, es decir, la capa exterior que tiene por objeto proteger el interior frente a los agentes y factores externos; esa envolvente está definida tanto por los cerramientos verticales de fachadas como por los horizontales de cubierta (Monjo, 2001). La edificación, a lo largo de su funcionamiento, puede verse afectada negativamente por diversas lesiones constructivas, originadas por variaciones térmicas e hidrotérmicas de los materiales, acciones de la lluvia y del viento sobre los componentes, cargas y sobrecargas en la estructura, entre otras.

Al ser los agentes activos o pasivos las causas que actúan como origen del proceso patológico, derivándose en una o varias lesiones, estas pueden clasificarse como indirectas y directas. Las primeras se refieren a errores y defectos —en el proyecto, en la ejecución, el material y en la utilización y falta de mantenimiento periódico—; y las directas, como los agentes que ponen en marcha el proceso patológico —de origen mecánico, de origen físico y de origen químico—; es decir, la acción concreta sobre la unidad constructiva o sus materiales que inicia la degradación de los mismos. Esto finaliza con la pérdida de su integridad o de su aspecto, lo que constituye la lesión observable como síntoma (Monjo, 2000; Departamento de Construcción, 1990).

Se identifican diferentes familias o tipos de lesiones: las físicas (humedades, erosiones y suciedades); las mecánicas (deformaciones, grietas, fisuras, desprendimientos y erosiones) y las químicas (eflorescencias, oxidaciones y corrosiones, organismos, pudriciones y erosiones). Adicionalmente, se pueden incorporar las lesiones estéticas ocasionadas, específicamente, por el hombre sobre la edificación que afectan negativamente a la estética original de lo construido (Departamento de Construcción, 1990).

MÉTODO

Con base en una postura cualitativa se identifican las variables que intervienen en el crecimiento vertical para, posteriormente, determinar niveles de crecimiento de las edificaciones y su grado de afectación en contraste con los fundamentos teóricos referidos a intervención arquitectónica, densificación urbana, crecimiento tecno-constructivo y lesiones constructivas. Mientras que con la postura cuantitativa se logra medir porcentajes y frecuencias al caracterizar los aspectos morfológicos y constructivos de dicho crecimiento.

Esta investigación de tipo descriptiva estuvo dirigida a conseguir, básicamente, una caracterización del fenómeno dentro de las particularidades contextuales, por lo que se apoya en un trabajo de campo que permitió obtener registros fotográficos del crecimiento vertical que se da en el sector objeto de estudio.

Se registró en un instrumento de recolección de datos, lo observable desde el exterior de las edificaciones que presentan el crecimiento vertical sobre lo preexistente.

Con el fin de estudiar el fenómeno, de manera comparativa, en un mismo sector que posee

edificios de diferentes momentos históricos de la expansión de la ciudad y tipologías constructivas, se consideró enfocarse en una muestra de edificaciones en el centro de la ciudad de San Cristóbal.

Para ello se definió un área de estudio urbana compuesta por 55 manzanas que parte de la Avenida Carabobo por el norte hasta la calle 3 sobre El Viaducto por el sur, y la carrera 4 por el oeste hasta la carrera 8 por el este.

Destaca en esta área dos arterias viales muy importantes que unen la ciudad de norte a sur y viceversa, como son las avenidas Francisco García de Hevia e Isaías Medina Angarita —5ª y 7ª avenida, respectivamente—.

En las 55 manzanas se cuenta con 465 edificaciones; sin embargo, se registraron como muestra solamente las que, mediante la observación exterior, poseen una intervención por crecimiento vertical, reduciéndose la cantidad a 108 edificaciones.

A continuación se representa en la Figura 1 dos planos: uno en el que se identifica la localización del área de estudio y otro en el que se indican las manzanas y las edificaciones estudiadas.

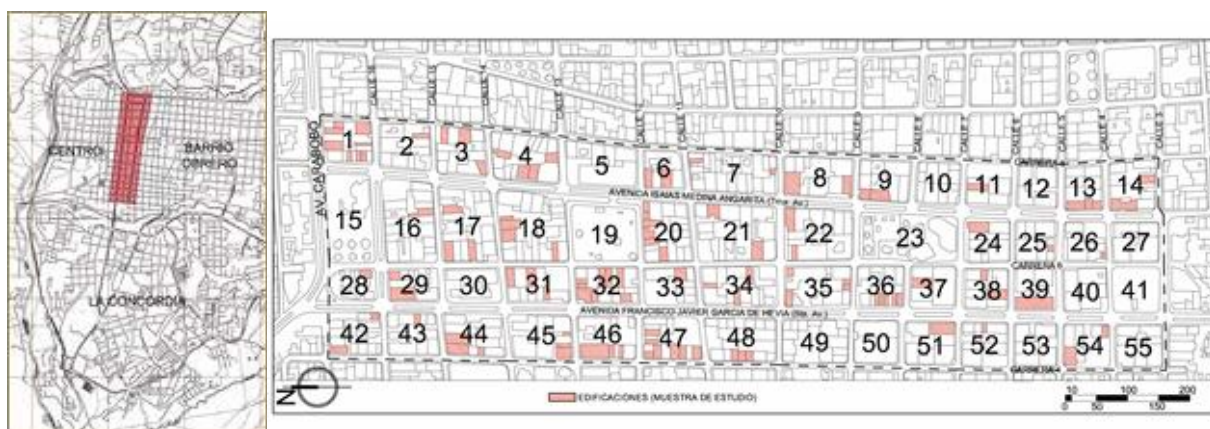


Figura 1. Sector seleccionado para el estudio en el centro de la ciudad de San Cristóbal e identificación en color rojo de las ciento ocho (108) edificaciones registradas que presentan intervención por crecimiento vertical.

RESULTADOS

El ámbito de estudio seleccionado pertenece a un sector de mayor dimensión que es reconocido como el centro de la ciudad de San Cristóbal, refleja una morfología urbana o “...imagen de ciudad compacta, representada por su unicidad física, complejidad y heterogeneidad funcional que predominó hasta mediados del siglo XX” (Pérez, 2008, p. 14).

En la misma época, esta zona de la ciudad empieza a sufrir transformaciones urbanas, sociales y económicas, dándole vida a nuevos procesos de expansión sobre otros sectores del territorio; además de densificación en el núcleo funcional y casco central por la subdivisión o fraccionamiento de los terrenos, con la consiguiente aparición de nuevos inmuebles que permite caracterizarla como ciudad desagregada (Pérez, 2008).

La morfología edificatoria durante estos cuatro siglos de vida urbana está caracterizada por edificaciones de uno, máximo dos pisos alineadas a la calle, teniendo una acera como elemento mediador entre la edificación y la calle.

Ya a mediados del siglo XX empiezan a levantarse sobre el eje de la Quinta y Séptima Avenida edificaciones elevadas como producto de las tendencias del lenguaje del movimiento moderno en el mundo; estas edificaciones sobrepasan los 3 pisos alcanzando hasta más de 10 pisos; todo esto propiciado por la ordenanza de zonificación de 1976 del Municipio San Cristóbal que privilegiaba una nueva centralidad de corredores urbanos techados.

En relación con la tipología edificatoria, en el área de estudio todavía se mantienen en pie edificaciones que reflejan la evolución arquitectónica y técnica-constructiva en la ciudad, derivadas de los aspectos culturales, necesidades y valores de una sociedad que responde a la disponibilidad de recursos

tecnológicos, relacionados con factores económicos y políticos, así como de las influencias externas (Orozco *et al.*, 2012).

Caracterización del crecimiento vertical

El desarrollo del trabajo de campo en el sector de estudio permitió obtener de manera cuantitativa los siguientes resultados y hallazgos en las edificaciones, los cuales se agrupan en los siguientes aspectos: características generales, características constructivas, lesiones en las edificaciones y valoración morfológica.

Características generales

Son los aspectos particulares de cada edificación en relación con sus condiciones generales, tales como: uso, crecimiento o ampliación, altura y tipología constructiva.

a. Uso de la edificación: el 49% de la muestra presenta el uso mixto, en el que mayormente se produce la combinación comercio-vivienda o comercio-oficina; 37% de los casos tiene uso comercial y un 14% de tipo residencial, representado en viviendas unifamiliares y multifamiliares; esto se debe principalmente a la fuerza que ha tomado la actividad comercial que propicia la convivencia del uso comercial con el residencial ola desaparición de este último.

b. Grado o tipo de crecimiento: se detecta un 65% de edificaciones cuyo crecimiento vertical es total, ya que ocupa el ciento por ciento del área en planta de la edificación original; en el 31% de los casos este crecimiento es parcial y en el 4% restante se da un crecimiento mixto, referido principalmente a la construcción de dos pisos, uno con ocupación total y el otro con ocupación parcial.

c. Altura de la edificación original y de los crecimientos: con respecto a la altura de la edificación original se observa un 46% de los casos con 1 y 2 pisos; 42 % entre 3 y 4 pisos y 12% con 5 o más pisos. La altura de los crecimientos es entre 1 y 2 pisos (ver Figura 2).



Figura 2. Crecimiento vertical que combina uso residencial y comercial con ocupación en un 100% del área en planta de la edificación y, generalmente, de un solo piso sobre edificaciones que van desde un piso a más de cuatro.

d. Tipología edificatoria: el 45% de la muestra se puede catalogar como edificaciones contemporáneas; seguido de un 31% de edificaciones de la época moderna; igualmente, se evidencia en un 15% de los casos una arquitectura de transición, mientras que el 9% restante se clasifica dentro de una tipología

tradicional. Cabe destacar que en la muestra registrada se tienen edificaciones representativas de los diferentes momentos históricos de la evolución arquitectónica de la ciudad y que todavía persisten a pesar de los procesos de transformación del sector en estudio (ver Figura 3).



Figura 3. Crecimiento vertical que se genera sobre una edificación tradicional, una de la etapa de transición, época moderna y contemporánea, respectivamente.

Características constructivas

Hace referencia a las particularidades de los componentes constructivos de las edificaciones, específicamente, a los materiales que los conforman, las condiciones de los componentes de la edificación original y del crecimiento.

a. Material en los componentes estructurales de la edificación original: en el 73% de la muestra se utiliza concreto armado, 6% en metal, 15% en tierra, y 6% en otros materiales —destaca el empleo del ladrillo como muro portante—. Se encuentran combinaciones de soluciones en concreto armado con tierra; concreto armado y metal; y metal con tierra.

b. Material de los componentes estructurales del crecimiento: en los casos registrados se aprecia que el 22% está constituido por concreto armado, el 75% por perfiles metálicos y el 3% por otros materiales, tales como bloques de cemento y ladrillo. El uso de la estructura metálica se debe, principalmente, por la disponibilidad de esta en el mercado local y por las pocas labores de preparación e instalación en obra. Destaca en este aspecto la combinación inadecuada de materiales y la falta de continuidad en la unión de los elementos estructurales de la edificación original con el crecimiento vertical, situación que se convierte en una vulnerabilidad sísmica (ver Figura 4).

CRECIMIENTO VERTICAL EN EDIFICACIONES

Villanueva, L.; Machado, J.; Marín, D.; Orozco, E.



Figura 4. Crecimiento vertical que se genera con un sistema estructural principalmente en estructura metálica, apoyada sobre muros de tierra o ladrillo y sobre pórtico en concreto armado.

c. Material en los componentes de cerramiento vertical de la edificación original: la composición de la muestra está distribuida en un 77% por cerramientos de mampostería (bloques y ladrillos), 14% de tierra, 7 % metal y 2% de vidrio.

d. Material de los componentes de cerramiento vertical del crecimiento: en las unidades de estudio dichos cerramientos están constituidos por mampostería en bloques y ladrillos con el 51%, en metal el 15%, en vidrio 19 %, mientras que un 15% de los casos no

manifiestan cerramientos verticales debido a que en su crecimiento prevalece el cerramiento horizontal de cubierta.

e. Material en los componentes de cerramiento horizontal: de la totalidad de las edificaciones, el 10 % está constituido por losas, 70% por láminas livianas, 14% por madera con tejas y un 6% por otros materiales, específicamente madera machihembrada revestida con manto impermeabilizante (ver Figura 5).



Figuras 5. Como cobertura del crecimiento se tiene una gran variedad de soluciones: losa de concreto, lámina metálica liviana con mayor predominio, machimbre con teja y lámina traslúcida.

Lesiones constructivas en las edificaciones

Se registra la existencia de lesiones en los diferentes componentes constructivos de la edificación de manera visible en su parte exterior, tales como: estructura, cerramientos verticales y horizontales. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

a. Lesiones en los componentes estructurales de la edificación: 39% de los casos analizados demuestran lesiones constructivas; por su parte, un 61 % de la muestra no evidencia a simple vista lesiones en la parte externa de las edificaciones.

De esto se refleja que en las edificaciones con lesiones el 32 % son de origen físico ya que muestran síntomas de humedad y suciedad; 56% de origen químico, representado por los síntomas de eflorescencia, oxidación-corrosión y presencia de organismos; 10% de origen mecánico, cuyos síntomas visibles son deformación estructural, grietas, fisuras y desprendimiento, finalmente, el 40% es de origen estético dado que desvirtúa la esencia de la edificación original.

b. Lesiones en los componentes de cerramiento vertical de la edificación: se evidencia que en el 90% de los casos analizados se manifiesta algún tipo de lesión, mientras que en el 10% esta situación no se presenta de forma visible. De la totalidad de la muestra un 50% es de tipo físico —humedad, suciedad y erosión—, el 18% de tipo químico —eflorescencia, oxidación, pudrición y erosión—, 17% de tipo mecánico —deformación, grieta, fisura y desprendimiento— y el 56% de tipo estético por el uso y combinación inadecuado de materiales.

c. Lesiones en los componentes de cerramiento horizontal de la edificación: se evidencia en un 60% de los casos analizados algún tipo de lesión, mientras que en el 40% no se registra. El 27% de las lesiones pueden catalogarse como físicas, el 47% son químicas, el 22 % mecánicas y el 44% estéticas, producto del distanciamiento de estas soluciones en materiales livianos con la edificación original.

d. Grado de afectación de las lesiones sobre los componentes constructivos: con respecto a la estructura el 67 % de las lesiones pueden considerarse leves, 13% moderadas y 2% fuertes; en los cerramientos verticales el 64% son leves, 29% moderadas y 4 % fuertes; en los cerramientos horizontales los valores

corresponden a lesiones leves con un 77%, moderadas 18% y fuertes 5%.

Valoración morfológica de la edificación

Para la valoración morfológica de la edificación el criterio utilizado fue el concepto de unidad, referido a la relación formal y volumétrica entre la edificación original y el nuevo crecimiento, así como de la edificación con el entorno inmediato. Se consideran cinco aspectos, a saber:

a. Unidad formal: en el 16% de las edificaciones sí se percibe, mientras que en un 84 % no. Se encuentra una gran variedad de soluciones formales que contrastan y agreden a la edificación original.

b. Unidad de estilo: en el 12% de los casos se da esta condición y en un 88% no. Esta situación se debe, principalmente, a que no existe un estudio integral entre la edificación original y la necesidad de crecimiento, relacionada con el momento en que fue construida y a los elementos compositivos que caracteriza cada estilo.

c. Unidad de color: esta se manifiesta en un 34%; por su parte, un 66% no. Este es un lógico criterio para lograr de manera sencilla la unidad, pero la situación predominante es el uso variado del color.

d. Unidad de acabados: la misma es lograda en el 19% de las unidades estudiadas, mientras que en un 81 % no.

e. Unidad con el entorno: al considerar la unidad de la edificación estudiada con el entorno, 39% de los casos evidencian esta cualidad, en contraste con un 61% que no. Se toma para ello los aspectos formales, la altura de las edificaciones, el color, entre otros (ver Figura 6).



Figura 6. En las dos primeras fotos las edificaciones muestran algunos rasgos de unidad formal, de estilo, color y acabados; las dos siguientes son la expresión de la falta de unidad al combinar materiales, formas y colores.

DISCUSIÓN

La tendencia de los resultados obtenidos sobre las 108 edificaciones registradas coinciden, en cierta forma, con los hallazgos presentados por Machado y otros investigadores (2013), siendo estos los aspectos predominantes:

a) el crecimiento vertical se realiza sobre la totalidad del área en planta de la edificación original; b) constructivamente el crecimiento vertical es ejecutado con estructura metálica, con cerramientos en mampostería, vidrio o en casos particulares sin cerramientos, y como cubierta las láminas livianas metálicas; c) presencia de lesiones físicas, químicas, estéticas y, en menor proporción, mecánicas por falta de mantenimiento periódico de los elementos constructivos y de servicio.

También es recurrente la falta de unidad constructiva desde el punto de vista de continuidad de los componentes estructurales, relación de los materiales de cerramientos horizontales y verticales; así como la ausencia, en la mayoría de los casos, de la unidad compositiva y estética entre la vivienda original y el nuevo crecimiento.

CONCLUSIONES

Sobre las particularidades morfológicas y constructivas del crecimiento vertical en las 108 edificaciones en el centro de la ciudad de San Cristóbal, se logró comprobar que es un fenómeno informal de densificación urbana por aumento de cantidad de pisos sobre la

edificación preexistente. Se obtiene como valoración general que en el 96% de los casos la intervención por crecimiento vertical es negativa, ya que en muchos casos agreden morfológica y constructivamente la edificación original por la mixtura de formas, materiales, colores y acabados; aunado a estos, no se tiene conciencia del uso adecuado de las soluciones estructurales para garantizar la durabilidad, estabilidad y seguridad del edificio lo que desencadena lesiones constructivas (humedad, suciedad, eflorescencia, oxidación, pudrición, fisura, grietas y deformaciones) que fueron percibidas como leves, pero que si no son atendidas se convierten en detonantes de futuras lesiones comprometedoras.

Este fenómeno morfológico de las edificaciones, tiene repercusiones sobre la imagen y estética urbana del sector en estudio al alterar los perfiles y frentes urbanos, convirtiéndose en elementos físicos agresores y de contaminación visual que propician la pérdida en la calidad del centro de la ciudad de San Cristóbal y refuerza la dinámica de la ciudad desagregada.

Esta realidad nos lleva a puntualizar sobre la importancia del rol de los órganos municipales de gestión de la ciudad, así como de los profesionales en el área en su accionar social y técnico, para que cualquier intervención sobre la arquitectura preexistente trascienda por su significado y contribución para hacer ciudad.

REFERENCIAS

- Azevedo, E. (2003). La vivienda en la morfología urbana del centro histórico de Morelia, en *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, vol. VII, núm. 146(071). <[http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-146\(071\).htm](http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-146(071).htm)> [ISSN: 1138-9788]
- Babini, A., Alcaraz, O., Hernández, J., Salgado, A. (2012). Análisis urbano y morfológico de Taxco de Alarcón, Gro. Siglo XX. Marco teórico metodológico, en *Topofilia Revista de Arquitectura, Urbanismo y Ciencias Sociales Centro de Estudios de América del Norte, El Colegio de Sonora*, volumen III número 1, México.
- Chavoya, J., García, J., Rendón, H. (2009). Una reflexión sobre el modelo urbano: ciudad dispersa-ciudad compacta, en *5th International Conference Virtual City and Territory, Barcelona*. Disponible en: <http://myslide.es/documents/una-reflexion-sobre-el-modelo-urbano-ciudad-dispersa-ciudad-compacta.html>
- Departamento de Construcción Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid (1990). Patología de fachadas urbanas. Universidad de Valladolid, España.
- Ferrer, M. (2013). Ciudad y sostenibilidad, mirada desde la genética territorial (Prólogo), en *Arquitectura y Sociedad. Materiales de Investigación II*. FEUNET, San Cristóbal, Venezuela.
- Machado, J., Marín, D., Naranjo, H., Orozco, E., Villanueva, L. (2013). Consideraciones morfológicas y tecno-constructivas del crecimiento vertical en edificaciones, en *Arquitectura y Sociedad. Materiales de Investigación II*. FEUNET, San Cristóbal, Venezuela.
- Marín, D. (2005). La reutilización de la arquitectura. Construir sobre lo construido, en Barrio Obrero en la ciudad San Cristóbal, Venezuela. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Valladolid. España.
- Monjo, J. (2000). Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos. Ediciones Munilla-Lería, Tercera edición, España.
- Monjo, J. (2001). La funcionalidad de la arquitectura, en *Tratado de construcción. Sistemas*, Ediciones Munilla-Lería, Madrid, España.
- Orozco, E., Marín, D., Naranjo, H., Villanueva, L. (2012). La vivienda urbana. Notas sobre su construcción y evolución, en *San Cristóbal: una mirada en sus 450 años*, FEUNET, San Cristóbal, Venezuela.
- Pérez, T. (2008). San Cristóbal en la segunda mitad del siglo XX. De ciudad compacta a ciudad desagregada. FEUNET, San Cristóbal, Venezuela.
- Rangel, M. (2006). Ciudad y estructura espacial. Evolución morfológica de las ciudades del estado Mérida-Venezuela, en *Revista Geográfica Venezolana*, volumen 47(1), pp. 57-84, Venezuela.
- Rivera, M., Sánchez, F. (2013). Proyectar para la ciudad desde la reflexión y el diálogo, en *Arquitectura y Sociedad. Materiales de Investigación II*. FEUNET, San Cristóbal, Venezuela.
- Salazar, J. (2001). ¿Expansión o densificación? reflexiones en torno al caso Bogotá, en *Revista Bitácora Urbano Territorial*, núm. 5, 2001, Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/748/74800505.pdf>

CIENCIAS EXACTAS

MORFOLOGÍA DE ESTRUCTURAS VEGETATIVAS EN CUATRO ESPECIES DEL GÉNERO *Heliconia* L., PRESENTES EN DOS MUNICIPIOS DEL ESTADO TÁCHIRA – VENEZUELAMORPHOLOGY OF VEGETATIVE STRUCTURES IN FOUR SPECIES OF GENUS *Heliconia* L., PRESENT IN TWO MUNICIPALITIES OF THE TÁCHIRA STATE – VENEZUELA**AUTORES:****Castillo, Maicol¹; Acuña, Elsie²; Sanabria, María Elena³; Zapata, Yurli²**¹Departamento de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Experimental del Táchira.²Parque Jardín Botánico Paramillo. Universidad Nacional Experimental del Táchira.³Postgrado de Agronomía. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado".**Corresponding Author:**

mjcastillo@unet.edu.ve

Palabras clave: Estructuras vegetativas, *Heliconia*, morfología, estado Táchira.**Key words:** Vegetative structures, *Heliconia*, morphology, Táchira state.**RESUMEN**

En el estado Táchira las especies de *Heliconia* crecen en diferentes pisos altitudinales, desempeñando un papel ecológico dentro de los ecosistemas; sin embargo, no se han realizado estudios detallados acerca de sus diversas estructuras morfológicas vegetativas que permitan su separación en ausencia de las reproductivas. Esta investigación de tipo descriptiva se llevó a cabo con la finalidad de realizar una descripción de hojas y pseudotallos en cuatro especies del género *Heliconia*, ubicadas en los municipios García de Hevia y Ayacucho del estado Táchira, Venezuela, identificadas como *Heliconia mariae* Hook f. (1864), *H. stricta* Huber (1906), *H. episcopalis* Vell. (1829) y *H. platystachys* Baker (1893). En la zona de estudio se realizaron las observaciones morfológicas a través de mediciones en campo y laboratorio, incluyendo caracteres relacionados con el nivel de lacinamiento, formas del ápice y base foliar, presencia de capas de cera, altura y superficie foliar. Los caracteres vegetativos relacionados con el ápice y la base foliar, el patrón de máculas, las capas cerosas en la nervadura central del pecíolo y el lacinamiento, permitieron hacer una distinción entre *H. mariae*, *H. stricta*, *H. episcopalis* y *H. platystachys* en su hábitat, sin depender de la presencia de la inflorescencia, la cual está solo en determinadas épocas del año.

ABSTRACT

In Táchira state, species of the genus *Heliconia*, grow in different altitudinal floors, which play an important ecological role within the ecosystems; however, no detailed studies have been carried out on their several structures that allow their separation in the absence of reproductive structures. This investigation is a descriptive work with the main objective of describing leaves and pseudostems in four species of the genus *Heliconia*, present in the municipalities García de Hevia and Ayacucho of the Táchira state, Venezuela, identified as *Heliconia mariae* Hook f. (1864), *H. stricta* Huber (1906), *H. episcopalis* Vell. (1829) and *H. platystachys* Baker (1893). In the study area, morphological observations were made through field and laboratory measurements, including characteristics related to the level of furrow, apex form, leaf base, presence of wax layers, height of plant and leaf surface. The vegetative characters related to the apex and the foliar base, the pattern of macules, the waxy layers in the central midrib, the petiole and the laccination made it possible to make a distinction between *H. mariae*, *H. stricta*, *H. episcopalis* and *H. platystachys* in their habitat, without depending on the presence of the inflorescence, which is found only at certain times of the year.

Recibido: 12/04/2018 Aprobado: 10/07/2018 Versión Final: 06/09/2018

INTRODUCCIÓN

El género *Heliconia* es el único de la familia Heliconiaceae y se incluye en el orden Zingiberales; en el mismo se agrupan más de 225 a 250 especies en el mundo y el 98 % se encuentran distribuidas en el centro y sur de América y el Caribe (Kress *et al.*, 1999; Maza y Builes, 2000, Henao y Ospina, 2008). Son principalmente del neotrópico, distribuidas desde México hasta Argentina y las nativas del trópico de Asia, donde muchas, naturalmente, se cultivan como ornamentales (Berry y Kress, 1991).

Las Heliconias se ubican entre las especies tropicales más populares para el cultivo como plantas ornamentales, por su durabilidad y el colorido de sus brácteas, pues son los órganos más vistosos, con colores primarios o mezclados, esto ha provocado que su demanda sea cada vez mayor. De allí que, en distintas investigaciones, se abordan las principales características botánicas, su propagación, atenciones culturales, cosecha, conservación, almacenamiento, comercialización e importancia, planteándose la necesidad de estudiar aquellos caracteres de utilidad para potenciar el estudio del género, explotarlo de forma sostenida y conservar este recurso fitogenético (Sosa, 2013).

Como plantas de jardín las heliconias son ideales para sembrar en fincas o antejardines, al borde de cañadas o lagunas; como flores de corte, tienen la ventaja de su prolongada duración, ya que pueden permanecer frescas hasta por un mes (Hernández *et al.*, 2005). Son plantas asombrosas, no solo por la belleza de sus brácteas, sino por el aporte importante al desarrollo de un ecosistema tropical. Su exuberancia las ha convertido en las favoritas de las regiones con bosques tropicales en el país y en el mundo (Alaguna, 2007). Un importante número de especies de *Heliconia* han sido reportadas en el estado Táchira por Aristeguieta (1961) y Bono (1996); sin embargo, no existe un estudio detallado de la estructura que las conforman, aunado a esto, muchas de las zonas en donde han sido reportadas a bajas altitudes

dentro de este mismo estado, se encuentran amenazadas por la tala y quema de los bosques debido a las actividades agropecuarias, principalmente relacionadas con la ganadería doble propósito, dado que se elimina el bosque primario para el establecimiento de potreros, representando una seria amenaza para este grupo de plantas. Llamozas *et al.* (2003) señalaron que existen algunas especies de distribución restringida dentro de la zona del pie de monte andino-lacustre.

El conocimiento de las características del crecimiento y desarrollo vegetativo, de los cambios que conducen a la floración y la distribución y magnitud durante el ciclo de producción, son importantes para el diseño y producción de especies de *Heliconia* en el trópico. Esto hace necesario estudios donde se incluya el efecto de los factores ambientales que condicionan su manejo hortícola tales como la luz, la temperatura y la humedad que intervienen de manera decisiva en el desarrollo del vegetal, por tanto, una inadecuada condición de estos factores puede reducir el vigor de la planta o limitar su desarrollo (Schluter *et al.*, 2003).

Por lo general, los caracteres taxonómicos utilizados para la clasificación e identificación de las especies de heliconia están basados en características de la inflorescencia y morfología floral; sin embargo, debe tenerse en cuenta que algunas presentan un periodo determinado de floración, por lo que diversos aspectos a nivel vegetativo, principalmente relacionados con la hoja, pueden ser usados con este propósito (Tomlinson, 1962; Dahlgren *et al.*, 1985; Sanabria, 1996).

Un aspecto a considerarse son los cambios ocasionados en la morfología por el efecto del ambiente de desarrollo sobre las estructuras vegetativas que crecen, de manera silvestre o bajo manejo hortícola, en Venezuela, tal como lo demostraron Uzcátegui *et al.* (2013) en *H. orthotricha* 'Eden Pink' y *H. orthotricha* 'Limon' bajo tres condiciones de irradiancia.

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación consistió en caracterizar

morfológicamente las estructuras vegetativas aéreas de cuatro especies de *Heliconia*, ubicadas en los municipios García de Hevia y Ayacucho, en el estado Táchira, Venezuela.

MÉTODO

Las muestras de las especies *Heliconia mariae*, *H. stricta*, *H. episcopalis* y *H. platystachys* se colectaron en los municipios Ayacucho y García de Hevia, en el estado Táchira, correspondientes a la bioregión Sur del Lago de Maracaibo, a una altitud de 130 msnm, creciendo de forma silvestre, a la sombra parcial de árboles de más de 10 m de alto. El clima del área es, de acuerdo a la clasificación de Köppen, tropical lluvioso de selva, presentándose una precipitación de 2.651 mm/año y una temperatura de 26,9 °C. El paisaje correspondió a la zona de pie de monte, con suelos arcillosos, francos (arcillo arenosos y arenosos) y areno francos y zonas de planicie, donde los suelos presentan texturas francas, franco arcillo limosa y franco arenosa. De cada especie se escogieron 5 individuos adultos, completamente desarrollados y en el

momento de máxima (meses de marzo hasta noviembre), de los cuales se tomó un brote para afectar de forma mínima a cada planta. De cada uno de estos se seleccionó la hoja mejor desarrollada en posición intermedia, de manera que se pudiese elegir aquella que resultara más representativa.

Las variables consideradas fueron altura de la planta, desde el nivel del suelo hasta la porción distal del pecíolo de la hoja más joven; grosor y altura del pseudotallo; largo y ancho de la lámina foliar, esta última en los tercios basales, medios y apicales; ángulos marginales y costales de las nervaduras secundarias; largo y grosor del pecíolo; superficie de la lámina foliar, grosor de la nervadura central, asimetría de la base foliar; color de pseudotallo, pecíolo y nervadura central e indumentos.

Para la clasificación de tamaños foliares y hábitos de crecimiento se emplearon los sistemas de Roth (1986) y Moreno (2005), respectivamente (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Clasificación de los tamaños foliares según la superficie de la hoja.

Clasificación de las hojas	Superficie (cm ²)
Hojas squamófilas	Hasta 1
Hojas nanófilas	1 a 4
Hojas micrófilas	4 a 20
Hojas medianas	20 a 100
Hojas macrófilas	100 a 1.000
Hojas gigantófilas	Más de 1.000

Fuente: Roth *et al.* (1986).

Tabla 2. Clasificación de los hábitos de crecimiento según la altura de la planta.

Hábito de crecimiento	Altura (cm)
Hierbas pequeñas	25 a 150
Hierbas medianas	150 a 200
Hierbas grandes	Más de 200

Fuente: Moreno (2005).

RESULTADOS

Heliconia mariae Hook. F

H. mariae es una planta herbácea, erecta, rizomatosa, de arquitectura musíode, de 4,00 a 5,10 m de altura, robusta y cuyo crecimiento se corresponde a la ramificación simpodial del rizoma, el cual da origen a brotes monocárpicos de características idénticas entre sí dentro del mismo rizoma. La inflorescencia es terminal con filotaxis dística.

Las hojas son simples, pinnatinervias, dísticas, vernación convoluta, cuyas vainas foliares concrecentes forman el pseudo tallo de 2,52 a 3,42 m de altura y de 5,98 a 9,33 cm de grosor. La lámina foliar presentó una longitud promedio de 2,56 m, de ancho variable, entre 38,3; 59,7 y 32,83 cm en los tercios basal, medio y apical, respectivamente, dando lugar a una estructura oblonga, cuya superficie promedio es de 11.248,97 cm². Los márgenes son enteros, lacinados por acción del viento; la base foliar es cordada, cuyos bordes no alcanzan el mismo

punto en el pecíolo, presentando variaciones de asimetría que van de los 4,50 a 7,50 cm; el ápice es redondeado (Figuras 1a y 1b).

La nervadura central en las hojas de *H. mariae* es conspicua hacia la superficie abaxial de la lámina, el grosor varió de 1,40 a 1,83 cm en el tercio medio, con una hendidura que recorre todo el largo de la superficie adaxial, extendiéndose hasta la porción distal del pecíolo. Se observaron máculas púrpura en la superficie inferior, en algunos casos de formas irregulares, tenues o de gran tamaño, por lo tanto más evidentes (Figura 1c).

Las nervaduras secundarias se disponen oblicuas a la principal y paralelas entre sí, formando ángulos que variaron de 82° a 96° y de 62° a 85° en la región costal y marginal, respectivamente. El pecíolo es glabro, verde, semicircular en sección transversal, de 2,25 a 3,04 cm de grosor y de 65,00 a 165,00 cm de largo, con máculas semejantes a las descritas para las nervaduras en ambas superficies, de formas y tamaños variables.

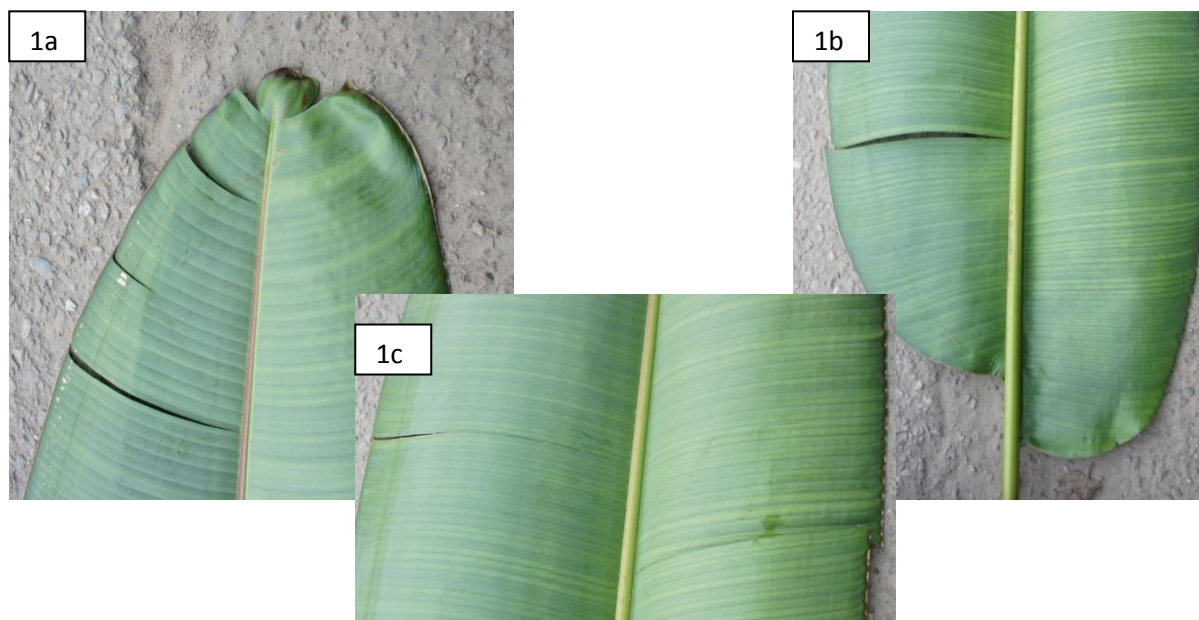


Figura 1. Características morfológicas de la lámina foliar de *H. mariae*: 1a) Ápice redondeado, mácula continua en la nervadura central, 1b) Base foliar cordada, asimétrica, 1c) Máculas púrpuras tenues en nervadura central, tercio medio de la hoja.

Heliconia stricta Huber

H. stricta es una planta herbácea, erecta, rizomatosa, de arquitectura musoide, de 1,61 a 3,71 m de altura. Las hojas son simples, pinnatinervias, dísticas, vernación convoluta y cuyas vainas foliares concrecentes forman un pseudotallo de 0,87 a 2,11 m de altura y de 2 a 3,95 cm de grosor. La lámina foliar presentó una longitud promedio de 1,38 m, el ancho varió de 20,8; 27,3 y 13,1 cm en los tercios basal, tercio medio y apical, respectivamente, de forma oblonga, cuya superficie promedio es de 3.049,50 cm². Los márgenes enteros o de leve a moderadamente lacinados por acción del viento. La base foliar es aguda, presentando variaciones de asimetría que van de los 5,00 a 8,00 cm y el ápice es cuspidado (Figuras 2a y 2b).

La nervadura central en las hojas de *H. stricta* es muy conspicua hacia la superficie abaxial, de 1,40 a 1,83 cm de grosor en el tercio medio y una hendidura que la recorre a todo lo largo en la adaxial, hasta la porción distal del pecíolo, con una gran mácula púrpura en toda la abaxial (Figura 2c). Las nervaduras secundarias se presentaron levemente oblicuas a la principal y paralelas entre sí, formando ángulos en la región costal que van de 76° a 82°, mientras que en la marginal estos tuvieron un valor de 61° a 64°. El pecíolo glabro, verde, semicircular en sección transversal, de 0,90 a 1,40 cm de grosor y de 74,00 a 160,00 cm de largo. Se observó, además, la presencia de máculas púrpura tanto adaxial como abaxialmente, semejantes a las descritas (Figura 2d).

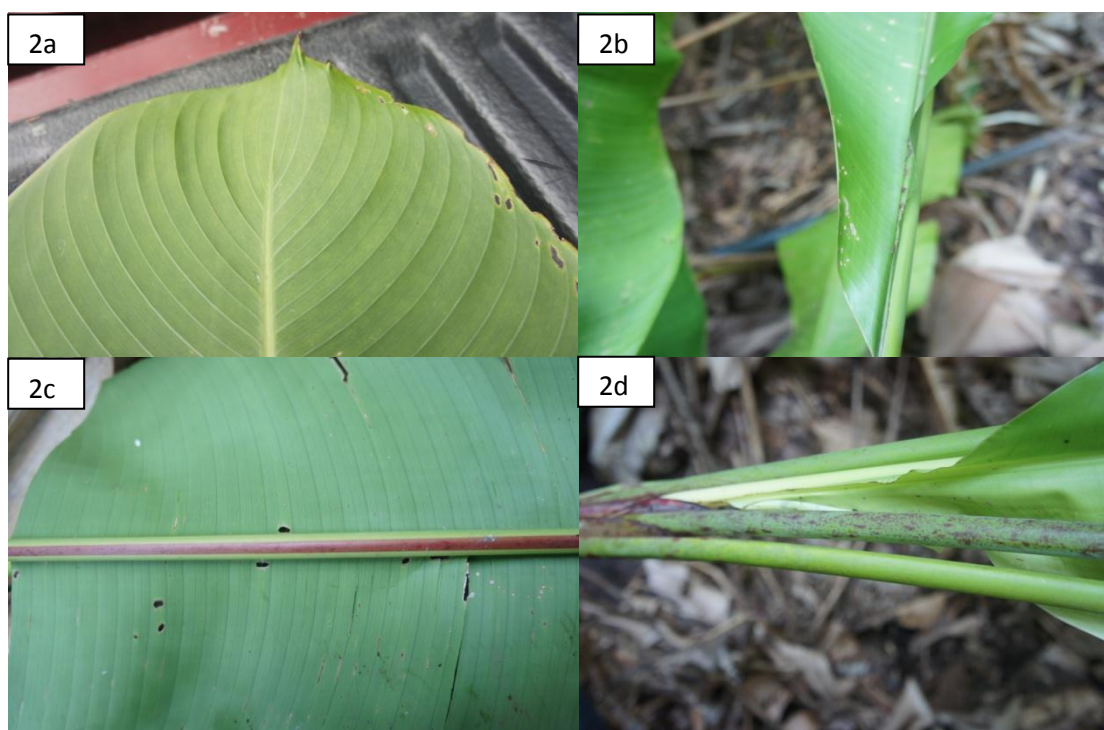


Figura 2. Características morfológicas de la lámina foliar de *H. stricta*: 2a) Ápice cuspidado, 2b) Base foliar aguda con evidentes asimetrías, 2c) y 2d) Máculas púrpura en la nervadura central y en el pecíolo, respectivamente.

Heliconia episcopalis Vell

H. episcopalis es una planta herbácea, erecta, rizomatosa, de arquitectura musoide, de 1,06 a 2,90 m de altura. Las hojas son simples, pinnatinervias, dísticas, vernación convoluta, con las vainas foliares recubiertas por unas capas

cerosas, concrecentes formando un pseudotallo cuya longitud va de 0,68 a 1,84 m de altura y de 2,8 a 4 cm de grosor. La lámina foliar presentó una longitud promedio de 1,24 m, con ancho variable de 25,00; 33,13 y 25,32 en los tercios basal, medio y apical, respectivamente, de forma

MORFOLOGÍA VEGETATIVA EN HELICONIA

Castillo, M.; Acuña, E.; Sanabria, M.; Zapata, Y.

ovalada y la superficie promedio fue de 3.225,00 cm². Los márgenes, principalmente enteros, pocas veces lacinados por acción del viento. La base foliar es acuminada, con leves variaciones de asimetría que van de los 2,50 a 5,00 cm, el ápice apiculado (Figuras 3a y 3b).

La nervadura central en las hojas de *H. episcopalis* son muy conspicuas, con un grosor variable de 0,70 a 1,10 cm en el tercio medio, una hendidura que recorre todo el largo de la superficie adaxial de la lámina, la cual se extiende hasta la porción distal del pecíolo y exhibe máculas púrpura, que en algunos casos,

son de forma continua en toda la abaxial de manera lineal y en otros irregular (Figura 3c). Las nervaduras secundarias fueron levemente oblicuas a la principal y paralelas entre sí, con ángulos más agudos con respecto al margen de la hoja, observándose, para el primer caso, valores de 76° a 83° y para el segundo de 60° a 68°. El pecíolo, glabro, verde, con capas cerosas, de forma semicircular en sección transversal, de 1 a 1,6 cm de grosor y de 38 a 106 cm de largo. Se observó también la presencia de máculas color púrpura tanto en la superficie adaxial como abaxial, de formas y tamaños variables (Figura 3d).

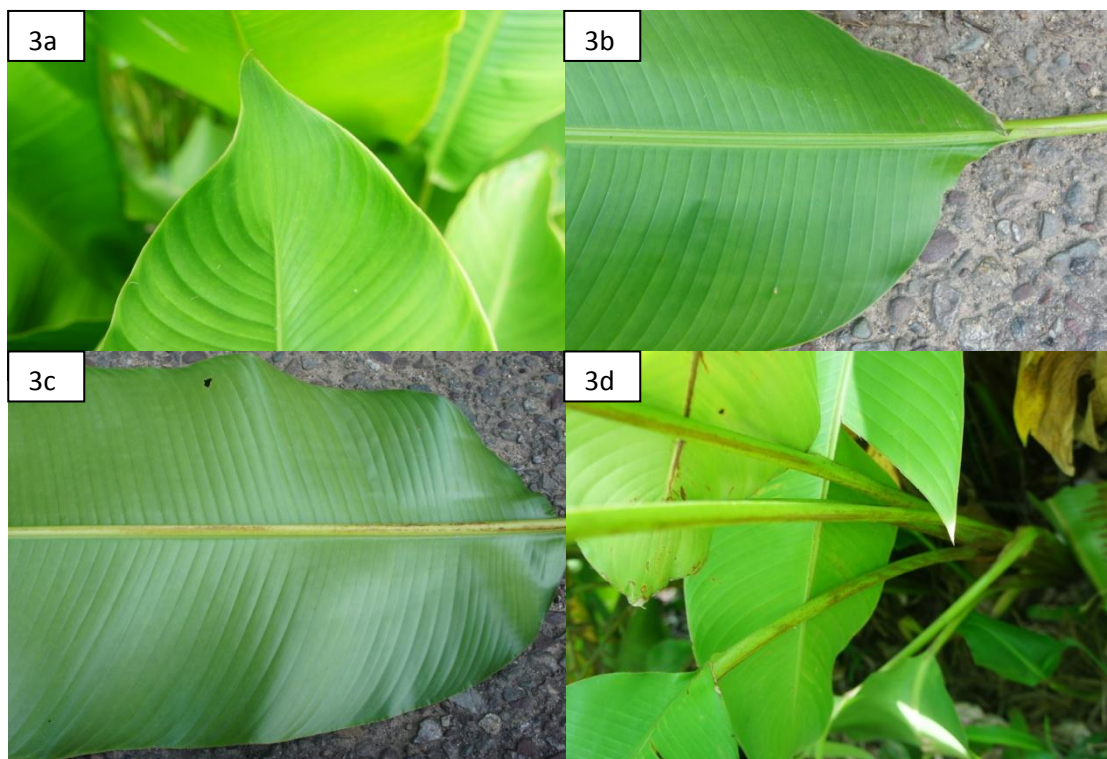


Figura 3. Características morfológicas de la lámina foliar de *H. episcopalis*: 3a) Ápice apiculado, 3b) Base foliar acuminada con leves asimetrías, 3c) y 3d) Máculas púrpura en la nervadura central en el pecíolo, respectivamente.

Heliconia platystachys Baker

H. platystachys es una planta herbácea, erecta, rizomatosa, de arquitectura musoide, de 2,90 a 3,70 m de altura. Las hojas son simples, pinnatinervias, dísticas, vernación convoluta, con las vainas foliares conrescentes formando un pseudotallo cuya altura varió entre 2,08 a 3,00 m y 4,60 a 5,40 cm de grosor. La lámina foliar

presentó una longitud promedio de 1,53 m, con ancho variable a lo largo de esta, siendo de 22,36, 32,86 y a 33,5 cm en los tercios basal, medio y apical, respectivamente, de forma oblonga y cuya superficie promedio fue de 4.488,02 cm². Los bordes se mostraron fuertemente lacinados por acción del viento,

raramente enteros. La base foliar cordada, con variaciones de asimetría que van de los 4,00 a 6,00 cm y el ápice es agudo (Figuras 4a y 4b).

La nervadura central en *H. platystachys* es muy conspicua, con un grosor de 0,70 a 1,14 cm en la parte central, con una hendidura que la recorre a todo lo largo en la superficie adaxial, la cual se extiende hasta la porción distal del pecíolo, exhibiendo máculas muy pequeñas, tenues y capas cerosas en la abaxial (Figura 4c). Las nervaduras secundarias fueron levemente

oblicuas a perpendiculares a la principal y paralelas entre sí, formando ángulos en la región costal que van de 80° a 90°, mientras que en la marginal se presentaron levemente oblicuos a agudos, encontrando valores de 61° a 89°.

El pecíolo es glabro, verde, de forma semicircular en sección transversal, de 1,20 a 1,62 cm de grosor y de 87,00 a 123,00 cm de largo, con capas cerosas en ambas superficies (Figura 4d).

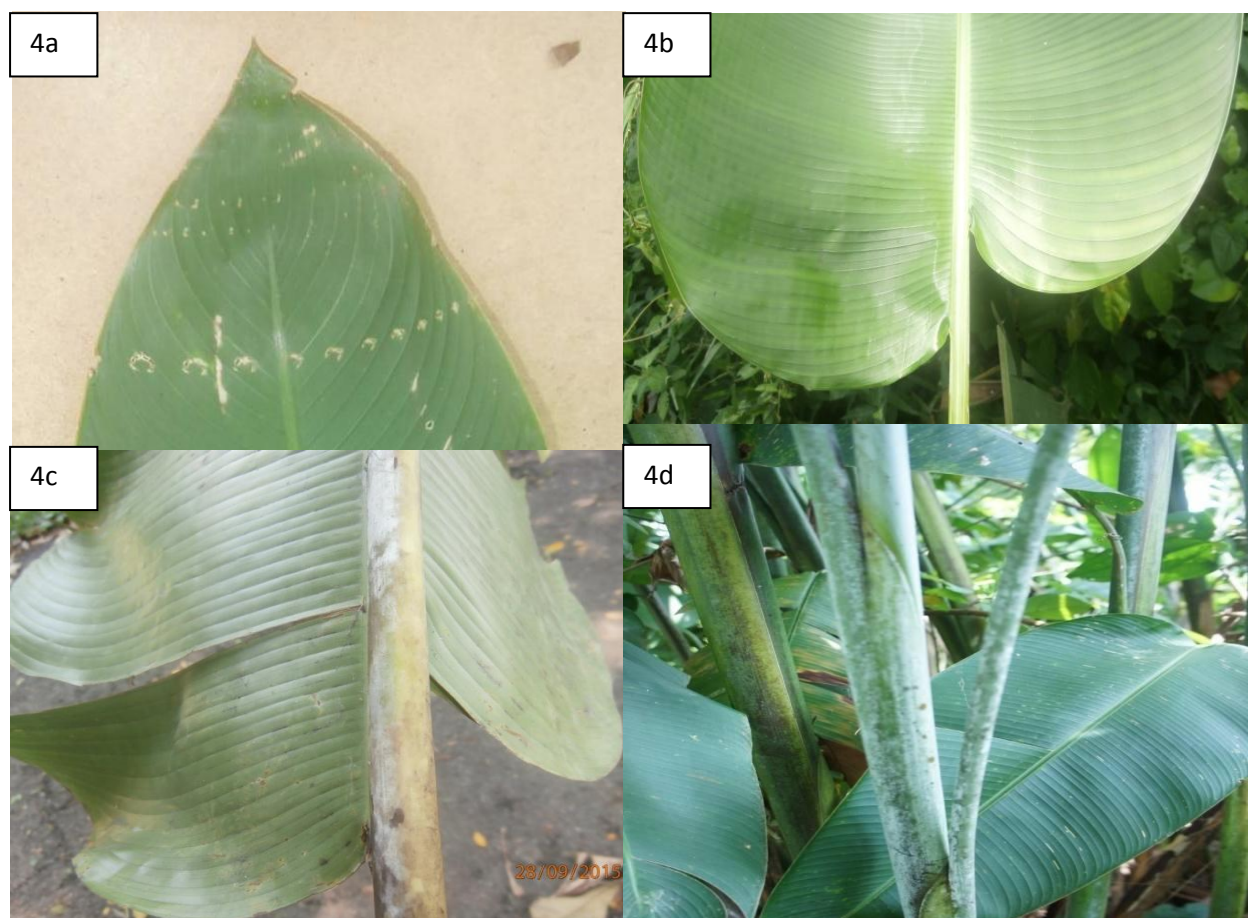


Figura 4. Características morfológicas de la Lámina foliar de *H. platystachys*: 4a) Ápice agudo, 4b) Base foliar cordada con evidentes asimetrías, 4c) y 4d) Máculas púrpura y capas cerosas en la nervadura central y en el pecíolo, respectivamente.

Las diferentes características encontradas a nivel cuantitativo (valores promedio) y cualitativo de

las especies en estudio son resumidas en las Tablas 3 y 4.

MORFOLOGÍA VEGETATIVA EN *HELICONIA*

Castillo, M.; Acuña, E.; Sanabria, M.; Zapata, Y.

Tabla 3. Resumen de los caracteres cuantitativos medidos en las especies de *Heliconia* colectadas.

Valores promedio de los caracteres		<i>H. mariae</i>	<i>H. stricta</i>	<i>H. episcopalis</i>	<i>H. platystachys</i>
Altura (m)		4,48	2,61	2,13	3,40
Longitud del pseudotallo (m)		2,97	1,46	1,45	2,54
Grosor del pseudotallo (cm)		8,08	3,19	3,50	4,86
Longitud del pecíolo (cm)		120,5	114,6	67,75	101,6
Grosor del pecíolo (cm)		2,67	1,2	1,38	1,42
Longitud de la lámina foliar (m)		2,56	1,38	1,25	1,53
Ancho de la lámina foliar	Tercio basal (cm)	38,33	20,8	25	22,36
	Tercio medio (cm)	59,17	27,3	33,13	32,86
	Tercio apical (cm)	32,83	13,1	25,32	33,5
Grosor de la nervadura central (cm)		1,61	0,72	0,95	0,90
Ángulos costales		86°	79°	79°	85°
Ángulos marginales		73°	61°	63°	82°
Superficie de la lámina foliar (cm ²)		11.248,97	3.049,51	3.225,00	4.488,02
Asimetría en la base foliar (cm)		6,25	6,2	3,13	5

Tabla 4. Resumen de los caracteres cualitativos observados en las especies de *Heliconia* colectadas.

CARACTER	<i>H. mariae</i>	<i>H. stricta</i>	<i>H. episcopalis</i>	<i>H. platystachys</i>
Ápice	Redondeado	Cuspidado	Apiculado	Agudo
Base foliar	Cordada	Aguda	Acuminada	Cordada
Lacinamiento	Leve a moderado	Leve a moderado	Nulo a leve	Fuerte
Máculas	De gran tamaño y formas irregulares en la nervadura central. De formas y tamaños variables en el pecíolo.	De gran tamaño, forma lineal, recorre toda la nervadura central. De formas y tamaños variables en el pecíolo.	Irregulares o lineales en la nervadura central. De formas y tamaños variables en el pecíolo.	Pocas, de aspecto tenue.
Capas de cera	Ausentes	Ausentes	Presentes en pecíolo	Presentes en pecíolo, nervadura central y pseudotallo.
Hábito de crecimiento	Hierba grande	Hierba grande	Hierba grande	Hierba grande
Tamaño foliar	Gigantófila	Gigantófila	Gigantófila	Gigantófila

DISCUSIÓN

Las cuatro especies de *Heliconia* estudiadas presentaron alturas considerables, por tanto, de acuerdo con la clasificación de Moreno (2005) se consideraron como hierbas grandes ya que superaron los 2,00 m. Las láminas foliares, en todos los casos, superaron los 1.000,00 cm², de allí que se consideraron hojas de tipo gigantófilas de acuerdo con Roth *et al.* (1986), característica que se considera como una

consecuencia de la alta humedad atmosférica para especies de este mismo género de la Selva Nublada de Rancho Grande, en donde encontró una tendencia general a la formación de limbos grandes y enteros. La zona en estudio considerada para esta investigación, presenta una alta precipitación y humedad atmosférica que favorece el desarrollo de las características vegetativas descritas; sin embargo, a diferencia del caso de Rancho Grande, en la zona Sur del Lago de Maracaibo existe una alta incidencia de vientos fuertes, lo que ocasiona un fuerte

lacinamiento de la lámina foliar y se ve más acentuado aún por tratarse de hojas de gran tamaño; esto también fue señalado en investigaciones previas realizadas por Aristieguieta (1961), Barreiros (1974), Santos (1978), Kress (1984) y Sanabria (1996) con la diferencia de que en las cuatro especies incluidas en esta investigación, el grado de lacinamiento es variable, encontrándose que fue de menor a mayor, en el siguiente orden: 1) *H. episcopalis*, 2) *H. mariae*, 3) *H. stricta* y 4) *H. platystachys*. El ápice y la base foliar de las especies incluidas en esta investigación fueron distintos.

En el primer caso, aunque la mayoría de estas (exceptuando a *H. mariae*) presentaron formaciones de “punta de gotero”, tal cual lo descrito por Roth *et al.* (1986) para *H. hirsuta* es considerado por Vareschi (1992) como una característica morfotipo que permite a la hoja evacuar el exceso de agua sobre la superficie foliar, como respuesta a las condiciones de alta precipitación propias de la Zona Sur del Lago de Maracaibo.

Por su parte, la bases foliares demostraron diferentes grados de asimetría y los bordes no alcanzaron el mismo punto en el pecíolo. Según Kress *et al.* (2004) esta es una característica común de este género, lo cual coincidió con lo señalado para *H. bihai* y *H. psittacorum* por Sanabria (1996), colectadas en el estado Sucre; por López (2000) y Sanabria (2002) para *H. latispatha* cultivadas en el estado Lara y en *H. angusta* y *H. velloziana* (Simão y Scatena, 2001).

Para el caso de las nervaduras en la central es posible señalar, como un aspecto común, la presencia de una hendidura que recorre todo lo largo de esta en la superficie adaxial y se extiende hasta la porción distal del pecíolo. Según Kress *et al.* (2004) esta tiene la función de conducir agua que cae sobre la lámina hacia el interior del pseudotallo. Por otra parte, las diferencias que se observaron referentes a la presencia de máculas, las cuales fueron más evidentes en *H. mariae*, *H. stricta* y *H. episcopalis* coincidió con lo descrito por Sanabria (1996) para especímenes de *H. bihai* y

H. psittacorum colectados en el estado Sucre. En el caso de *H. platystachys* estas se presentaron de forma muy tenue y, adicionalmente, la presencia de capas de cera se encontró solamente en esta especie.

Las nervaduras secundarias fueron oblicuas a la principal y paralelas entre sí, formando ángulos con esta de disposición similar a la descrita por Sanabria (2002) para *H. latispatha*, el valor de ángulos en la región costal va de 82° a 96° y en la región marginal de 62° a 85°. Estos valores superan levemente la relación establecida por Triplett y Kirchoff (1990) quienes señalaron que en las especies de *Heliconia* cuyas hojas son largas, se deben presentar ángulos costales en el rango de 75° a 85°.

El pecíolo fue bastante largo en las especies estudiadas, una característica que fue señalada como propia del género *Heliconia* por Aristieguieta (1961), similar a lo observado por Andersson (1981), Sanabria (1996), Simão y Scatena (2001). Las máculas estuvieron presentes de forma muy notoria en *H. mariae*, *H. stricta* y *H. episcopalis* y muy tenues en *H. platystachys*. La presencia de estas en el pecíolo ha sido reportada para otras especies de este mismo género, como es el caso de *H. bihai* y *H. psittacorum* (Sanabria, 1996); entretanto, las capas de cera se observaron solo para las especies *H. episcopalis* y *H. platystachys*, coincidiendo con lo señalado por Kress *et al.* (2004) para esta última especie y por Anderson (1981) para *H. caribaea*.

Con respecto a los resultados se puede considerar que las características vegetativas, principalmente las de la lámina foliar, permitieron la identificación a nivel de campo de estas cuatro especies, que en apariencia lucen bastante similares en ausencia de la inflorescencia. De allí que pudiesen considerarse las hojas y los caracteres descritos como un recurso valioso desde el punto de vista taxonómico, pues permiten la identificación de las mismas en cualquier época del año, tal como lo señalan Triplett y Kirchoff (1990).

CONCLUSIONES

Los caracteres vegetativos relacionados con el ápice y la base foliar, el patrón de máculas, las capas cerosas en la nervadura central y peciolo y el lacinamiento de las láminas foliares, bajo las condiciones en las cuales se realizó este estudio, permitieron hacer una distinción entre *H. mariae*, *H. stricta* Huber, *H. episcopalis* y *H. platystachys*, permitiendo así diferenciarlas en su hábitat, sin depender de la presencia de la inflorescencia, la cual está solo en determinadas épocas del año.

REFERENCIAS

- Alaguna, N. (2007). Estudio de prefactibilidad para la producción de Heliconias en el municipio de Guayabal de Siquima (Cundinamarca). Trabajo de grado para optar al título de Administrador de Empresas Agropecuarias. Universidad de La Salle, Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias. Bogotá D.C., Colombia.
- Andersson, L. (1981). Revision of *Heliconia* sect. *Heliconia* (Musaceae). Nordic J.Bot. 1: 759-784.
- Aristeguieta, L. (1961). El género *Heliconia* en Venezuela. Inst. Bot. M.A.C. 1-121 p.
- Barreiros, H. (1974). Novas localidades de ocurrencia de *Heliconia* L. I. (Heliconiaceae). Bradea. Rio de Janeiro. 1 (44): 447-452.
- Berry, F. y W. Kress. (1991). *Heliconia*: an identification guide. Smithsonian Institution Press. Washington and London. 334 p.
- Bono, G. (1996). Flora y vegetación del estado Táchira, Venezuela. Museo Regionale di Scienze Naturali. Italia. 951 p.
- Dahlgren, R.; Clifford, H., Yeo, P. (1985). Heliconiaceae. The family of Monocotyledons: structure, evolutions and taxonomy. Springer-Verlag Press. New York.
- Henao, E. y Ospina A. (2008). Insectos benéficos asociados a cultivos de Heliconias en el eje cafetalero colombiano. Museo de Historia Natural. Boletín Científico 12: 157-166.
- Hernández, R., Mayorga, J., Pinzón, M. (2005). Las Heliconias como alternativa rentable para la sustitución de cultivos en Colombia. Trabajo de Grado para optar al título de Administrador de Negocios. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ciencias Empresariales. Bogotá, Colombia.
- Kress, W. (1984). An introduction of the taxonomy and clasification of *Heliconia* (Heliconiaceae). Heliconia Soc. International Bulletin, 1(1): 6-26.
- Kress, W.; Betancur, J., Echeverry, B. (2004). Heliconias. Llamadas de la selva colombiana. Segunda edición. Cristina Uribe Editores. Bogotá, Colombia.
- Llamosas, S.; Duno, R.; Meier, W.; Riina, R.; Stauffer, F.; Aymard, G.; Huber, O., Ortiz, R. (2003). Libro rojo de la flora venezolana. Fundación PROVITA, Fundación Polar, Fundación Instituto Botánico de Venezuela Dr. Tobías Lasser (Eds). Caracas, Venezuela.
- López, A. (2000). Diferenciación de los cultivares Distans y Red Yellow de *Heliconia latispatha* Benth (Heliconiaceae) mediante técnicas morfológicas, anatómicas y RAPD. Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto, estado Lara.
- Maza, V. y Builes, J. (2000). Heliconias de Antioquia. Guía de identificación y cultivo. Ed. Gráficas Ltda. Medellín.
- Moreno, D. (2005). Búsqueda, colecta, determinación, caracterización, propagación y conservación ex situ, de 54 cultivares nativos de *Heliconia* spp., en Suchitepéquez. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro Universitario de Suroccidente. Guatemala.
- Roth, I.; Mérida, T., Lindorf, H. (1986). Morfología y anatomía foliar de plantas de la Selva Nublada de Rancho Grande. Parque

- Nacional "Henry Pittier". El ambiente físico, ecología general y anatomía vegetal. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana. 205-241 p.
- Sanabria, M. (1996). Morfología y anatomía de estructuras vegetativas y reproductivas de dos especies de *Heliconia* L. *H. bihai* (L.) L. y *H. psittacorum* L. (Heliconiaceae). Trabajo de ascenso presentado para optar a la categoría de Profesor Asociado. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto, estado Lara.
- Sanabria, M. (2002). Efecto de la irradiancia sobre la morfología, la anatomía, el crecimiento y desarrollo de las estructuras vegetativas de *Heliconia latispatha* Benth. cv Red Yellow Gyro (Heliconiaceae). Trabajo de ascenso presentado para optar a la categoría de Profesor Titular. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto, estado Lara.
- Santos, E. (1978). Revisao das espécies do genero *Heliconia* L. (Musaceae). I. espontaneas na regio Fluminensia. Rio de Janeiro. Rodriguesia. 30 (45): 99-222.
- Simão D. y Scatena, V. (2001). Morphology and anatomy in *Heliconia angusta* Vell. and *H. velloziana* L. Emygd. (Zingiberales: Heliconiaceae) from the Atlantic forest of southeastern Brazil. Rev. Bras. Bot.; 24(4): 415-424.
- Sosa, F. (2013). Cultivo del género *Heliconia*. Cultivos Tropicales 34(1): 24-32.
- Tomlinson, P. (1962). Phylogeny of Scitamineae: morphological and anatomical considerations. Evolutions 16: 192-213.
- Triplett, J. y Kirchoff, B. (1990). Lamina architecture and anatomy in the Heliconiaceae and Musaceae (Zingiberales). Can. J. Bot. 69: 887-900.
- Vareschi, V. (1992). Sobre formas biológicas de la vegetación tropical. Bol. Soc. Venezolana de Cienc. Natur. 26: 504-518.
- Uzcátegui M.; N. Maciel, M. Ojeda. (2013). Efecto de la Irradiancia en la clorofila, conductancia estomática e índice de área foliar en *Heliconia ortotricha*. Memorias del XX Congreso Venezolano de Botánica 14 al 17 de Mayo, San Cristóbal, Venezuela.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS POLARES DEL SUELO MEDIANTE EL USO DE NaOH/H₂ODEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR POLAR SOIL PROTEIN EXTRACTION BY NaOH/H₂O**AUTORES:**

Quiñonez, Mayuri; Almarza, Jorge; Camargo, Danny; Ruiz, Claudia; Camargo, Daniela; Linares, Clemente

Laboratorio de Investigación en Biotecnología y Química de Polímeros. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela

Corresponding Author:

claudia.ruiz@unet.edu.ve

Palabras clave: Glomalinas, GRSP, extracción, NaOH/H₂O, proteínas polares.

Key words: Glomalins, GRSP, isolation, NaOH/H₂O, polar proteins.

RESUMEN

El suelo es una matriz heterogénea esencial para la producción vegetal. Su estructura depende del arreglo de las partículas que lo componen y su agregación es producto de la acción de numerosos organismos, agentes cementantes y factores abióticos. Entre estos agentes se encuentran las glomalinas y las GRSP (Glomalin-related Soil Proteins), glicoproteínas “apolares” asociadas con la calidad y fertilidad del suelo, propiedades que permitirían considerarlos como bioindicadores de calidad que pueden analizarse mediante extracción y cuantificación proteica como método complementario a los análisis físico-químicos rutinarios. En este sentido, el método estándar para la extracción propone el uso de soluciones buffer de citrato de sodio y calentamiento a 121 °C; otros métodos proponen el uso de NaOH y fenol. Estudios previos realizados en esta Unidad de Investigación, sugieren la presencia de un grupo de proteínas “polares” que no ha sido considerado en la literatura. A partir de esto, se propuso como objetivo desarrollar un protocolo de extracción de proteínas del suelo utilizando el sistema NaOH/H₂O. Para ello se escogieron seis suelos ubicados en las Unidades Académicas de la UNET “La Tuquerena” y “La Primavera”, ubicadas en los municipios Junín y Andrés Bello del Estado Táchira. Para la extracción proteica, las muestras de suelo se resuspendieron en NaOH 0,1 M o H₂O milli-Q, con agitación vigorosa y posterior centrifugación. Los sobrenadantes se cuantificaron mediante Bradford y los resultados se analizaron mediante ANOVA. Los resultados sugieren que existe una proporción de proteínas polares del suelo que pueden ser solubilizadas con el sistema NaOH/H₂O. Se observó, además, que el número de lavados con NaOH/H₂O influye en la concentración final de estas proteínas. Se ilustra un mecanismo de acción hipotético del sistema NaOH/H₂O y se propone este método como una alternativa económica a incluir en los análisis de suelos rutinarios.

ABSTRACT

Soil is a heterogeneous matrix essential for plant production. Soil structure depends on the arrangement of its particles and its aggregation results from the action of a high diversity of organisms, cementing agents and abiotic factors. Glomalins and GRSP (Glomalin-related Soil Proteins) are among these agents, they are polar glycoproteins related to soil aggregates stability and its fertility, properties that have led to consider them as soil quality bioindicators through the extraction and analysis of the concentration level as a complementary method for physicochemical routine analysis. In this sense, the standard method for the extraction of these proteins involves the use of citrate buffer and heating at 121 °C; other protocols use NaOH and phenol. Previous studies in this Research Unit suggest the presence of a group of polar proteins that has not been described before. From this, the aim of this work was to develop a system for soil protein isolation using NaOH/H₂O. In order to achieve this, six samples of soils from the UNET Academic Units “La Tuquerena” and “La Primavera” in Junín and Andres Bello municipalities of Táchira State were chosen. For protein isolation, 0.1 M NaOH or milli-Q H₂O was added to the samples, then they were vigorously mixed and centrifuged. The supernatants were quantified by Bradford method and results were analyzed through ANOVA. Results of protein quantification suggest that there is a proportion of soil proteins that can be solubilized by NaOH/H₂O. Furthermore, it was noticed that the number of NaOH/H₂O cycles increase the final concentration of these proteins. We illustrated a hypothetical action mechanism for the NaOH/H₂O system and we propose this method as an economical approach to include in routine soil analysis.

Recibido: 23/03/2018 Aprobado: 18/06/2018 Versión Final: 19/09/2018

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema dinámico en el que interactúan componentes físicos, químicos y biológicos. Dentro de este sistema, los microorganismos realizan una tarea importante en la descomposición y transformación de los materiales del suelo y participan en los ciclos del carbono, nitrógeno y fósforo (Bastida *et al.*, 2008). Parte de estos microorganismos, lo constituyen los hongos; ya que debido a su organización filamentosa aprovechan diversos sustratos sobre la base de sus estrategias nutricionales (Siddiqui *et al.*, 2008).

Dentro de estos microorganismos, se encuentran los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), fundamentales para la fertilidad del suelo, nutrición y salud de las plantas, los cuales desempeñan un papel importante en la agricultura orgánica mediante la compensación de la reducción del uso de fertilizantes y pesticidas (Bedini *et al.*, 2009). Los HMA producen, además, unas glicoproteínas conocidas como glomalinas, que se descubrieron y caracterizaron en hongos del orden Glomerales (Wright y Upadhyaya, 1996). Las glomalinas tienen alta influencia en la estabilización de la fracción sólida del suelo, y a su vez tienen la capacidad de unirse y estabilizar fuentes importantes de carbono y nitrógeno, modulando las propiedades bioquímicas y físicas del suelo (González-Chávez *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2015). El comportamiento recalcitrante de las glomalinas junto a su naturaleza glicoproteica y su papel protector de las hifas ante las pérdidas de nutrientes y agua, sugieren que es una biomolécula muy estable, presentando una vida media entre 6-42 años (Wright and Upadhyaya, 1998; Rillig *et al.*, 2001).

Por estas propiedades, las glomalinas y GRSP han sido estudiadas en los últimos años por considerarse como potenciales indicadores biológicos de fertilidad de los suelos que pudieran integrarse en los análisis de suelos rutinarios. En función de esto, se han propuesto métodos de extracción y cuantificación de estas

proteínas para relacionarlos con la calidad y fertilidad de suelos de interés agronómico. A lo largo de las investigaciones realizadas, se ha observado que se trata de grupos proteicos que varían de acuerdo con el tipo de extracción y reactividad al método Bradford, por lo que Rillig (2004) propuso llamar a la fracción proteica del suelo relacionado a glomalinas como “GRSP” o Glomalin-Related Soil Protein. Posteriormente, Gillespie *et al.* (2011) sugirió que este tipo de proteínas podría tratarse de un consorcio de material originado en microorganismos no micorrízicos, como por ejemplo, microorganismos termófilos.

En cuanto a la metodología empleada para el análisis, el primer método, considerado como el convencional fue establecido por Wright y Upadhyaya (1996), quienes diseñaron un protocolo que involucra el uso de soluciones de tampón citrato y calentamiento en autoclave a 121 °C, con tiempos variables de extracción según el tipo de fracción proteica que se deseara obtener (Wright y Upadhyaya, 1998). Posteriormente, Benndorf *et al.*, (2007) propusieron un nuevo método de extracción de proteínas totales del suelo, donde utilizaron NaOH 0,1 M y fenol para separar las proteínas de los componentes orgánicos e inorgánicos de la matriz del suelo.

Considerando la importancia que pueden significar los bioindicadores para conocer la calidad de los suelos, en conjunto con la intención de encontrar un método económico que pueda integrarse en los análisis rutinarios de suelo, Camargo (2012) propuso un método optimizado, en el cual combinó el método de extracción propuesto por Wright y Upadhyaya (1996) con el uso de NaOH previo a las extracciones con citrato. En los resultados obtenidos observó que el NaOH extraía una importante proporción que constituía un 40 % del total de proteínas, presentando las mismas un carácter polar. Este tipo de proteínas, no habían sido descritas anteriormente en la literatura, pues las glomalinas desde su descubrimiento fueron clasificadas como glicoproteínas hidrofóbicas (Wright y Upadhyaya, 1996).

A partir de los resultados observados por el uso de NaOH en la extracción de las GRSP, surgió esta investigación cuyo objetivo fue evaluar el efecto del número de lavados con NaOH/H₂O en la extracción de proteínas polares en muestras de suelo de manejo contrastante.

La metodología planteada en este trabajo propone como un primer paso, la estandarización de un protocolo económico y rápido que pueda aplicarse en los análisis de suelo rutinarios realizados a nivel institucional, regional y nacional.

MÉTODO

Muestras de suelo

La zona de muestreo, se ubicó en las Unidades Académicas “La Tuquerena” y “La Primavera”, pertenecientes a la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) y ubicadas respectivamente en los municipios Junín y Andrés Bello del Estado Táchira. Para la recolección de las muestras, se tomaron tres ecosistemas de la Hacienda “La Tuquerena”: Bosque A, Cacao y Hortalizas; este último, no se tomó en cuenta para las cuantificaciones proteicas.

Los cuatro suelos restantes se tomaron de la Hacienda “La Primavera” (Bosque B, barbecho, Vega de río y Bosque Riviera), en los cuales se realizó un recorrido de cada área muestreada en zig-zag, marcando un punto cada diez metros. De allí, se tomaron muestras representativas a una profundidad de 10 cm y se trasladaron al Laboratorio de Investigación en Biotecnología y Química de Polímeros (LIBQPOL) donde se almacenaron a – 20 °C hasta su uso.

Extracción de GRSP

Se evaluaron tres tratamientos para la extracción de las proteínas del suelo consistentes en: 1) un lavado con NaOH 0,1M (Merck) y tres lavados con H₂O milli-Q; (2) dos lavados con NaOH 0,1 M y tres lavados con H₂O Milli-Q y (3) tres

lavados con NaOH y tres lavados con H₂O milli-Q.

Se pesaron veinte (20) muestras compuestas de 120 mg de suelo en tubos de 1,5 mL, se resuspendieron en 1 mL de NaOH 0,1 M, se agitaron en vortex por tres minutos y se centrifugaron por un minuto a 14.000 x *g* a temperatura ambiente. Posteriormente, se transfirió el sobrenadante a un nuevo tubo y se midió la concentración de proteínas mediante el método universal de Bradford (1976). Se repitió el ciclo de extracción anterior una vez más para el Tratamiento 2 y dos (2) veces más para el Tratamiento 3.

A estas mismas muestras de suelo (pellets), se les agregó 1 mL de agua milli-Q, se resuspendió con la ayuda del vortex y se centrifugaron en iguales condiciones. Se extrajo la fase acuosa en nuevos tubos, repitiendo el paso anterior tres (3) veces para luego cuantificar las proteínas mediante Bradford.

Adicionalmente, se aplicó un protocolo de extracción con filtros de exclusión molecular Amicon® Ultra (Merck Millipore), para lo cual se tomaron 500 µL de extracto proteico neutralizado que se añadieron a un filtro de 30 K. Las muestras, se centrifugaron a 14.000 x *g* durante 10 minutos, siguiendo las instrucciones de la casa comercial, luego de lo cual se recuperó el filtrado y se cuantificó la concentración de proteínas mediante Bradford.

Electroforesis en geles de poliacrilamida

La electroforesis en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE), se realizó en un equipo Mini-PROTEAN Tetra Cell (BIO-RAD) y la preparación de las muestras y los geles se realizó según las recomendaciones de dicha casa comercial. El buffer de las muestras consistió en 3,55 mL de agua desionizada; 1,25 mL Tris-HCl 0,5 M pH 6,8 (Merck/Riedel-de Haën); 2,5 mL de glicerol (Merck), 2 mL SDS 10% (m/V; Promega), 0,2 mL de azul de bromofenol 0,5% (m/V; IQE) para un volumen total de 9,5 mL.

El buffer de corrida consistió en una solución pH 8,3 compuesta por Tris base 250 mM, glicina 1,92 M (Fisher Scientific); SDS 1%.

Los geles preparados tuvieron un grosor de 1 mm, para lo cual se emplearon 5,6 mL de solución monomérica. Los geles, se prepararon usando H₂O Milli-Q, acrilamida/Bis (BIO-RAD), buffer Tris – HCl, SDS, PSA (persulfato de amonio; IQE) y TEMED (tetrametilendiamida; Merck). El gel concentrador, se preparó al 5% y el gel de resolución al 12%.

La preparación de las muestras para la corrida electroforética se llevó a cabo añadiendo 50 µL de β-mercaptoetanol (Hi Media) a 950 µL de buffer de muestra. Las muestras se diluyeron en el buffer y se calentaron a 95 °C en un termobañero por 8 minutos, luego de lo cual se enfriaron en una cava de refrigeración durante 10 minutos. Los parámetros electroforéticos: 200 V y 180 mA durante 90 minutos.

La tinción de los geles se realizó en dos (2) fases: la primera fase de tinción con azul de Coomassie R-250 y la segunda fase de tinción de plata de acuerdo con Gillespie *et al.* (2011). Para la tinción con azul de Coomassie R-250 los geles, se lavaron tres (3) veces con agua destilada durante 5 minutos.

Posteriormente, se incubaron en una solución fijadora (metanol 50% marca Riedel-de Häen / ácido acético 7% marca Merck) por 15 minutos; luego de lo cual, se retiró esta solución y se agregó una solución de coloración (Azul de Coomassie 0,05% Bioshop / etanol 40% Riedel-de Häen / ácido acético 10%) en la cual se incubaron los geles durante una hora.

Finalmente, los geles se lavaron con una solución decolorante (etanol 40% / ácido acético 10%) hasta que sólo se observaran las bandas de proteínas.

Una vez terminada la tinción con azul de Coomassie, se llevó a cabo la tinción con nitrato de plata. Para ello, los geles se lavaron tres (3) veces con etanol 35% durante 20 minutos.

Luego, se incubaron 3 minutos en una solución sensibilizadora con tiosulfato de sodio 0,02% (Scharlau).

Se descartó la solución sensibilizadora y se lavaron tres (3) veces con agua milli-Q por 5 minutos cada lavado. Se añadió una solución de plata que consistió en nitrato de plata 0,2% y formaldehído 0,076% (Fisher Scientific) incubándose por 25 minutos. Posteriormente, se lavaron tres veces con agua desionizada por 2 minutos cada lavado.

Finalmente, los geles se incubaron en una solución de carbonato de sodio 6% (Merck), formaldehído 0,05% y tiosulfato de sodio 0,0004%. El tiempo de incubación fue de aproximadamente 5 minutos. Cuando se visualizaron las bandas, la reacción se detuvo con una solución de metanol 50% y ácido acético 12%. Los geles se almacenaron en metanol 10% / ácido acético 1% a 4 °C.

Modelaje molecular

Para modelar el mecanismo molecular de las proteínas polares estudiadas, se utilizó la versión académica del programa de visualización molecular PyMOL v1.6, el cual es uno de los software más utilizados para visualizar proteínas de forma tridimensional. Se utilizó una proteína termoestable y polar (1 FS3) como modelo para analizar el mecanismo de solubilización de las proteínas estudiadas.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental factorial completamente aleatorizado, con dos (2) factores: suelo y lavado, seis (6) niveles para el tipo de suelo y tres (3) niveles para lavados, con dieciséis (16) repeticiones para un total de doscientas ochenta y ocho (288) unidades experimentales. La variable concentración de proteínas, cuando se cumplieron los supuestos de homogeneidad y normalidad, se evaluó a través de análisis de varianza (ANOVA). Para la comparación de medias, se usó el test de Tukey al 5%.

RESULTADOS

Extracción de proteínas polares

En la Figura 1, se muestran los extractos proteicos obtenidos en cada lavado realizado con NaOH y H₂O Milli-Q y el color asociado

cualitativamente a la presencia de proteínas del tipo GRSP. Los resultados de los rendimientos obtenidos en cada tratamiento realizado, se muestran en la Tabla 1, mientras que los resultados de la extracción con los filtros de exclusión molecular Amicon® se muestran en la Tabla 2.

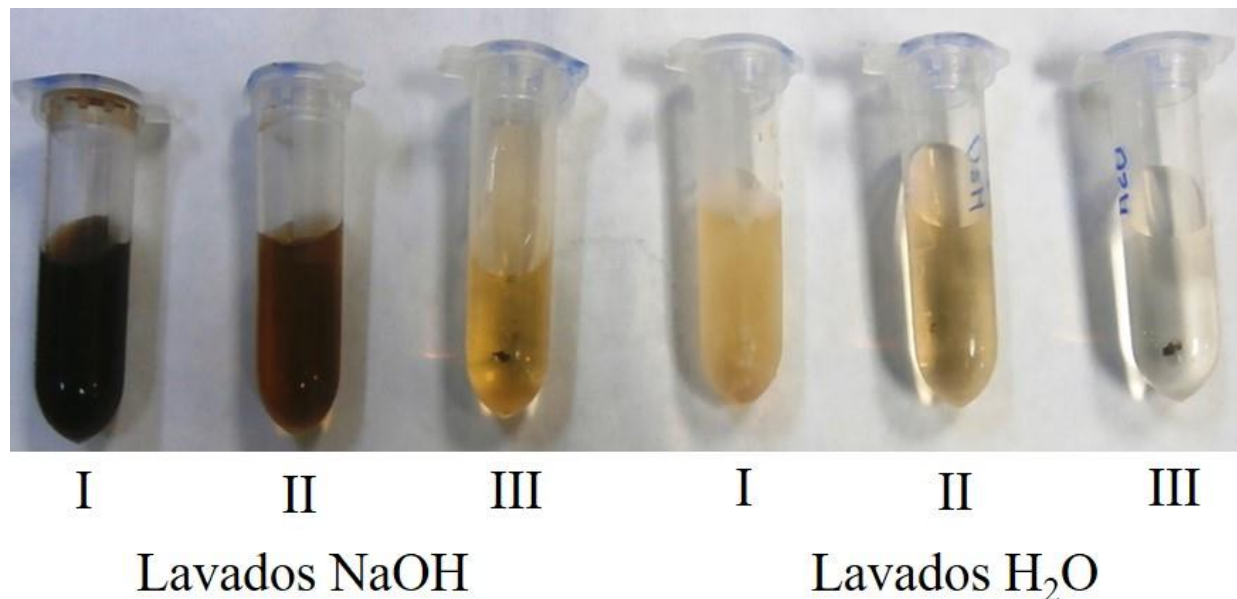


Figura 1. Pérdida gradual de color marrón-rojizo asociado a las GRSP durante las extracciones con el sistema NaOH/H₂O.

Tabla 1. Proteínas polares totales del suelo (mg g⁻¹ suelo), obtenidas en tres tratamientos con el sistema NaOH/H₂O para seis muestras de suelo (n=16).

Suelos	Proteínas totales (mg g ⁻¹ suelo) ± DE		
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Bosque A	1,29 ± 0,1 a	17,17 ± 0,4 k	15,77 ± 0,6 l
Cacao	10,61 ± 0,7 h	14,10 ± 0,5 j	8,99 ± 0,8 ef
Vega de río	9,48 ± 1,5 fg	9,50 ± 0,3fg	9,71 ± 0,3 g
Barbecho	7,21 ± 0,6 d	8,52 ± 0,7 e	11,85 ± 0,4 i
Bosque Riviera	5,35 ± 0,2 c	7,38 ± 0,6 d	7,68 ± 0,8 d
Bosque B	3,87 ± 0,8 b	7,62 ± 0,5 d	9,37 ± 0,4 ef

Letras diferentes indican diferencias significativas (test de tukey p< 0,05).

EXTRACCIÓN DE PROTEÍNA POLARES

Quiñónez, M.; Almarza, J.; Camargo, D.; Ruiz, C.; Camargo, D.; Linares, C.

Tabla 2. Concentración de proteínas polares antes y después de la extracción con Amicon en las muestras tratadas con el sistema NaOH/H₂O en suelos estudiados.

SUELOS	Proteínas totales (mg g ⁻¹ suelo)		CV
	- amicon	+ amicon	
Bosque A	272,1	288,2	4,1
Cacao	235,3	266,3	8,7
Vega de río	94,0	94,0	0,0
Barbecho	94,0	94,0	0,0
Bosque Riviera	94,0	94,0	0,0
Bosque B	165,5	157,0	3,5
PROMEDIO	159,1	165,6	2,7

Los perfiles proteicos obtenidos mediante el análisis por SDS-PAGE, se observan en la Figura 2. Se incluye en este análisis el suelo Hortalizas. Por último, en las Figura 3, 4 y 5 se

ilustran el mecanismo molecular de extracción propuesto para la extracción de las proteínas polares del suelo obtenidas en esta investigación modelado mediante el software PyMOL.

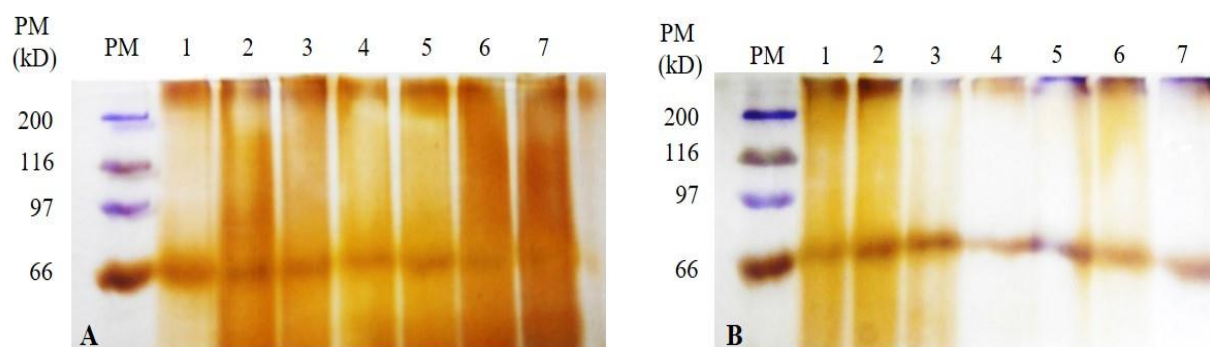


Figura 2. Perfiles proteicos obtenidos por SDS-PAGE para las extracciones con (A) NaOH y (B) H₂O. Muestras: (1) Hortalizas, (2) Bosque A, (3) Cacao, (4) Barbecho, (5) Vega de río, (6) Bosque B, (7) Bosque Riviera.

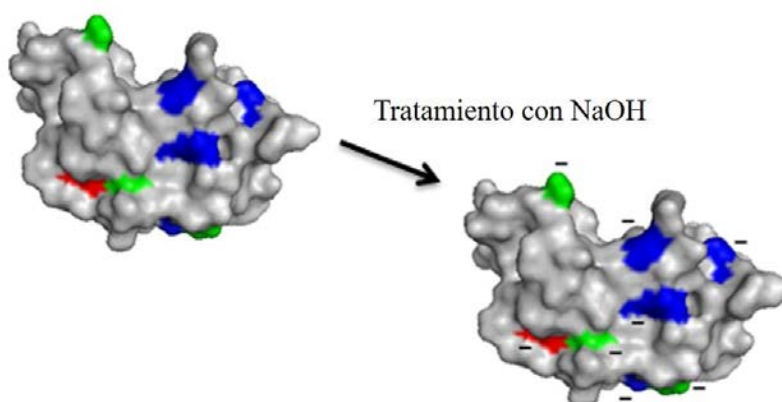


Figura 3. Representación gráfica en PyMOL de una proteína polar (EC 3.1.27.5). Vista en superficie donde se muestran los residuos ácidos (-COOH) en color azul y verde, y los residuos polares en rojo.

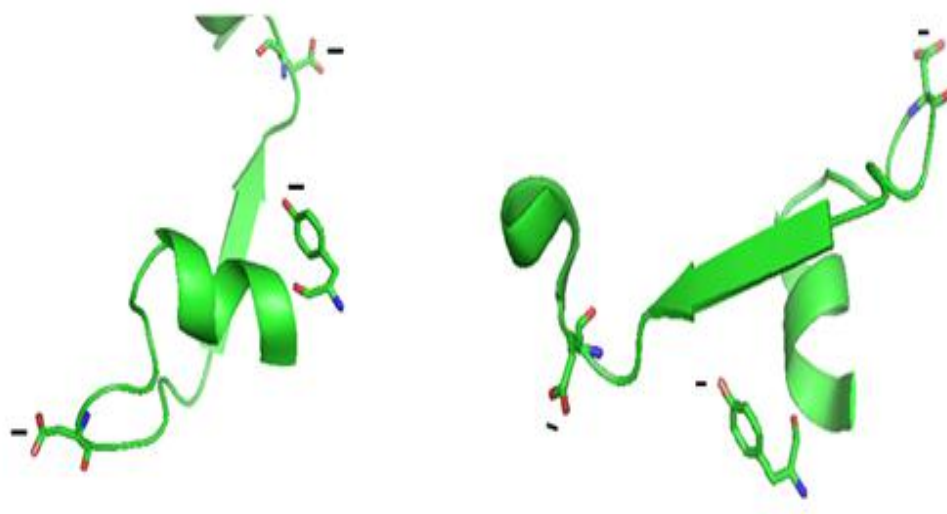


Figura 4. Representación gráfica en PyMOL (cartoon/sticks) de fragmentos de la proteína modelada (EC3.1.27.5). Fragmento (26-56) mostrando residuos carboxilos (D37 y E48) y fenólicos (Y25) en la superficie de una hélice α presente sobre una estructura al azar siendo ionizado por el grupo hidroxilo de la base fuerte usada durante la extracción.

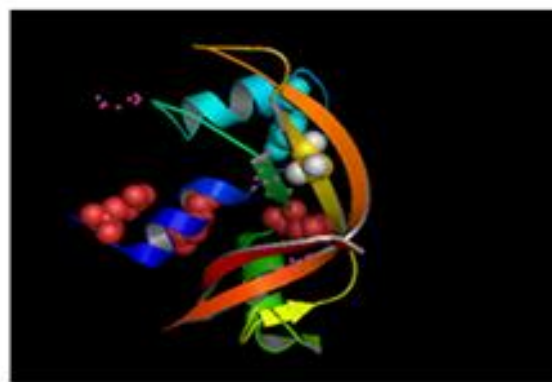
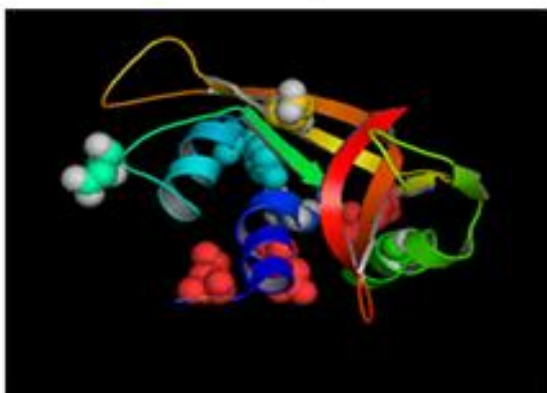


Figura 5. Representación gráfica en PyMOL (cartoon/spheres) de la proteína polar modelada (EC3.1.27.5), mostrando los residuos con carga negativa ácido aspártico D14, D37 y D52 (blanco) y ácido glutámico E2, E9 y E48 (rojo); a su vez muestra el residuo neutro polar tirosina Y24 (turquesa).

DISCUSIÓN

Sistema NaOH/H₂O para la extracción de proteínas polares

La extracción de las GRSP, se puede apreciar cualitativamente en todos los suelos analizados mediante la observación de la pérdida gradual de la coloración marrón-rojiza de las soluciones proteicas en cada ciclo de lavados con NaOH y H₂O (Figura 1), la cual se relaciona con la presencia de proteínas asociadas a determinados minerales como el hierro (Wright y Upadhyaya, 1998). Estos resultados concuerdan con los reportados por Camargo (2012), quien sugiere la presencia de una cantidad considerable de proteínas que se estarían extrayendo con la ayuda del NaOH y que hasta ahora parecieran quedar fuera de la clasificación propuesta por Wright *et al.* (1996) y Rillig (2005). El efecto observado en cada uno de los extractos acuosos, se sustentó adicionalmente con determinaciones proteicas empleando el método de Bradford (Tabla 1).

Cuando se analizaron las interacciones entre tratamientos (Tabla 1), se comprobó que existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 %. En suelo de bosque A con los lavados dos (2) y tres (3), se encontró mayor cantidad de proteínas que los restantes tratamientos, seguido de los tratamientos cacao con los lavados dos (2) y uno (1), y barbecho con lavado tres (3). En forma generalizada, se evidenció que en la mayoría de los suelos con el lavado uno (1), se obtuvieron menor cantidad de proteínas que con los lavados dos (2) y tres (3) respectivamente. Claramente, se puede notar un incremento del rendimiento a medida que aumenta el número de lavados, demostrando la importancia de realizar al menos dos (2) lavados con NaOH para solubilizar una mayor cantidad de proteínas del suelo.

En este mismo orden de ideas, estos resultados sugieren que el NaOH, no solo permitiría la solubilización de una cantidad importante de proteínas, sino que también activaría otro grupo de proteínas para que se solubilizan en agua,

permitiendo obtener una mayor concentración de proteínas totales en las muestras de suelo analizadas. Lo anteriormente descrito, contrasta nuevamente con lo reportado en la literatura: ya que, se ha afirmado que estas proteínas sólo podrían solubilizarse bajo condiciones de altas presión y temperatura por tratarse de proteínas apolares (Wright y Upadhyaya, 1998).

Esta solubilización general de proteínas generadas por los distintos tratamientos en las muestras de suelo con el extractante NaOH, podría deberse a ionización de las cadenas laterales de un grupo de proteínas en las que, a pH alcalino, sus grupos carboxilos (aspártico “D” y glutámico “E”) y los fenólicos (tirosina “Y”) se desprotonarían aumentando la solubilidad en las soluciones acuosas y facilitando su extracción (Camargo, 2012; Almarza, 2013).

Con el fin de comprobar que los resultados obtenidos en la cuantificación por Bradford, no se debieran a interferencia por sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos). Se realizó una extracción adicional de los extractos proteicos obtenidos con el uso de filtros de exclusión molecular Amicon® Ultra de 100 kD y 30 kD observándose que no hubo diferencias en las concentraciones de proteínas luego de aplicar este protocolo (Tabla 2). Esto implica que las sustancias húmicas, no estarían ejerciendo una interferencia significativa en las medidas espectrofotométricas como se ha descrito anteriormente, lo cual se respalda por los coeficientes de variación obtenidos (Schindler *et al.*, 2007; Rillig *et al.*, 2001).

SDS-PAGE

El análisis realizado por SDS-PAGE permitió observar el perfil de las proteínas extraídas con los lavados de NaOH (Figura 2A) y H₂O (Figura 2B) para los seis (6) tipos de suelo cuantificados por Bradford y un suelo adicional como lo fue Hortalizas, que se tomó en consideración para analizar si podrían existir diferentes grupos proteicos en un suelo con un manejo intensivo que constantemente es fertilizado con sustancias orgánicas e inorgánicas.

El peso molecular de las proteínas extraídas en cada uno de los métodos es de aproximadamente 66 kDa, coincidiendo con los patrones encontrados por Chen *et al.* (2009) y Gillespie *et al.* 2011. En su investigación, Wright *et al.* (1996) reportaron bandas entre los 67 y 94 kD, mientras que Bolliger *et al.* (2008) encontraron bandas similares entre los 60 y 90 kD.

Por lo tanto, estos resultados pondrían en “alerta” a los reportes realizados en la literatura quienes se refieran a las glomalininas como únicas proteínas (apolares) en el suelo sin considerar este grupo como una representación tan alta en relación al “pool” total de proteínas del suelo, lo cual repercute de forma importante en el sesgo de las medidas y cantidades proteicas/suelo que se reportan en la literatura. Al respecto de las diferencias encontradas en los patrones de peso molecular entre los investigadores que han realizado metaproteómica del suelo, Gillespie *et al.* (2011) sugieren que las variaciones en concentración y/o pH de las soluciones extractantes podrían causar la liberación de diferentes tipos de proteínas y, de manera alternativa, proteínas similares podrían ser liberadas y modificadas debido a posibles cambios en el dominio glicano.

Modelaje molecular de proteínas polares del suelo

El desarrollo de un protocolo de extracción proteica, requiere del conocimiento de los mecanismos de acción que intervienen en cada uno de los procesos, con el fin de obtener una estandarización que esté dirigida a la diana ideal. En este sentido, se ha propuesto el siguiente mecanismo de acción que tendría el sistema NaOH/H₂O en la solubilización de las proteínas presentes en la matriz del suelo (Figuras 3, 4 y 5). Para representar el modelaje, se seleccionó una proteína polar y termoestable (EC 3.1.27.5) de la base de datos del Protein Data Base (PDB).

El pH de cada uno de los suelos seleccionados en este estudio es ácido (pH < 6) excepto Bosque B que es ligeramente ácido (pH = 6,9). Esta característica permite inferir que en su mayoría los residuos de aminoácidos de las proteínas en

estos suelos se encuentran esencialmente protonados y, por lo tanto, son difíciles de extraer. Sin embargo, en presencia de NaOH todos aquellos residuos de aminoácidos con propiedades ácidas que están presentes tanto en la superficie proteica como en su interior (D, E, Y) estarán completamente ionizados o desprotonados como se ilustra en las figuras 3, 4 y 5. Esta ionización permite incrementar la capa de solvatación global de cada grupo de proteínas facilitando su solubilización de la matriz del suelo, donde se encuentran atrapadas confirmando una mayor afinidad por las fases acuosas del extractante (NaOH/H₂O), tal y como se ha reportado previamente (Almarza, 2013).

Con base en lo propuesto en el mecanismo, se puede inferir la practicidad que lleva el uso del sistema NaOH/H₂O en la extracción proteica de proteínas polares que podrían conformar una proporción significativa de las proteínas totales que actualmente, se asocian con la estabilidad de los agregados y consecuente fertilidad de los suelos. El uso de este sistema es económico y rápido en comparación con los métodos tradicionales, por lo que se deberían realizar estudios posteriores que permitan relacionar las proteínas estudiadas con los microorganismos presentes en los suelos que sean objeto de análisis, así como el estudio de la potencialidad de otros hidróxidos que pudieran utilizarse como alternativa al uso del NaOH, si bien este se puede considerar como el extractante más fuerte.

La estandarización de estos métodos de extracción, permitirían su aplicación no sólo rutinaria sino en campo, pudiendo aplicarse como un análisis *express* de la fertilidad de un suelo. Así mismo, podrían contribuir a otras líneas de investigación derivadas y asociadas al uso de consorcios de microorganismos benéficos para potenciar el uso sostenible de los agroecosistemas.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que el sistema NaOH/H₂O permite la solubilización apreciable

de proteínas “polares” presentes en las muestras de suelo analizadas, donde a mayor número de lavados con NaOH, hay una mayor proporción de proteínas activadas que podrán extraerse, no sólo con esta solución sino con agua pura. En este sentido, el tratamiento más eficiente que se propone seguir estudiando es el correspondiente a tres lavados con NaOH y tres lavados con agua. Por otra parte, la visualización de proteínas polares en las muestras de suelo mediante geles de poliacrilamida (SDS-PAGE) es una importante evidencia que apoya la hipótesis sobre la existencia de proteínas polares en el suelo que hasta ahora, no han sido reportadas.

En virtud de lo observado, se sugiere probar la eficiencia de otro tipo de hidróxidos, como por ejemplo calcio, amonio, magnesio, para la extracción de proteínas polares del suelo. Así mismo, se recomienda el uso de herramientas de biología molecular en futuros estudios para determinar qué tipo de microorganismos no micorrícicos contribuyen a la producción de este tipo de proteínas con el fin de promover su uso sostenible en agroecosistemas.

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, VE, UNET. 31 p.
- Bastida, F., Kandeler, E., Moreno, J., Ros, M.; García, C., Hernández, T. (2008). Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. *Applied Soil Ecology*, 40(2):318-329.
- Bedini, S., Pellegrino, E., Avio, L., Pellegrini, S., Bazzoffi, P., Argeese, E., Giovannetti, M. (2009). Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomusmosseae* and *Glomusintraradices*. *Soil Biology & Biochemistry*. 41:1491-1496.
- 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.
- 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.
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72(1):248-254.
- 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 Pregrado. San Cristóbal, VE, UNET. 49 p.
- Chen, S., Rillig, M., Wang, W. (2009). Improving soil protein extraction for metaproteome analysis and glomalin-related soil protein detection. *Proteomics* 9(21):4970-4973.
- Gillespie, A., Farrell, R., Walley, F., Ross, A., Leinweber, P., Eckhardt, K., Regier, T., Blyth R. (2011). Glomalin-related soil protein contains non-mycorrhizal-related heat-stable proteins, lipids and humic materials. *Soil Biology & Biochemistry*. 43(4):766-777.
- González-Chávez, M., Carrillo-González, R., Wright, S., Nichols K. (2004). The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. *Environmental Pollution*. 130(3):317-323.
- Rillig, M., Wright, S., Nichols, K., Schmidt, W., Torn, M. (2001). Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant and Soil*. 233(2):167-177.

- Rillig, M. (2004). Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*. 84(4):355–363.
- Rillig, M. (2005). A connection between fungal hydrofobins and soil water repellency. *Pedobiología* 49(5): 395-399.
- Sawers, R., Yang, S., Gutjahr, C., Paszkowski, U. (2008). The molecular components of nutrient exchange in arbuscular mycorrhizal interactions. In: Siddiqui, Z., Akhtar, M., Futai, K. (Eds.). *Mycorrhizae: Sustainable agriculture and forestry*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Schindler F., Mercer, E., Rice, J. (2007). Chemical characteristics of glomalin-related soil protein (GRSP) extracted from soils of varying organic matter content. *Soil Biology & Biochemistry* 39(1):320–329.
- Wang, Q., Wang, W., He, X., Zhang, W., Song, K., Han, S. (2015). Role and variation of the amount and composition of glomalin in soil properties in farmland adjacent plantations with reference to a primary forest in North-Eastern China. *PLOS ONE*. 10(10):1–19.
- Wang, Q., Wu, Y., Wang, W., Zhong, Z., Pei, Z., Ren, J., Wang, H., Zu Y. (2014). Spatial variations in concentration, compositions of glomalin related soil protein in poplar plantations in Northeastern China, and possible relations with soil physicochemical properties. *The Scientific World Journal* 2014: 1–13.
- 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.

EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS TERMOESTABLES (POLARES/APOLARES) DEL SUELO EN AGROECOSISTEMAS DEL ESTADO TÁCHIRA

EXTRACTION OF THERMOSTABLE SOIL PROTEINS (POLAR/NONPOLAR) IN AGROECOSYSTEMS OF TACHIRA STATE

AUTORES:

Ruiz, Claudia; Almarza, Jorge; 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

Palabras clave: GRSP, purificación, solventes orgánicos, NaOH/H₂O, proteínas termoestables del suelo.

Key words: GRSP, extraction, organic solvents, NaOH/H₂O, soil thermostable proteins.

RESUMEN

La fertilidad integral de los suelos es una propiedad que involucra aspectos físicos, químicos y biológicos. Dentro de las interacciones biológicas, se encuentra la acción de las raíces y microorganismos que influyen en la calidad de este recurso. Investigaciones previas que apuntan a la búsqueda de indicadores biológicos de fertilidad del suelo, han llevado al descubrimiento de las “glomalinas” o GRSP (Glomalin-related Soil Proteins). Sin embargo, los métodos de extracción empleados se caracterizan por ser largos y laboriosos. Investigaciones realizadas en esta unidad de investigación, proponen métodos más eficientes, económicos y rápidos. Basados en estos estudios, en el siguiente trabajo se evaluaron diferentes métodos de purificación de proteínas termoestables (polares y apolares) con el fin de comparar su rendimiento en siete (7) muestras de suelo con manejo contrastante ubicados en las Unidades Académicas Hacienda La Tuquerena y Finca La Primavera de la UNET. La extracción, se realizó por: el método convencional, que involucra el uso de citrato de sodio 50 mM pH 8 y calentamiento a 121 °C; el método optimizado, que emplea NaOH y H₂O previo a las extracciones con citrato; el método de solubilización con NaOH/H₂O para extracción de proteínas polares. La purificación de proteínas apolares, se realizó con mezclas de solventes orgánicos (fenol: cloroformo y hexano: éter). Los rendimientos, se analizaron mediante Bradford y estadísticamente por Kruskal Wallis. Los resultados mostraron mayor eficiencia del método de solubilización con NaOH/H₂O. No se observaron diferencias estadísticas entre el método convencional y optimizado. Por otra parte, se observó la ausencia casi total de proteínas apolares lo que pone en duda la afirmación de que las GRSP tienen carácter hidrofóbico. Los resultados obtenidos sugieren que el *pool* mayor de proteínas del suelo son aquellas con características de solubilidad polar y no aquellas hidrofóbicas o apolares, tal como lo sugiere ampliamente la literatura.

ABSTRACT

Soil fertility is an ability that involves physical, chemical and biological properties. The activity of roots and microorganisms are the most important biological interactions for soil quality. Previous works related to the development of soil fertility indicators, led to the discovery of a novel group of proteins called “glomalins” or GRSP (Glomalin-Related Soil Proteins). However, the isolation methods proposed for these proteins are time-consuming and labor-intensive. The experiments done in this research unit seek for the proposal of more efficient, economical and quick methods. On the basis of previous research, different methods for the isolation of thermostable (polar/nonpolar) soil proteins were evaluated with the aim of comparing the efficiency and yield in seven soils with different agricultural management in the Academic Units of “La Tuquerena” and “La Primavera” belonging to UNET. The compared isolation methods were: conventional method, involving the treatment with 50mM sodium citrate, pH 8 at 121 °C; the optimized method that involves a NaOH and H₂O treatment before citrate extraction; the NaOH/H₂O solubilization method for the extraction of polar proteins. The isolation of nonpolar proteins was achieved by a mixture of organic solvents (phenol: chloroform and hexane: ether). The level of isolated proteins was quantified by the Bradford method and compared to the Kruskal Wallis. The NaOH/H₂O showed higher levels among all the compared methods. There were no differences between the conventional and optimized methods. On the other side, the dramatic low levels of nonpolar proteins isolated by the organic solvents mixture puts under discussion the nonpolar character of GRSP. Our results suggest that the main pool of soil proteins has polar characteristics, contrary to previous description widely expressed in the literature.

Recibido: 26/03/2018 Aprobado: 19/06/2018 Versión Final: 19/09/2018

INTRODUCCIÓN

La fertilidad integral de los suelos es una propiedad que involucra aspectos físicos, químicos y biológicos (Denardin *et al.*, 2006). Dentro de las interacciones biológicas, se encuentra la acción de las raíces y de los microorganismos presentes en el suelo, que contribuyen a la formación de agregados y, por lo tanto, están directamente relacionados a la calidad de la estructura de este recurso (Kutilek y Nielsen, 2015; Wright *et al.*, 1996).

Investigaciones realizadas para conocer las propiedades biológicas del suelo, han dado lugar al descubrimiento de unas glicoproteínas conocidas inicialmente como “glomalin”, actualmente denominadas GRSP (glomalin-related soil proteins), las cuales están relacionadas directamente con la fertilidad (Rillig, 2004).

Estas proteínas fueron identificadas por primera vez en los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) de la especie *Glomus intraradices*, por lo que se acuñó el término “glomalin”, y fueron descritas como proteínas muy abundantes en los suelos, termoestables e insolubles en agua (Wright *et al.*, 1996; Wright y Upadhyaya, 1996).

Estudios más recientes indican que las GRSP representan un consorcio de proteínas que podrían pertenecer a otro tipo de microorganismos; además de los HMA identificados, sugieren que el material proteico en las GRSP no es completamente de origen HMA (Gillespie *et al.*, 2011).

Las GRSP tienen un papel fundamental para la fertilidad integral del suelo; ya que intervienen en la formación y estabilización de los agregados del suelo, permitiendo la penetración del aire y drenaje del agua. Contribuyen en las dinámicas del carbono y su permanencia en el suelo puede ser de hasta cuarenta y dos (42) años, todo lo cual influye en el incremento de la fertilidad traducida en términos de incremento de la

productividad agronómica (Wright y Upadhyaya 1998; Pal y Pandey, 2014; Rillig *et al.*, 2001).

Debido a las propiedades de las GRSP, numerosas investigaciones se han enfocado en desarrollar métodos de purificación con el fin de estandarizar un método que actúe como bioindicador de la fertilidad del suelo. Sin embargo, estos métodos se caracterizan por ser muy laboriosos y, además, han llevado a una clasificación imprecisa de estas moléculas al indicar que no habrían GRSP polares (Wright y Upadhyaya, 1996; Wright y Upadhyaya, 1998; Nichols y Wright, 2005).

Estudios realizados en esta Unidad de Investigación han llevado a la propuesta de protocolos de extracción más prácticos y económicos. Así mismo, han permitido obtener una mejor descripción de las GRSP y su relación con diferentes tipos de suelo en términos de abundancia. En este sentido, Camargo (2012) adaptó el método convencional de Wright a volúmenes menores de extracción usando NaOH para los lavados y optimizó el tiempo de extracción, recursos empleados, encontrando un grupo de proteínas con características de solubilidad y polaridad diferentes a las GRSP (hidrofóbicas); es decir, proteínas polares.

Estudios posteriores, a los del autor citado, indican que con la ayuda de solventes orgánicos e inorgánicos, se obtiene una discriminación de las proteínas del suelo en polares y apolares (Almarza, 2013). De igual manera, Quiñonez (2015) logró la solubilización de una importante cantidad de proteínas polares mediante el tratamiento con NaOH y H₂O, apoyando la hipótesis previa de Camargo (2012) acerca del carácter polar de las proteínas del suelo.

La importancia de las GRSP, como un potencial bioindicador de fertilidad, dio origen a la presente investigación; cuyo objetivo fue evaluar diferentes métodos de extracción de para las proteínas termoestables (polares/apolares) del suelo correspondientes a siete (7) agroecosistemas del Estado Táchira.

MÉTODO

Recolección de muestras

La recolección de las muestras, se realizó en las Unidades de Producción Hacienda “La Tuquerena” ubicada en Rubio, Municipio Junín del Estado Táchira, con coordenadas geográficas 7°40’43.4” N y 72°21’21.3” W y Finca “La Primavera” ubicada en el Sector Monte Carmelo, Municipio Andrés Bello del Estado Táchira, con coordenadas geográficas 7° 19’ 30.3” N y 71° 41’ 15.2” W, ambas pertenecientes a la Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Se seleccionaron siete (7) ecosistemas que incluyeron uno con manejo intensivo (cultivo de hortalizas), dos intervenidos; pero, en estado de reposo (barbechos), un (1) bosque de manejo semiagroecológico (cultivo de cacao y bosque adyacente) y dos (2) boscosos no intervenidos. Las muestras, se recolectaron realizando un recorrido de cada área muestreada en zig-zag, en forma de M o W, estableciendo un punto cada diez (10) metros. En cada uno de estos puntos, se construyó un triángulo, de donde se tomaron muestras representativas en cada uno de los vértices que se mezclaron posteriormente. La profundidad de las muestras tomadas correspondió a un rango comprendido entre 0 y 10 cm.

Extracción de proteínas:

Método convencional: se siguió el protocolo de extracción de Wright y Upadhyaya (1998), adaptado para 120 mg de muestra de suelo, masa que se empleó para todos los métodos de extracción evaluados. Las muestras de suelo se colocaron en un tubo Eppendorf con 1,2 mL de buffer citrato de sodio 50 mM a pH 8 (BDH) y se homogeneizaron en un vórtex durante 2 minutos. Luego se autoclavaron a 121 °C por 90 minutos, realizando ciclos subsecuentes de extracción, para los cuales se eliminó el sobrenadante por centrifugación a 10.000 x g por 5 minutos. Se agregó 1,2 mL de buffer citrato al pellet y se llevó a autoclave nuevamente por 1 hora. Las extracciones continuaron hasta que los

sobrenadantes obtenidos, no presentaron el color marrón – rojizo típico de las glomalinas. Se determinó la concentración de proteínas mediante el método universal de Bradford (Bradford, 1976).

Método optimizado: las muestras de suelo se resuspendieron en 1 mL de NaOH 0,1 M (Merck) y se centrifugaron a 10.000 x g por 1 min; luego se extrajo el sobrenadante. Posteriormente, cada muestra se lavó con 1 mL de agua destilada y se centrifugó el sobrenadante bajo las mismas condiciones. Seguidamente se adicionaron 1,2 mL de buffer citrato de sodio (50 mM, pH 8) y se autoclavaron las muestras a 121 °C por 1 hora. Se realizaron tres ciclos de extracción, donde el sobrenadante fue removido con microcentrífuga (10.000 x g durante 5 min). La cuantificación de proteínas se realizó por el método de Bradford.

Método NaOH/H₂O: las muestras de suelo se trataron tres veces con 1 mL de NaOH 0,1 M y una vez con 1 mL de agua Milli-Q, centrifugando cada vez a 10.000 x g por 1 min y guardando el sobrenadante para la cuantificación por Bradford. Las muestras se neutralizaron con una solución de HCl 0,1 M (Riedel-de Häen) antes de la cuantificación proteica.

Para evaluar la termoestabilidad de las proteínas extraídas, los sobrenadantes obtenidos se sometieron a 121 °C durante una hora y se cuantificaron las proteínas nuevamente para evaluar si existían diferencias entre las dos valoraciones.

Método de solventes orgánicos: se empleó la metodología propuesta por Almarza (2013) adaptada a las mezclas de solventes a emplear. Las muestras de suelo, se resuspendieron en 1 mL de NaOH 0,1 M y se centrifugaron a 14.000 x g por 1 minuto repitiendo dos (2) veces más. Luego, se lavaron con 1 mL de agua destilada, centrifugando después 14000 x g por 1 minuto. Se extrajo la fase acuosa, se agregaron 800 µL de las mezclas de los solventes orgánicos fenol: cloroformo (Merck) o hexano:éter (Riedel-de Häen) a las muestras de suelo y se homogeneizaron con la ayuda de vórtex. Las

EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS DEL SUELO

Almarza, J.; Camargo, D.; Ruiz, C.; Camargo, D.; Linares, C.

muestras, se incubaron durante 30 minutos, se agitaron en vórtex 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 2 mL. La extracción con las mezclas de solventes orgánicos, se repitió dos (2) veces. Las fases orgánicas de cada extracción, se colocaron en una estufa con vacío a una temperatura cercana a su punto de ebullición, y se dejaron hasta la sequedad. Las muestras, se resuspendieron con 1 mL de buffer citrato para posteriormente cuantificar las proteínas. Paralelamente al procedimiento previamente descrito, se realizó el

proceso de extracción con solventes orgánicos a muestras de suelo de forma directa; es decir, sin realizar los lavados previos de NaOH y agua.

RESULTADOS

En la Tabla 1, se observa la comparación de los rendimientos proteicos obtenidos para los métodos: convencional, optimizado y NaOH/H₂O, considerados en esta investigación como métodos para extracción de proteínas polares.

Tabla 1. Rendimientos obtenidos en la extracción de GRSP del suelo en siete agroecosistemas mediante los métodos convencional, optimizado y NaOH/H₂O.

Agroecosistema (Rendimiento %)	Proteínas totales (mg P g ⁻¹ Suelo)					
	Convencional ± DE (Rend. %)	CV	Optimizado ± DE (Rend. %)	CV	NaOH ± DE (Rend. %)	CV
Bosque Tuquerena	190,396 ± 15,255 (94,43)	8,012	177,452 ± 11,471 (94,31)	6,464	159,315 ± 8,818 (82,02)	5,535
Cacao	162,699 ± 9,173 (96,08)	5,638	155,793 ± 9,802 (94,96)	6,292	143,956 ± 7,282 (81,92)	5,059
Hortaliza	101,889 ± 8,861 (94,80)	8,696	101,377 ± 8,938 (91,98)	8,816	77,321 ± 2,037 (74,41)	2,634
Barbecho Este	106,944 ± 12,304 (93,66)	11,505	131,463 ± 11,610 (92,60)	8,832	111,256 ± 4,110 (70,43)	3,694
Barbecho Oeste	107,712 ± 17,116 (93,79)	15,891	118,666 ± 12,354 (91,20)	10,410	98,107 ± 6,376 (70,48)	6,499
Bosque Primavera	143,776 ± 15,588 (92,92)	10,842	131,516 ± 13,123 (87,32)	9,978	90,169 ± 4,578 (66,89)	5,077
Bosque Ribera	123,243 ± 12,889 (93,01)	10,458	118,180 ± 7,131 (87,70)	6,034	85,641 ± 5,751 (70,63)	6,715

Nota: Para cada tipo de extracción se emplearon 12 muestras de cada suelo, la comparación de los tratamientos se realizó mediante el análisis Kruskal Wallis utilizando el paquete InfoStat versión 2014.

Para el caso del método NaOH/H₂O, se realizó una evaluación adicional para comparar la cantidad de proteínas solubilizadas con NaOH/H₂O que previamente se extraían con

citrato, así como también conocer el porcentaje de moléculas que se extraen con agua luego del último lavado con NaOH, cuyos resultados se muestran en las Figura 1 y 2.

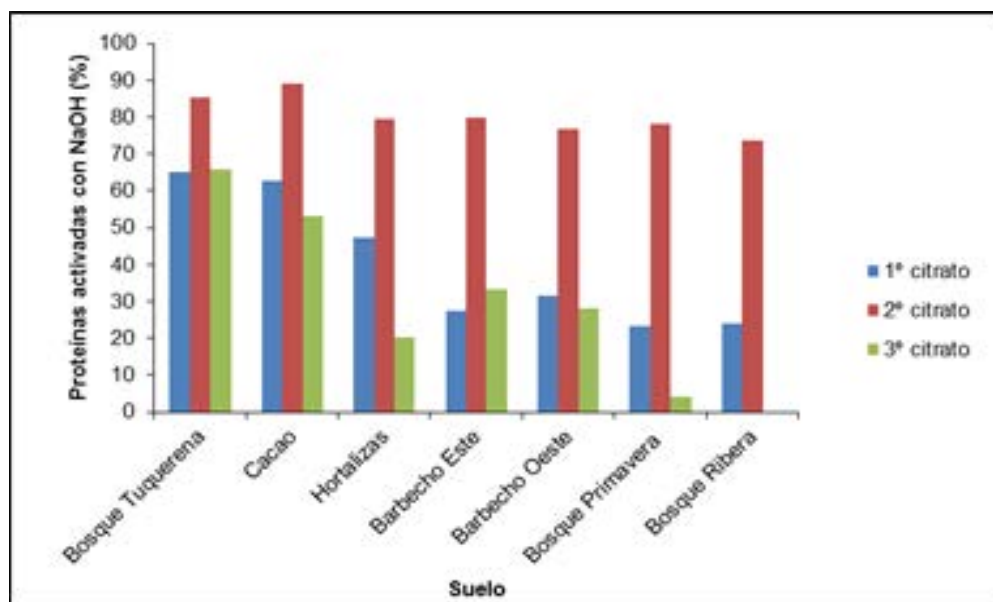


Figura 1. Porcentaje de proteínas activadas con NaOH extraídas previamente con citrato.

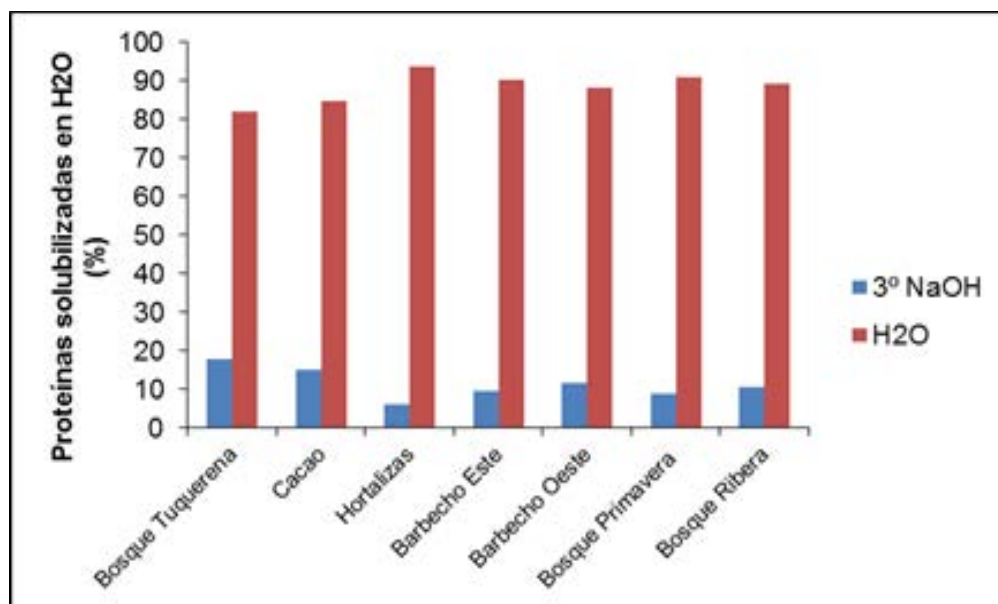


Figura 2. Porcentaje de proteínas solubilizadas en agua luego de una extracción con NaOH.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las fracciones proteicas extraídas

con la ayuda de mezclas de solventes orgánicos como fenol: cloroformo y hexano: éter.

DISCUSIÓN

Extracción de proteínas polares:

Se emplearon diferentes métodos de extracción de proteínas para comparar y determinar cuál resultaba más eficaz y práctico en la purificación de las proteínas totales del suelo. Inicialmente, se aplicó un tratamiento control consistente en un lavado de agua a las muestras de suelo (resultados no mostrados).

Se observó que los valores de proteína obtenidos fueron casi nulos, indicando que el agua por sí sola no es un buen solvente para purificar proteínas del suelo.

Este hecho fue también mencionado por Wright y Upadhyaya (1996), quienes demostraron que no es posible extraer glomalinas empleando agua a 121 °C, siendo esta una de las razones para que dichos autores afirmaran que las glomalinas son proteínas de carácter hidrofóbico. De ser cierta esta aseveración, el uso de compuestos como el NaOH no tendría efecto alguno en la separación de las proteínas del suelo.

Sin embargo, estudios realizados por Camargo (2012), Almarza (2013) y Quiñonez (2015) y los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que existe un *pool* de proteínas con características “polares”.

De igual manera, existen incoherencias teórico-experimentales al afirmar la insolubilidad en agua de las proteínas del suelo, pero solubilidad ante un compuesto polar como el citrato de sodio (Wright *et al.*, 1996; Wright y Upadhyaya 1996; Wright y Upadhyaya, 1998).

En cuanto a los métodos de extracción evaluados, la Tabla 1 muestra que los mayores rendimientos, se obtuvieron con el método convencional, seguido del optimizado y por último, el de solubilización con NaOH/H₂O. Sin embargo, el análisis estadístico mediante Kruskal-Wallis señala que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) entre estos tres métodos por suelo (excepto para el Bosque Primavera).

Los resultados con menor grado de dispersión de los datos corresponden al método NaOH/H₂O (2 – 5%) respecto a un rango del 6 – 10% para el optimizado y del 5 – 15% para el convencional. En términos de tiempo, el método más eficiente fue el de NaOH/H₂O cuyo protocolo se realizó en tan solo 16 minutos, siendo treinta y cinco veces (35) más rápido que el método convencional (9 horas de duración), lo cual sugiere que éste pudiera ser el más adecuado para la extracción de proteínas termoestables del suelo en análisis rutinarios. Es importante mencionar que se evaluó la termoestabilidad de las proteínas tratadas con NaOH/H₂O mediante calentamiento en autoclave a 121 °C por una hora, encontrándose que no hubo diferencias significativas ($\alpha=0,05$) en los niveles de proteína cuantificados por Bradford.

La presencia de proteínas en las extracciones con NaOH/H₂O, se reportó por primera vez por Nichols y Wright (2005), quienes mencionaron que se pueden co-extraer proteínas con los lavados de NaOH; pero, no indicaron la proporción ni dieron una atención relevante a estas proteínas. Posteriormente, Camargo (2012) reportó una fracción equivalente al 40% de las proteínas totales que es de característica polar. Y, en esta investigación dicha fracción fue de hasta un 69 % en los suelos estudiados.

Respecto a las diferencias entre cada agroecosistema, en la Tabla 1, se observa que los mayores rendimientos proteicos los tuvo Bosque Tuquerena y los menores el lote Hortalizas.

Esto podría deberse al uso intensivo que ha sufrido éste último, donde no se ha dejado un tiempo de reposo necesario para la recuperación del agroecosistema en conjunto con un posible exceso de fertilización y uso de agroquímicos en general que, unidos al uso de maquinaria agrícola, han hecho que se pierda la biodiversidad responsable de la producción de proteínas termoestables del suelo.

Lo anterior coincide con los resultados reportados por Rillig *et al.* (2003), quienes encontraron diferencias significativas en la

concentración de glomalinas según el manejo del suelo, donde aquellos con fines agrícolas o deforestados presentaron menor concentración de estas proteínas respecto a bosques nativos. Estudios similares han encontrado que los sistemas agrícolas con labranza convencional (barbecho, rastreo, surcado y aporque) tienen una menor capacidad de acumulación de glomalinas respecto a los sistemas con labranza cero, debido a que la MO queda en la superficie del suelo reduciendo la evaporación, la temperatura y el intercambio de gases que intervienen en su oxidación (Báez-Pérez *et al.*, 2010). En general, los resultados observados con los diferentes métodos aplicados son una muestra de la potencialidad que tiene el análisis de las proteínas del suelo como un bioindicador de fertilidad agrícola.

El estudio de las GRSP como potencial indicador de la calidad biológica de los suelos cumple con las condiciones esperadas para este tipo de análisis: son integradoras, fáciles de medir, se basan en información objetiva, son fáciles de reconocer, se adecúan a los sistemas estudiados, son adaptables a diferentes ecosistemas y condiciones, reflejan el atributo de sostenibilidad que se desea evaluar, constituyendo una herramienta rápida para la toma de decisiones (García *et al.*, 2012).

Activación de proteínas con NaOH

En la Figura 1, se evidencia que las proteínas solubilizadas con citrato pH 8 pueden ser también solubilizadas por soluciones polares como el NaOH y H₂O, lográndose extraer hasta un 88,9% de las proteínas que se lograban extraer con citrato. Sobre la base del principio universal de solubilidad “igual disuelve igual”, la clasificación de las GRSP o glomalinas en el grupo de proteínas apolares es contradictoria, ya que éstas no siguen los principios fisicoquímicos fundamentales que gobiernan el comportamiento de las moléculas hidrofóbicas en solventes polares (principio de dispersión de las cargas, momentos dipolares, dipolos permanentes y transitorios, capas de solvatación e hidratación, entre otros), cuestionando con esto la apolaridad propuesta tan nombrada y aceptada en la

literatura (Wright *et al.*, 1996; Wright y Upadhyaya, 1996). En el mismo orden de ideas, los resultados mostrados en la Figura 2 son una evidencia que sugiere la importancia de realizar al menos un lavado con agua luego de la extracción con NaOH; ya que, se logra activar hasta un 93% de las proteínas.

Estos resultados, se pudieran explicar por la ionización de los residuos tirosina, aspártico y glutámico en la superficie proteica, que incrementaría sus capas de solvatación y, por lo tanto, la solubilidad de las proteínas (Camargo, 2012; Almarza 2013; Quiñonez, 2015).

Extracción de proteínas apolares

En cuanto a la extracción con solventes orgánicos (Tabla 2), sólo se detectaron fracciones de proteínas apolares en tres suelos: Bosque Tuquerena, Cacao y Hortaliza, para la mezcla hexano:éter cuyos niveles fueron, además, muy bajos.

El lavado previo con NaOH/H₂O de las muestras de suelo antes de la extracción con las mezclas de solventes, se realizó con el fin de asegurar que los extractos proteicos pudieran corresponder a proteínas realmente apolares en el sentido estricto de la química de soluciones.

Los bajos niveles de proteínas obtenidos con este protocolo están completamente en desacuerdo con lo reportado en la literatura (Wright *et al.*, 1996; Wright y Upadhyaya, 1996; Wright y Upadhyaya, 1998; Nichols y Wright, 2005), donde se asegura sin ningún tipo de argumento químico, bioquímico o experimental que las proteínas que existen en el suelo (glomalinas o GRSP) son fundamentalmente hidrofóbicas.

La evidencia experimental mostrada en este trabajo, tanto con el uso de soluciones polares (citrato pH 8 y NaOH/H₂O), como con el uso de mezclas de solventes apolares y ligeramente polares, sugiere la presencia de un grupo de proteínas activadas por NaOH en proporción muy elevada y un grupo minoritario de proteínas con características de solubilidad hidrofóbicas en algunas muestras de suelo.

Tabla 2. Rendimientos obtenidos en la extracción de proteínas apolares del suelo mediante el uso de solventes orgánicos.

Agroecosistema	Proteínas totales (mg Proteína g ⁻¹ Suelo)					
	Hexano:éter +NaOH/H ₂ O ± DE	CV (%)	Hexano:éter ± DE	CV (%)	Fenol: cloroformo +NaOH/H ₂ O	Fenol: cloroformo
Bosque Tuquerena	0,698 ± 0,122	17,506	0,270 ± 0,031	11,535	ND	ND
Cacao	1,029 ± 0,122	11,829	1,199 ± 0,106	8,879	ND	ND
Hortaliza	0,464 ± 0,098	21,171	0,786 ± 0,113	14,360	ND	ND
Barbecho Este	ND		ND		ND	ND
Barbecho Oeste	ND		ND		ND	ND
Bosque Primavera	ND		ND		ND	ND
Bosque Ribera	ND		ND		ND	ND

ND: No detectado

Relación entre rendimientos proteicos y manejo de los agroecosistemas

A partir de la información obtenida mediante los diversos análisis realizados, se puede observar que los lotes Bosque Tuquerena y Cacao presentan una mejor calidad de los suelos; lo cual, se podría relacionar a altos niveles de MOS y humedad del suelo que permitirían un mayor desarrollo de los microorganismos responsables de secretar las proteínas del suelo. De igual manera, el manejo agroecológico que ha tenido el lote Cacao pudiera contribuir favorablemente a la acumulación de las GRSP. Al contrario de esto, el lote Hortalizas y los lotes Barbechos, por su manejo intensivo que incluye el uso de labranza y métodos tradicionales de agricultura, han sufrido una disminución en el contenido de GRSP conllevando a una degradación del suelo. En estudios sobre los efectos del manejo orgánico y tradicional de los suelos, se ha visto que la concentración de GRSP ha sido mayor en los sistemas agroecológicos en comparación con los de manejo convencional en términos de largo plazo (Bedini *et al.*, 2013).

Por otra parte, el uso de fertilizantes ricos en P puede ayudar a incrementar el contenido de GRSP, siendo mayor el efecto de las enmiendas orgánicas respecto a los fertilizantes minerales (Dai *et al.*, 2013). Esto podría haber ayudado al

lote Hortalizas a mantener ciertos niveles de proteínas y no presentar una disminución dramática respecto a los demás lotes manteniendo una fertilidad aceptable hasta los momentos.

Finalmente, los Bosques Primavera y Ribera presentan contenidos de proteínas que sugieren una buena calidad del suelo; y por lo tanto, una alta fertilidad de los mismos. Las similitudes en los contenidos proteicos de estos bosques y los barbechos analizados podrían deberse a una recuperación de estos últimos, ya que no han sido cultivados desde hace más de dos años.

Breve análisis del costo del método NaOH/H₂O:

La estandarización de un método para la extracción de proteínas es una propuesta que se hace con el fin de integrar este tipo de estudio a los análisis rutinarios de suelo, para obtener información del estado de este recurso a partir de un bioindicador de calidad. En este sentido, los resultados obtenidos sugieren que el método más eficiente, rápido y económico entre los evaluados es el correspondiente a extracción con NaOH/H₂O. Por esta razón, en este trabajo se decidió calcular el costo que tendría una evaluación de un suelo por medio de dicho método, obteniendo que para un análisis que

implique la extracción de 10 muestras de suelo. El costo total sería de 0.43 dólares americanos utilizando reactivos de alta pureza como son los de Sigma. Por lo tanto, se sugiere continuar los estudios con este método para proponer un protocolo definitivo que pueda incluirse en los análisis de rutina. Dichos protocolos a estandarizar podrían evaluar diferentes combinaciones de los pasos de lavados entre NaOH y agua, para determinar con mayor seguridad cuál resulta más adecuado.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados, se puede concluir que existe una alta proporción de GRSP con características de solubilidades distintas para los suelos estudiados, con una alta proporción de proteínas polares y un grupo minoritario de proteínas apolares. De los métodos estudiados, el más eficiente fue el de solubilización con NaOH/H₂O por sus rendimientos proteicos, tiempos de extracción y recursos empleados. El NaOH, en este caso, actúa como un activador en la solubilización de las proteínas polares del suelo, lo que sugiere la importancia de realizar al menos un lavado con este compuesto seguido de una extracción con agua. Finalmente, los distintos análisis permitieron concluir que los agroecosistemas Bosque Tuquerena y Cacao presentaron la mejor oferta ambiental en términos de presencia de proteínas termoestables del suelo.

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, VE, UNET. 31 p.
- Ayala, G., Kamat, S., Beckman, E. (1992). Protein extraction and activity in reverse micelles of a nonionic detergent. *Biotechnology and Bioengineering*. 39(8):806–814.
- Báez-Pérez, A., González-Chávez, M., Etchevers-Barra, J., Prat, C., Hidalgo-Moreno, C. (2010). Glomalina y secuestro de carbono en tepetates cultivados. *Agrociencia*. 44(5):517–529.
- Bedini, S., Avio, L., Sbrana, C., Turrini, A., Migliorini, P., Vazzana, C., Giovannetti, M. (2013). Mycorrhizal activity and diversity in a long-term organic Mediterranean agroecosystem. *Biology and Fertility of Soils*. 49(7):781–790.
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72(1):248–254.
- 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 Pregrado. San Cristóbal, VE, UNET. 49 p.
- Dai, J., Hu, J., Lin, X., Yang, A., Wang, R., Zhang, J., Wong, M.H. (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.
- Denardin, J., Kochhann, R., D'Avila, N. (2006). Aspectos químicos, físicos y biológicos relacionados con la estructura. In: Díaz, R., Rava, C. (Eds.). *Aportes de la ciencia y la tecnología al manejo productivo y sustentable de los suelos del cono Sur*. Montevideo: IICA, PROCISUR.
- Ferro, M., Seigneurin-Berny, D., Rolland, N., Chapel, A., Salvi, D., Garin, J., Joyard, J. (2000). Organic solvent extraction as a versatile procedure to identify hydrophobic chloroplast membrane proteins. *Electrophoresis*. 21(16):3517–3526.
- García, Y., Ramírez, W., Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y forrajes*. 35(2):125–138.

- Gillespie, A., Farrell, R., Walley, F., Ross, A., Leinweber, P., Eckhardt, K., Regier, T., Blyth R. (2011). Glomalin-related soil protein contains non-mycorrhizal-related heat-stable proteins, lipids and humic materials. *Soil Biology & Biochemistry*. 43(4):766–777.
- Kutilek, M., Nielsen, D. (2015). *Soil. The skin of the planet Earth*. Primera Edición. New York: Springer.
- Nichols, K., Wright, S. (2005). Comparison of glomalin and humic acid in eight native U.S. soils. *Soil Science*. 170(12):985–997.
- Pal, A., Pandey, S. (2014). Role of glomalin in improving soil fertility: A review. *International Journal of Plant & Soil Science*. 3(9):1112–1129.
- 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, VE, UNET. 49 p.
- Rillig, M., Wright, S., Nichols, K., Schmidt, W., Torn, M. (2001). Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant and Soil*. 233(2):167–177.
- Rillig, M., Ramsey, P., Morris, S., Paul, E. (2003). Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. *Plant and Soil*. 253(2):293–299.
- Rillig, M. (2004). Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*. 84(4):355–363.
- 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., 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.

CENTRO DE ACOPIO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA EL MUNICIPIO SAN CRISTÓBAL, ESTADO TÁCHIRA

COLLECTION AND USE OF SOLID WASTE CENTER FOR SAN CRISTÓBAL MUNICIPALITY, TÁCHIRA STATE

AUTORES:**Peña, Héctor¹; Rodríguez, Karena²; Ramírez, Betty³; Cárdenas, Mayra²**¹Ingeniero Ambiental, UNET, Venezuela²Unidad de investigación de Laboratorio Ambiental y Desarrollo Sostenible, UNET, Venezuela.³Departamento Ingeniería Ambiental, UNET, Venezuela.**Corresponding Author:**

krodriguez@unet.edu.ve

Palabras clave: Acopio, aprovechamiento, residuos y desechos sólidos.**Key words:** Collection, use, waste and solid waste.**RESUMEN**

El manejo inadecuado de los residuos y desechos sólidos se ha convertido en un problema ambiental de orden municipal, regional y global. Debido a esto, se encontró la necesidad de implementar un proyecto que va a repercutir directamente en la recolección y disposición final de esos elementos. El objetivo general de esta investigación se basó en la propuesta de un centro de acopio y aprovechamiento de los residuos sólidos generados en el municipio San Cristóbal, estado Táchira (Venezuela), a fin de optimizar la gestión integral. La investigación se enmarcó en el enfoque cuantitativo, de tipo proyecto factible y apoyo descriptivo; se emplearon técnicas de entrevista no estructurada y revisión documental. Se aplicaron métodos estadísticos para proyectar y determinar la población conjunta con la generación de residuos y desechos sólidos hasta el año 2060, para luego dimensionar el centro de acopio y aprovechamiento y por último definir estrategias integrales de manejo. En la determinación de la población y generación se obtuvo una generación aproximada de 434.36 Ton/D de residuos y desechos sólidos, de los cuales 58.6% son putrescibles, 27% no putrescibles y 14% sanitarios; de la fracción no putrescible, los elementos seleccionados para su acopio y aprovechamiento son plástico, papel y cartón, y vidrio. Con estos elementos, se dimensionó el centro de acopio de tipo semimecanizado, con una capacidad de procesamiento de 90%, con una superficie aproximada de una hectárea, que contará con instalaciones de funcionamiento y área administrativa. Paralelamente a este proyecto se establece una ruta de recolección selectiva a fin de optimizar el funcionamiento del centro y que los residuos sean llevados directamente de la fuente al sitio de aprovechamiento.

ABSTRACT

The inadequate management of waste and solid waste has become an environmental problem of global, regional and municipal order. Due to this, it was found the need to implement a project that will directly affect the collection and final disposal of these elements. The general objective of this research was based on the proposal of a collection center and use of solid waste generated in San Cristóbal municipality, in order to optimize the integral management. The research is framed in the quantitative approach, feasible project type and descriptive support; unstructured interview techniques and documentary review were used. In this proposal statistical methods were applied to project and determine the joint population with the generation of waste and solid waste until the year 2060, to evaluate, then, the collection and harvesting center, and finally define integral management strategies. In the determination of the population and generation, an approximate generation of 434.36 Ton / D of waste and solid waste was obtained, of which 58.6% is putrescible, 27% non-putrescible and 14% is sanitary; of the non-putrescible fraction, the elements selected for its collection and use are plastic, paper and cardboard, and glass. With these elements, the semi-mechanized type collection center was evaluated, with a processing capacity of 90%, establishing an approximate area of one hectare, which will have the operating facilities and administrative area. Parallel to this project, a selective collection route is established in order to optimize the operation of the center and that the waste is taken directly from the source to the collection and use site.

Recibido: 05/03/2018 Aprobado: 14/05/2018 Versión Final: 06/09/2018

INTRODUCCIÓN

La gestión integral de residuos y desechos sólidos ha tomado cada vez mayor importancia en América Latina y el Caribe; las altas tasas de generación, derivadas de hábitos de consumo insostenibles, han hecho que legisladores, planificadores, ONG y comunidades organizadas se dirijan a plantear respuestas ante esta situación (Martínez *et al.*, 2010). En Venezuela se han propuesto soluciones de manera particular por parte de los entes municipales, debido a la ausencia del plan nacional para el manejo integral de los residuos y desechos sólidos, establecido en la Ley de gestión integral de la basura (República Bolivariana de Venezuela, 2010); de allí que parezcan descoordinados e ineficientes.

El municipio San Cristóbal, en el estado Táchira, no escapa de esta realidad: se observa la acumulación de residuos y desechos en las calles, avenidas, barrios y caseríos, debido a la falta de un plan de gestión integral de residuos y desechos sólidos y su correcta implementación. En el documento técnico *Diagnóstico para establecer alternativas para una gestión integral de los residuos y desechos sólidos del municipio San Cristóbal, estado Táchira* (Alcaldía del municipio San Cristóbal, 2013), se evidencian aspectos referentes a la deficiente gestión del tema en el municipio; se destaca una generación diaria de más de 500 toneladas de basura, lo que causa grandes cantidades de elementos no recuperados ni aprovechados, al ser dispuestos de manera definitiva en el vertedero de El Palmar, en el municipio Torbes.

En el año 2015, se decreta la Ordenanza sobre gestión integral de desechos y residuos sólidos del municipio San Cristóbal, en la que se reconoce gran importancia a la separación y aprovechamiento de esos elementos, con lo cual se podría mitigar la contaminación y acumulación de desechos en la ciudad, disminuir los vectores de enfermedades, mejorar las condiciones de salud e higiene pública, mejorar la calidad de vida de los sancristobalenses, reducir los costos de operación en la recolección y generar recursos para la municipalidad.

Este trabajo cuenta con una investigación teórica y de campo, además de estudios técnicos, dirigidos principalmente a evaluar las deficiencias dentro del sistema de gestión y manejo de residuos sólidos en el municipio, para de esta forma generar alternativas al respecto y garantizarlos principios de sostenibilidad y la aplicación de las 3R entre los habitantes del municipio.

Dicho estudio no está enfocado en la optimización de los sistemas de recolección ni disposición final propiamente, pero sí se toman en cuenta en la evaluación, por ser elementos que no pueden desligarse del centro de acopio y aprovechamiento.

Antecedentes

Dentro de los trabajos consultados se encuentra el de Puga (2016), quien diseñó una planta de tratamiento de residuos sólidos para la ciudad de Babahoyo, Guayaquil (Ecuador). Dicho proyecto explica los efectos negativos producidos por la basura en la ciudad, así como la situación precaria en que se encontraba el procesamiento de los residuos y desechos sólidos.

En el ámbito venezolano, se revisó el aporte de Duque y Hernández (2013), quienes realizaron un proyecto denominado *Análisis de la situación actual y planteamiento de una propuesta en la gestión de residuos sólidos urbanos del municipio Sucre, estado Miranda, Venezuela*. Se trata de una investigación teórica y de campo, además de estudios comparativos y técnico-económicos, los cuales estuvieron encaminados a evaluar las deficiencias dentro de la estación de transferencia existente y buscar una tecnología alternativa que optimizara su funcionamiento, ya que, para la gestión del municipio, este es el eslabón que presenta la mayor cantidad de carencias e inconvenientes.

Por último, en el contexto local, se puede retomar el documento técnico presentado por la Alcaldía de San Cristóbal (2013), que aportó una experiencia única en la región, ya que nunca se había realizado un trabajo de dicha envergadura en cuanto a la generación y manejo de los residuos y desechos sólidos del municipio, tanto a nivel residencial como no residencial.

Referentes teóricos

Según la Ley de gestión integral de la basura (República Bolivariana de Venezuela, 2010), la gestión de los residuos y desechos sólidos comprende las políticas, recursos, acciones, procesos y operaciones que se aplican en todas las fases del manejo, para garantizar un adecuado tratamiento de los mismos, al tiempo que corresponde al poder ejecutivo nacional, a través del ministerio competente en materia ambiental, y conjuntamente con los entes relacionados, la formulación de políticas sobre la gestión integral de residuos y desechos sólidos, elaborar planes de manejo de los mismos, fijar criterios para el establecimiento de tasas sobre la materia, aprobar tecnologías destinadas a su tratamiento o aprovechamiento y las demás responsabilidades que asignen las leyes de la república.

Dentro de los principios establecidos en la Ordenanza municipal de gestión de los residuos y desechos sólidos del municipio San Cristóbal (2015) está el aprovechamiento, entendido como la utilización de sistemas tales como reciclaje, recuperación, reducción, compostaje, lombricultura y otros que la ciencia y la tecnología desarrollen, a los fines de obtener de los residuos un beneficio.

En cuanto al tratamiento, consiste en la modificación de las características físicas, químicas o biológicas de los residuos y desechos, con el objeto de reducir su nocividad, controlar su agresividad ambiental y facilitar su manejo; comprende los procesos de separación, procesado y transformación.

Tal como lo señalan Tchobanoglous *et al.* (1994), la selección de técnicas específicas de tratamiento para un sistema de manejo de residuos y desechos sólidos depende de los propósitos a ser alcanzados.

Entre los principales propósitos están el mejorar la eficiencia de los sistemas de manejo, recuperar materiales utilizables y la conversión de productos y energía. Para ello se cuenta con diversas instalaciones, cuya complejidad va a depender de sus funciones.

Las instalaciones de tratamiento y aprovechamiento de residuos y desechos sólidos pueden incluir:

1. Puntos verdes (sin infraestructura).
2. Espacio de almacenamiento y recolección selectiva (básicamente para contenedores clasificatorios).
3. Centros de entrega voluntaria, acopio y acondicionamiento menor.
4. Ecoparques para materiales reciclables y artículos especiales.
5. Instalaciones de separación y recuperación de materiales reciclables.
6. Centros de tratamiento aerobio de residuos orgánicos.
7. Instalaciones de tratamiento anaerobio.
8. Instalaciones de tratamiento térmico y valorización energética.
9. Unidades de valorización de residuos (valorización de materias primas).
10. Unidades de aprovechamiento comerciales.

MÉTODO

De acuerdo a sus objetivos, el proyecto se enmarcó en el paradigma cuantitativo, con un enfoque proyectivo, diseño de campo y apoyo documental.

Población y muestra

Como población para la recopilación de datos se consideraron los informes técnicos desarrollados en el municipio sobre el manejo de sus residuos y desechos sólidos, así como informantes claves, caso específico del director de Servicios Públicos del municipio San Cristóbal, el Ing. Ysrael Ruiz, y el jefe de la División de Aseo Urbano, Ing. Eduin Montañez, con quienes se sostuvieron entrevistas para identificar las necesidades del municipio en cuanto al manejo de sus residuos y desechos.

De igual forma, se consideraron como informantes claves agentes que se dan a la tarea de promover acciones para reducir, reutilizar y reciclar los residuos, caso específico de Heber Plast (empresa recuperadora), Ecoretorae y Acción 3R (promotores de acciones para el mejor manejo de los residuos).

Técnicas

En virtud de los objetivos planteados, se consideró utilizar diferentes técnicas de recopilación de datos. En primer lugar, para estimar la generación de los residuos y desechos sólidos, se emplearon los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), el censo general de población del Ministerio de Fomento, así como métodos estadísticos para la proyección de poblaciones futuras, con miras a calcular la generación de residuos y desechos sólidos.

Se aplicó una entrevista a cada uno de los informantes claves a fin de concretar aspectos fundamentales para el diseño de un centro de acopio y aprovechamiento, basada en los principios establecidos en la ley y la ordenanza sobre esta actividad.

La entrevista tocó aspectos como capacidad y compromiso del ente municipal sobre el tema, participación de la ciudadanía, requerimientos legales y mecanismos de interrelación de los principales actores.

RESULTADOS*Estimación de la generación de residuos sólidos urbanos*

Para llevar a cabo esta fase, se consideró el diagnóstico realizado por la Alcaldía del municipio San Cristóbal (2013), por ser el dato referencial más cercano.

Para determinar la cantidad total de residuos y desechos sólidos en el municipio para el año 2017, se utilizaron los métodos de proyección poblacionales estadísticos, con los cuales se puede determinar una población futura teniendo como mínimo tres datos poblacionales de censos correspondientes a tres periodos anteriores; de esta manera, se usaron datos poblacionales del Ministerio de Fomento, específicamente la Dirección General de Estadísticas y Censos Nacionales de 1950 y 1971, y el censo general de población de la República Bolivariana de Venezuela, del Instituto Nacional de Estadística, correspondiente a los años 2001 y 2011, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Población del municipio San Cristóbal, censos poblacionales 1950, 1971, 2001, 2011.

Años	1950	1971	2001	2011
Parroquia	Habitantes	Habitantes	Habitantes	Habitantes
San Sebastián	12222	8556	20917	22437
San Juan Bautista	19149	43613	85330	96527
Pedro María Morantes	22562	34375	50197	49159
La Concordia		65173	92660	94565
Total	53933	151717	249104	263765

Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos Nacionales de 1950 y 1971, y el censo general de población de la República Bolivariana de Venezuela efectuado por el INE en los años 2001 y 2011.

A partir de estos datos, se traza la curva de comportamiento del crecimiento poblacional para la cantidad de habitantes desde el año 1950

hasta el 2011, para determinar la tasa de crecimiento y el modelo de proyección a utilizar, como se muestra en la figura 1.

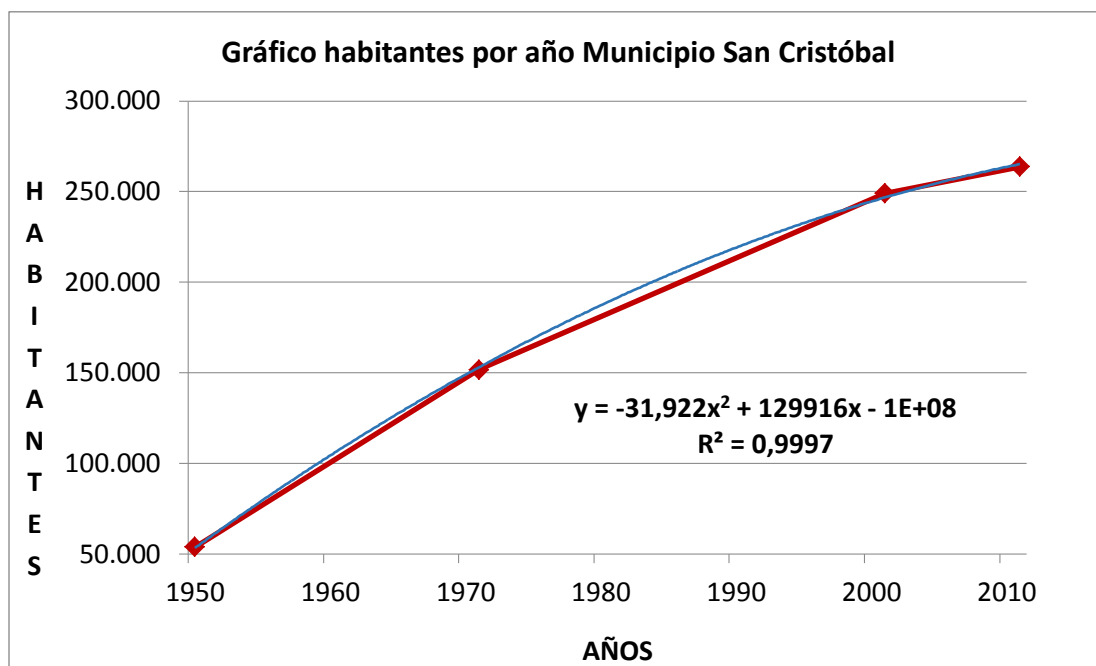


Figura 1. Estimación de población para el municipio San Cristóbal.

Fuente: Cálculos propios. Datos: Dirección General de Estadísticas y Censos Nacionales de 1950 y 1971, censo general de población de la República Bolivariana de Venezuela efectuado por el INE en 2001 y 2011.

Como se puede observar en la figura 1, la tasa de crecimiento tiene un comportamiento o curva polinómica, la cual muestra que el método más certero para proyectar la población hasta el año 2017 y estimar la generación de residuos y desechos sólidos en el municipio San Cristóbal, de acuerdo con los datos poblacionales ya indicados, es el método logarítmico.

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las ecuaciones del método de valoración logarítmica, en la cual se proyectó la población futura para el año 2012, 2013 y 2017.

Tabla 2. Proyección poblacional municipio San Cristóbal para el año 2017, método logarítmico.

Años	Población	N	K1	K2	P
1950	53.933,00	---	-----	-----	53.933,00
1971	151.717,00	---	-----	-----	151.717,00
2001	249.104,00	---	-----	-----	249.104,00
2011	263.765,00	---	-----	-----	263.765,00
2012	-----		2,48X10 -3	5,38X10 -3	264.531,00
2013	-----	2	2,48X10 -3	5,38X10 -3	268.169,00
2017	-----	4	1,65X10 -3	3,59 X10 -3	274.167,00

Fuente: Elaboración propia. Datos: Dirección General de Estadísticas y Censos Nacionales de 1950 y 1971, y el censo general de población de la República Bolivariana de Venezuela efectuado por el INE en 2001 y 2011.

ACOPIO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS

Peña, H.; Rodríguez, K.; Ramírez, B.; Cárdenas, M.

Una vez aplicados los procedimientos, se estimó la población hasta el año de proyección seleccionado, que es 2037, por considerarlo un

período prudencial, aunque se pueden ampliar las proyecciones cada 10 años. En la tabla 3 se muestran los resultados.

Tabla 3. Resultados de la proyección poblacional del municipio San Cristóbal, 2011-2037.

Años	Habitantes
2011	263.765,00
2012	264.531,00
2013	268.169,00
2017	274.167,00
2027	292.813,94
2037	313.837,28

En lo que respecta a la proyección de generación de residuos y desechos para el municipio San Cristóbal, se consideraron tres puntos de referencia: a) el diagnóstico realizado en 2013, b) los datos de disposición final, y c)

estimaciones del Instituto de Estudios Sociales de la ULA para el 2006. En la tabla 4 se muestran los datos obtenidos con cada uno de ellos.

Tabla 4. Proyección de la generación de residuos y desechos sólidos en el municipio San Cristóbal.

	PGID, 2013	Disposición final MAMDESTA	IIES, ULA, 2006.
Años	Producción (Kg/Día)	Producción (Kg/Día)	Producción (Kg/Día)
2011	205.736,70	266.220,00	489.037,17
2012	206.334,18	253.590,00	493.732,05
2013	209.171,82	293.260,00	498.471,79
2017	213.850,26	299.810,00	516.084,61

Como se puede observar, la variación entre las tres fuentes es muy grande, sobre todo la del Instituto de Estudios Sociales de la ULA; es por ello que se tomó la decisión de trabajar con los datos de disposición final, considerándolos como un punto intermedio entre las fuentes.

Hecho esto, las proyecciones de generación de residuos sólidos urbanos al 2037 se muestran en la tabla 5.

Composición de los residuos y desechos generados en el municipio

Para estas proyecciones, se consideró como referente el diagnóstico presentado por la Alcaldía del municipio San Cristóbal (2013), donde se obtuvo una generación de 299,810 Ton/Día de residuos y desechos sólidos para el municipio, de los cuales 58,59 % son de la fracción putrescible, 27,08 % de la fracción no

putrescible y 14,33 % de desechos sanitarios; adicionalmente, de los residuos aprovechables se tiene que 39 % corresponden a plástico, 18,7 % a papel, 15,5 % a vidrio, 13,8 % a cartón y 13 % a otros elementos.

Las proyecciones hasta el 2060 se muestran en la tabla 6, a fin de dimensionar el centro de acopio y aprovechamiento.

Tabla 5. Proyección de generación de residuos sólidos hasta el año 2037.

Años	Habitantes*	Producción* (Kg/día)
2011	263.765,00	266.220,00
2012	264.531,00	253.590,00
2013	268.169,00	293.260,00
2017	274.167,00	299.810,00
2027	292.813,94	320.200,99
2037	313.837,28	343.190,65

Tabla 6. Producción mínima y máxima de residuos no putrescibles recuperables, años 2017-2037.

Años	Cantidad de vidrio (Kg/Día)	Cantidad de cartón (Kg/Día)	Cantidad de papel (Kg/Día)	Cantidad de plástico (Kg/Día)
2017	12.18277	10.588,08	14.627,43	31.569,99
2027	13.011,36	11.308,21	15.622,28	33.717,16
2037	13.945,55	12.120,12	16.743,92	36.137,97

Aspectos críticos para el acopio y aprovechamiento de residuos y desechos en el municipio.

Una vez hechas las proyecciones, se realizaron las entrevistas a los informantes claves a fin de establecer aquellas fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que se pueden presentar a la hora de establecer un centro de acopio y aprovechamiento de residuos y desechos sólidos en el municipio, estos desde las tres perspectivas: el ente municipal, el recuperador y el promotor ambiental.

1) Se dispone de una ordenanza municipal de gestión integral de los residuos y desechos que estipula el aprovechamiento de esos elementos.

Ello permite establecer alianzas entre el ente municipal y las empresas recuperadoras.

2) En la zona se cuenta con una buena cantidad de empresas recuperadoras que pueden ser los clientes finales del centro.

Para estas, el contar con un centro de acopio les permitirá optimizar sus recursos.

3) Los promotores ambientales pueden facilitar el proceso de capacitación tanto a las comunidades como a todos los involucrados en el acopio y aprovechamiento de los residuos y desechos. Es de resaltar que la UNET puede apoyar en estas acciones.

4) Al ente municipal, con un centro de acopio y aprovechamiento de residuos, se le facilitaría el

servicio de aseo urbano, al reducirse los viajes al sitio de disposición final, además de reducir su impacto, pues llevaría al vertedero menor cantidad de estos elementos.

Por otro lado, entre las debilidades discutidas se tienen:

- 1) Falta de recursos para dar seguimiento a lo establecido en la ordenanza.
- 2) Ausencia de un plan nacional de gestión de residuos y desechos que garantice la continuidad administrativa del proyecto.
- 3) Falta de compromiso de los entes del estado para apoyar proyectos en esta materia.
- 4) Falta de recursos para la construcción del centro.

DISCUSIÓN

Una vez recopilados y analizados los datos, se procedió a establecer la propuesta del centro de acopio y aprovechamiento de residuos y desechos en el municipio San Cristóbal, señalando los parámetros de dimensionamiento y operatividad. Se analizaron tres alternativas: a) un centro construido en su totalidad desde el primer momento, b) un centro construido en tres etapas con 60% de operación, y c) un centro construido en tres etapas con 80% de operación.

Fue seleccionada la opción “c” por ser la más factible, pues genera rentabilidad, ya que se recuperará la inversión en su primera etapa de funcionamiento. En la tabla 7 se muestra el análisis económico de las opciones para los primeros 5 años.

Tabla 7. Resumen de inversión, ganancia y tasa de retorno de las propuestas.

Parámetro	Propuesta 1 Punto Limpio Tipo A	Propuesta 2 Punto Limpio Tipo B	Propuesta 3 Punto Limpio Tipo C
Inversión \$	2.313.403,12	925.203,23	506.610,00
Ganancia \$	2.014.312,209	1.037.454,582	1.037.454,582
Retorno \$	-299.090,3138	112.251,3524	530.844,5815

Estimaciones a dólar libre para el año 2017.

Finalmente se muestran los parámetros del centro de acopio y aprovechamiento de residuos y desechos sólidos para el municipio San Cristóbal, para un tiempo de proyección de 20 años.

- 1.- Área total: 11.000 m²
- 2.- Operatividad: semimecanizada, esto con la finalidad de no incurrir en costos excesivos desde el inicio del proyecto y poder convertirse en una fuente de empleo en el municipio.
- 3.- Capacidad de operación: 130 ton/d.
4. Operaciones básicas: recepción, pesaje, procesamiento/tratamiento, almacenamiento y venta.

5. Elementos acopiados y aprovechados: papel y cartón, plástico, vidrio.

REFERENCIAS

- Alcaldía del municipio San Cristóbal. (2013). Diagnóstico para establecer las alternativas para una gestión integral de los residuos y desechos sólidos del municipio San Cristóbal, estado Táchira. San Cristóbal: Despacho de la alcaldesa.
- Casadiejo, J. (2015). Instalaciones y operaciones de tratamiento, recuperación y aprovechamiento de residuos sólidos. (Material de consulta del Diplomado de

- Gestión de Residuos Sólidos). San Cristóbal: Proyecto Acción 3R CISP, UNET.
- Duque, R., Hernández, M. (2013). Análisis de la situación actual y planteamiento de una propuesta en la gestión de residuos sólidos urbanos del municipio Sucre, estado Miranda, Venezuela. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS4820.pdf>
- Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales de la Universidad de Los Andes (IIES-ULA). (2006). Estudio de proyecciones poblacionales. Disponible en: http://iies.faces.ula.ve/Proyecciones_de_Poblacion/T%C3%A1chira.htm
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2011). Resumen estadístico: XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. Resultados por entidad federal y municipio del estado Táchira, 2011. Disponible: <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/tachira.pdf>
- República Bolivariana de Venezuela. (2010). Ley de Gestión Integral de la Basura. Gaceta Oficial, N° 6.017, 30 de diciembre de 2010. Disponible: http://historico.tsj.gov.ve/legislacion/LeyesOrdinarias/76.-GOE_6017.pdf
- Martínez, E., Daza, D., Tello, P., Soulier, M., Terraza, H. (2010). Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010. Trabajo conjunto BID-AIDIS-OPS. [Documento en línea]. Disponible: <https://publications.iadb.org/handle/11319/3286?locale-attribute=es#sthash.2dUvQcya.dpuf>
- Ordenanza sobre Gestión Integral de Desechos y Residuos Sólidos del municipio San Cristóbal. (2015). Gaceta Municipal, N° 253,30 de diciembre de 2015, San Cristóbal. Disponible: <http://alcaldiadesancristobal.com/wp-content/uploads/2016/05/ORDENANZA-SOBRE-GESTION-INTEGRAL-DESECHOS-Y-RESIDUOS-SOLIDOS-DE-MUNICIPIO-.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS). (2000). Análisis sectorial de residuos sólidos de Venezuela. Caracas: Gobierno de la República de Venezuela. Disponible: <http://www.adan.org.ve/documentacion/download/doc1.pdf>
- Puga, J. (2016). Diseño de una planta de tratamientos de desechos sólidos para la ciudad de Babahoyo, Guayaquil, Ecuador. Disponible: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/9411/2/PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20DESECHOS%20SOLIDOS.pdf>
- Tchobanoglous, G., Theissen, H., Eliassen, R. (1994). Desechos sólidos: principios de ingeniería y administración. Mérida: Serie Ambiental y Recursos Naturales Renovables.

EMISIONES URBANAS DE DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE COMO INDICADOR FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

URBAN EMISSIONS OF CARBON DIOXIDE EQUIVALENT AS AN INDICATOR FOR CLIMATE CHANGE

AUTORES:

Morantes, Gioberti¹, Giraud, Loraine²

¹Departamento de Procesos y Sistemas. Edificio Matemática y Sistemas (MYS). Universidad Simón Bolívar. Valle de Sartenejas. Caracas. Venezuela.

²Departamento de Planificación Urbana. Grupo de Investigación Vida Urbana y Ambiente. Universidad Simón Bolívar. Valle de Sartenejas. Caracas. Venezuela.

Corresponding Author:

gmorantes@usb.ve

Palabras clave: Emisión, dióxido de carbono equivalente, edificaciones urbanas, indicador de sostenibilidad, cambio climático.

Key words: Emission, carbon dioxide equivalent, urban buildings, sustainability indicator, climate change.

RESUMEN

La emisión de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{equiv}}$) en ciudades, especialmente por las edificaciones urbanas, es un indicador de sostenibilidad frente al cambio climático, orientado a estudiar los posibles aportes de CO_2 al sistema climático atribuibles al consumo de recursos en las edificaciones. Estudios previos han desarrollado inventarios de emisiones de $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ en diferentes ciudades, aplicando factores de emisión de CO_2 relacionados con el consumo de servicios como agua y energía. El objetivo de esta investigación es diseñar indicadores de sostenibilidad estimando las emisiones de $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ en edificaciones urbanas, a partir del consumo de agua potable y electricidad. El área de estudio es el sector de Los Palos Grandes, municipio Chacao, estado Miranda (Venezuela). Se identificaron un total de 63 manzanas con 815 parcelas y se definió como unidad de estudio la parcela. La variable a predecir es la emisión de $\text{CO}_{2\text{equiv}}$. A partir de fuentes primarias y secundarias se elaboró una matriz de datos de entrada urbanos, cuantitativos y cualitativos, para definir cuatro variables de interés: tipo de uso del suelo urbano, población, dotación de agua y consumo de electricidad. Se aplicaron factores de emisión para estimar la emisión de $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ a partir de dos variables primordiales: consumo de agua potable y consumo de electricidad a nivel de parcela. Se diseñaron tres indicadores: consumo de agua potable (751 lt/hab*día), consumo de energía eléctrica (1.229,10 Kwh/hab*mes) y emisión de $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ (482.309,1535 Ton/año). El principal resultado de la investigación es el diseño de una metodología paso a paso que contribuye a la cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono en la ciudad, para una planificación y gestión urbana sostenible ante el cambio climático.

ABSTRACT

The emission of carbon dioxide equivalent ($\text{CO}_{2\text{equiv}}$) in cities especially by urban buildings is an indicator of sustainability facing climate change aimed at studying the possible contributions of CO_2 to the climate system due to the consumption of resources in buildings. Previous studies have developed inventories of $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ emissions in different cities applying CO_2 emission factors related to the consumption of services such as water and energy. The purpose of this research was to design sustainability indicators estimating the $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ emissions in urban buildings from the consumption of drinking water and electricity. The study area is the Urb. Los Palos Grandes (LPG), Chacao Municipality in the State of Miranda, Venezuela. A total of 63 blocks with 815 allotments were identified, defining the allotment as the unit of study. The variable to predict is the emission of $\text{CO}_{2\text{equiv}}$. Based on data from primary and secondary sources, a matrix of urban, quantitative and qualitative input data was drawn up to define four variables of interest: the type of urban land use, the population, the water supply and the electricity consumption. Emission factors were applied to estimate $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ emission from two primary variables: drinking water consumption and electricity consumption at allotment level. Three indicators were designed: drinking water consumption (751 lt / inhab * day), electricity consumption (1,229.10 Kwh / inhab * month) and, $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ emission (482,309.1535 Ton / year). The main result derived from this research was the design of a step-by-step methodology that contributes to the quantification of carbon dioxide emissions in the city for sustainable urban planning and management facing climate change.

Recibido: 02/04/2018 Aprobado: 25/06/2018 Versión Final: 06/09/2018

INTRODUCCIÓN

El compromiso internacional sobre el cambio climático exige el establecimiento de indicadores que midan presión-estado-respuesta al ambiente causada por la dinámica de las ciudades. Los impactos por la generación de electricidad, consumo energético de sectores industriales, transporte, agricultura, cambios de uso del suelo, residuos y desechos deben ser cuantificados y vigilados, especialmente debido a que se espera que el cambio climático ocasione una pérdida de aproximadamente 1% del producto anual durante el periodo 2010-2100 en los países de América Latina; por lo anterior es plausible esperar un incremento en las estadísticas y métricas de cambio climático generadas en las ciudades, particularmente respecto a la emisión de dióxido de carbono (CO₂) (Quiroga, 2017).

El CO₂ no es en principio un contaminante del aire, debido a que está presente de forma natural en la Tierra como parte del ciclo del carbono (la circulación natural del carbono entre 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). Y ha llegado a considerarse como contaminante debido al aumento de su concentración en la atmósfera desde la revolución industrial (NRC, 2011).

Entre las muchas actividades humanas que liberan CO₂ a la atmósfera, casi 1/4 de la emisión global del año 2010 fue debida al sector energía eléctrica. A diferencia de la tendencia global, las emisiones para Venezuela, en los sectores electricidad y producción de calor, representarían 1/8 de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) del país (República Bolivariana de Venezuela, 2017).

En un sector urbano, la energía utilizada para operar los edificios suele ser la principal fuente de sus emisiones de CO₂, e incluye calefacción, refrigeración, iluminación y uso de

electrodomésticos por parte de la población (Stephan y Crawford, 2014). La emisión de CO₂ equivalente (CO_{2equiv} de ahora en adelante) en ciudades, especialmente en las edificaciones urbanas, es un indicador de sostenibilidad frente al cambio climático orientado a estudiar los posibles aportes de CO₂ al sistema climático atribuibles al consumo de recursos.

Un concepto usado para referirse a la generación de CO₂ por la realización de actividades humanas es el de huella de carbono. Para obtener la huella de carbono se definen las actividades que realiza el individuo y se aplican factores de emisión relacionados con esa actividad; por ejemplo, se puede aplicar un factor de emisión de CO₂ relacionado con el consumo de energía eléctrica, agua potable, carnes, transporte, entre otros. Cuando se aplican factores de emisión de CO₂ para adjudicar una cantidad de gas liberada a la atmósfera de forma indirecta por realizar la actividad, esta emisión es definida como CO_{2equiv}.

La presente investigación tiene como objetivo diseñar indicadores de sostenibilidad a partir de los resultados de un estudio descriptivo de la estimación de emisiones de CO_{2equiv} relativos al consumo de electricidad y a la dotación de agua potable, tomando como caso de estudio la urbanización Los Palos Grandes, ubicada en el estado Miranda (Venezuela). Ello representa un primer acercamiento con el fin de estimar un punto de partida para investigaciones más complejas. La interrogante de investigación que orienta este trabajo es: ¿cómo calcular las emisiones de CO_{2equiv} para un sector urbano a partir de su consumo de electricidad y agua potable? Los objetivos específicos fueron: definir la zona de estudio, construir una base de datos, calcular los consumos de agua potable y electricidad, y calcular el valor de emisión de CO_{2equiv}.

MARCO TEÓRICO

El cambio climático es un fenómeno complejo y transversal con impactos sociales, económicos, ambientales, urbanos, políticos e institucionales

en el desarrollo sostenible. Aunque se han establecido indicadores de cambio climático para estas dimensiones, la dimensión ambiental es la menos fortalecida, y se manifiesta una relación inversa entre su relevancia y la disponibilidad de indicadores (Quiroga, 2017). Una herramienta que ha probado ser útil en el cálculo de indicadores relacionados a cambio climático es la existencia de factores de emisión.

Un factor de emisión es un valor representativo que trata de relacionar la cantidad de un gas emitido a la atmósfera con la ejecución de una actividad. Estos factores se expresan normalmente como una relación entre la masa de gas y una unidad de masa, volumen, distancia o tiempo de la actividad de interés (p.e., kilogramos de partículas emitidas por kilogramo de carbón quemado). En la mayoría de los casos, estos factores son simplemente promedios de todos los datos disponibles de calidad aceptable y, en general, se supone que son representativos de los promedios a largo plazo para todas las instalaciones en la categoría de fuente (EHSO, 2013).

Se han calculado factores que confieren una cantidad de emisión de CO_2 al consumo de energía eléctrica; las emisiones de gases de efecto invernadero se calculan multiplicando el consumo de energía primaria por un factor de emisiones. Este factor se basa en la fuente de combustible utilizada y en una cifra promedio fija para la energía (Stephan y Crawford, 2014). Las emisiones de CO_2 por consumo de electricidad pueden ser normalizadas a kg de CO_2 por kwh. De manera similar, pero para el sector del agua, la construcción y operación de plantas de tratamiento de agua se toman en cuenta como fuentes potenciales de emisiones de GEI, debido a las emisiones asociadas al consumo eléctrico de las plantas de tratamiento de agua potable y residual.

Existen diversas investigaciones, iniciativas y proyectos nacionales e internacionales que usaron factores de emisión para calcular la

emisión de $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ por consumo eléctrico y consumo de agua potable en los cálculos de huella ecológica, cálculo de emisiones de CO_2 y huella de carbono en ciudades (Hoeven, 2013,2014; Project Neutral, 2014; Ahmad *et al.*, 2015; Abdelalim *et al.*, 2015; Xing *et al.*, 2017).

El término $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ es usado para describir los diferentes gases de efecto invernadero en una unidad métrica común: para cualquier cantidad y tipo de GEI, $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ significa la cantidad de CO_2 que tendría el equivalente efecto invernadero. El potencial de calentamiento global (PCG) es utilizado para medir la capacidad que tienen diferentes gases de efecto invernadero en la retención del calor en la atmósfera. El CO_2 es la base para todos los cálculos y su PCG es medida en 1. Los gases se convierten en $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ aplicando el PCG (IPCC, 2014); sin embargo, en esta investigación, $\text{CO}_{2\text{equiv}}$ se refiere a la emisión de CO_2 calculada usando factores de emisión.

MÉTODO

Tipo y diseño de la investigación

Se presenta un estudio no experimental con diseño transeccional (Hernández *et al.*, 2010; Kerlinger y Lee, 2001). Se trabajó en el sector de Los Palos Grandes (LPG), ubicado al noreste del municipio Chacao, en el estado Miranda, (Venezuela). La población estimada en LPG es de 18.043 habitantes (CPC, 2012). El sector lo componen 63 manzanas (815 parcelas; 115,68 hectáreas). La unidad de estudio para esta investigación fue la parcela. Las fuentes de datos fueron primarias (en campo) y secundarias (revisión bibliográfica).

En la tabla 1 se presenta la variable a predecir (VP) en esta investigación, su definición, tipo de variable, valores que puede tomar y unidades de medida. Para determinar la VP se discriminaron dos grupos de variables: de interés y secundarias. La tabla 1 incluye la misma información mostrada de la VP para cada variable de interés.

Tabla 1. Variables de investigación.

Variable a predecir	
Variable	Emisión de CO ₂ Equiv
Definición	Se trata de un indicador de equivalencia. Representa la emisión de CO ₂ a la atmósfera generada teóricamente por el consumo eléctrico y la potabilización del agua.
Tipo de variable	Cuantitativa
Valores	0 a infinito
Ecuación	$CO_{2equiv} = CO_{2equivAGUA} + CO_{2equivELECTRICIDAD} \text{ EQ 1}$ $CO_{2equivAGUA} =$ $0,37 \frac{KgCO_{2equiv}}{metro \text{ cúbico } agua \text{ potable}} * Dotación \text{ de } agua$ $CO_{2equivELECTRICIDAD} =$ $0,7055 \frac{KgCO_{2equiv}}{Mwh} * Consumo \text{ de } electricidad$
Unidades	De masa.
Variables de interés	
Variable	Tipo de uso del suelo Población
Definición	Tipología de usos que se le confiere a los suelos urbanos según los instrumentos urbanos de regulación de usos. Cantidad de habitantes y empleados por cada parcela.
Tipo de variable	Cualitativa
Valores	Cuantitativa 0 a infinito Poblador =
Ecuación	n/a $2,61 \frac{persona}{familia} * \frac{1 familia}{vivienda} * \frac{\#vivienda}{piso} * \#pisos \text{ EQ 2a}$ $11,894 \frac{empleado}{oficina} * \frac{\#oficina}{Piso} * \#pisos \text{ EQ 2b}$
Unidades	n/a
Variable	Dotación de agua Consumo de electricidad
Definición	Dotación de agua por parcela con conexión a la red de agua de la ciudad. Consumo de energía eléctrica que es demandado por la población de un determinado sector en un periodo de tiempo establecido.
Tipo de variable	Cuantitativa
Valores	0 a infinito
Ecuación	$Dotación \text{ de } agua$ $= [ENTRADA_{Tipo \text{ de } uso \text{ de } suelo}]$ $\rightarrow Valor \text{ Gaceta } N^{\circ} 4044$ $\frac{Litros}{habitante * día} * poblador$ $\frac{Litros}{metro \text{ cuadrado } * segundo} * metro \text{ cuadrado}$ EQ 3 $Consumo \text{ de } electricidad =$ $14,84 \frac{Mwh}{habitante} * Poblador$ EQ 4
Unidades	De volumen

Se elabora una matriz usando datos de entrada urbanos, cuantitativos y cualitativos, para las variables secundarias. Se definen 15 variables secundarias inherentes al diseño metodológico para obtener el valor de la VP para cada unidad de estudio. Estas variables son:

1. Código: se refiere al número de manzanas en LPG (1 a 63 manzanas).
2. Manzana: codificación dada a la manzana, según el Instituto Autónomo Municipal de Protección Civil y Ambiente (IPCA, 2011b).
3. Parcela: numeración consecutiva de las parcelas (1 a 815 parcelas).
4. Número de pisos de la edificación de la parcela.
5. Número de apartamentos para la parcela, según la información de catastro.
6. Número de oficinas, según la información de catastro.
7. Indicador de familias por vivienda: promedio del número de familias que conviven en cada vivienda en el área de estudio.
8. Indicador de habitantes por familia: promedio del número de individuos que conforman una familia para el área de estudio.
9. Indicador de viviendas por piso, según la información de catastro.
10. Indicador de empleados por oficina: promedio del número de empleados por oficina para el área de estudio.
11. Área de la parcela, según información geográfica del IPCA (2011b).
12. Factor de consumo de agua potable, según el tipo de uso del suelo, a partir de información de dotación correspondiente derivada de la Gaceta Oficial 4044 (MSASDU, 1988).
13. Razón de consumo de electricidad promedio para el área de estudio, según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2010).
14. Factor de emisión para consumo de agua potable, según Giraud (2015).

15. Factor de emisión para consumo eléctrico (BID, 2010).

RESULTADOS

A partir de la medición de las variables secundarias se logra medir para cada parcela de LPG los valores de cada variable de interés.

Variable de interés *Tipo de uso del suelo urbano*: se codificaron 22 tipos de usos de suelo urbano para el área de estudio. A partir de un plano de alturas para cada edificación se determinaron las alturas de las edificaciones (en metros y en número de pisos). A través del sistema de información geográfica disponible se calculó área de construcción de cada parcela (CPC, 2012; IPCA, 2011a, 2011b).

Variable de interés *Población*: se definieron dos tipos de poblador: habitante y empleado. Para el cálculo de habitante se usó una relación de 2,61 personas/familia; para el cálculo de los empleados se usó una relación de 11,894 empleados/oficina (Giraud, 2015). Usando cada relación, el tipo de uso del suelo, la altura de la edificación y el número de apartamentos u oficinas por piso, se logra adjudicar un valor de población para cada unidad de estudio (EQ 2a y b).

Variable de interés *Dotación de agua*: tomando como base la dotación establecida en las “Normas sanitarias para proyectos, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones” en Venezuela (MSASDU, 1988), los habitantes por cada parcela, el número de trabajadores, el tipo de uso del suelo, el número de pisos y el área de ubicación, se calculó la dotación de agua por parcela (EQ 3).

Variable de interés *Consumo de electricidad*: se aplicó una relación de 14,84 Mwh/hab para el municipio Chacao (BID 2010), que, multiplicado por la población estimada por parcela, resulta en el consumo energético (EQ 4). Variable a predecir *Emisión de CO₂equivalente*: se han seleccionado factores de emisión que, multiplicados por el consumo de agua potable y

EMISIONES URBANAS DE CO2 EQUIVALENTE

Morantes, G.; Giraud, L.

energía estimado, permiten calcular valores de emisiones de CO₂equiv (EQ 1). Factores de emisión según los consumos de servicios de agua potable y electricidad: 0,37 KgCO₂equiv/m³ y 0,7055 Ton KgCO₂equiv/Mwh, respectivamente.

La figura 1 muestra el cálculo típico de la variable a predecir para una parcela de LPG usando datos de entrada urbanos.

Código	Manzana	Parcela	Tipo de uso	N° de pisos	N°Aptos.	N° Oficinas	Indicador Familia/Vivienda	Indicador Habitantes/Familia
10	011052	001	RC	18	32	4	1	2,61
		002	RC	16	29	3	1	2,61
		003	RM	33	33		1	2,61
		004	RM	12	23		1	2,61
		005	OC	3	6	s/i		
		006	RM	7	14		1	2,61
		007	RC	3	4	2	1	2,61
		008	RC	9	37	5	1	2,61
		009	RC	10	41	6	1	2,61

Indicador vivienda/piso	Indicador empleado/oficina	Personas parcela	Área	Factor consumo por tipo de uso	Razon de Consumo Electricidad (Mwh/hab)	Factor KgCO ₂ equiv/m ³ H ₂ O potable	Factor tonCO ₂ equiv/Mwh	TOTAL TonCO ₂ equiv
2,0	11,894	131,1	646,3	325(0,0037616) – 15 (0,0001736 lt/s*m ²)	14,83714	0,37	0,7055	989,5622243
1,8	11,894	111,4	391,1	325(0,0037616) – 15 (0,0001736 lt/s*m ²)	14,83714	0,37	0,7055	796,3306202
1,0		86,1		325(0,0037616)	14,83714	0,37	0,7055	905,3574454
1,9		60,0		325(0,0037616)	14,83714	0,37	0,7055	631,0067043
2,0	11,894	15,7	390,3	consumo para O 0,0000694 lt/seg*m ² y peso 0,2 - Consumo para C 0,0001736lt/seg*M ² y peso 0,8	14,83714	0,37	0,7055	164,2642116
2,0		36,5		325(0,0037616)	14,83714	0,37	0,7055	384,0910374
2,0	11,894	34,2	88,17	325(0,0037616) – 15 (0,0001736 lt/s*m ²)	14,83714	0,37	0,7055	164,542026
4,1	11,894	156,0	522	325(0,0037616) – 15 (0,0001736 lt/s*m ²)	14,83714	0,37	0,7055	1639,98681
4,1	11,894	178,4	522,3	325(0,0037616) – 15 (0,0001736 lt/s*m ²)	14,83714	0,37	0,7055	1874,706288

Figura 1. Cálculo típico por manzana en Los Palos Grandes para la variable a predecir.

Fuente: elaboración propia, a partir de Giraud (2015).

La sumatoria de los valores de la última columna para todas las parcelas indica la emisión de CO₂equiv atribuible al área de estudio (VP).

El cálculo se realizó tomando los datos por parcela para las variables de interés y las variables secundarias (EQ 1).

DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación incluyen el cálculo de consumo de agua, consumo de electricidad y emisión de CO₂equiv por parcela para el sector de LPG. Consecuentemente, se diseñan tres indicadores que permiten estudiar y definir la presión-estado-respuesta de la emisión

equivalente de dióxido de carbono. La tabla 2 muestra los tres indicadores diseñados para el área de estudio a partir de los cálculos realizados

para consumo de agua potable, consumo de energía eléctrica y emisión de CO_{2equiv}

Tabla 2. Matriz resumen de indicadores de sostenibilidad diseñados.

Año base	Área	Indicador	Valor	Malo	Regular	Aceptable	Fuente umbral
2014	Agua	Consumo de agua potable	751 lt/hab*día	325 < x < 5 lt/hab*día	5 < x < 100 lt/hab*día	100 < x < 325 lt/hab*día	(a); (b)
	Energía	Consumo de energía eléctrica	1.229,10 Kwh/hab*mes	>500 Kwh/mes	500 – 450 Kwh/mes	<450 Kwh/mes	(c); (d)
	Cambio Climático	Emisión de CO _{2equiv} en LPG	482.309,1535 Ton/año	>10% de la medición anterior	Sin cambios significativos	<10% de la medición anterior	(d)

- Recomendaciones para dotación de agua potable, según Organización Mundial de la Salud (OMS, s.f.).
- Normas para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones (MSASDU, 1988).
- Plan de la banda verde para el área metropolitana de Caracas (MPPEE, s.f.).
- Los autores.

Fuente: Elaboración propia a partir de Giraud (2015).

El indicador de sostenibilidad para el consumo de agua se encuentra en el umbral rojo; este indicador es el resultado de tomar la dotación total para LPG y dividirla entre sus habitantes (18.043 hab.). El consumo se estimó como la dotación de agua que corresponde según la Gaceta Oficial 4044 (MSASDU, 1988), en la que se indican valores según los usos de suelo, con lo que resulta determinante el área de la parcela en el cálculo de dotación. Se debe tener en cuenta que LPG es un sector con baja población debido a que los habitantes permanentes están siendo desplazados por la priorización de los usos comerciales.

Que el indicador de sostenibilidad para consumo energético aparezca en el umbral rojo se debe a que la razón de consumo de electricidad por habitante aplicado es relativamente elevada: se conoce que el municipio Chacao es el que tiene el mayor consumo energético en el área metropolitana de Caracas (AMC) (BID, 2010). Los resultados indican que los consumos energéticos y de agua son directamente proporcionales a los usos no residenciales: comerciales, de oficina, asistenciales, educacionales.

El indicador de sostenibilidad para CO_{2equiv} no puede ser acotado en un umbral; se deben realizar posteriores mediciones para establecer su comportamiento y definir en qué umbral se encuentra para ser discutido como indicador de sostenibilidad. El valor indicaría que 5,8% de las emisiones del AMC son atribuibles a LPG. El resultado encontrado en esta investigación debe ser contabilizado como el aporte a las emisiones de CO_{2equiv} por parte del gasto energético de las edificaciones. La emisión de CO_{2equiv} para LPG es directamente proporcional al consumo de energía eléctrica, y la emisión relacionada al consumo de agua potable resulta despreciable, pues el factor de emisión para el agua potable es 10⁻³ veces menor que el factor de emisión para el consumo de electricidad.

El BID (2010) estima que la emisión de CO_{2equiv} para el AMC es de 8.326.005,43 de toneladas métricas, dato obtenido a partir del consumo de electricidad de la región. Las emisiones de CO_{2equiv} para el AMC por el consumo energético en edificaciones solo representarían 20% de la emisión total; los sectores de transporte y desechos son responsables del 80% restante de emisiones (C40citiesorg, 2018). La 2da. Comunicación Nacional ante la Convención

marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de Venezuela (República Bolivariana de Venezuela, 2017) indica que la quema de combustible para la generación de electricidad representa 15% del total de CO₂ emitido por el sector energía en el país. La diferencia de 5% entre los valores reportados en estos dos informes podría deberse a que existen distintas fuentes de generación termoeléctrica e hidroeléctrica para el AMC, y el valor expresado para el ámbito nacional en el segundo informe señala que 66% de la energía es generada por fuentes hidroeléctricas.

El principal resultado de la investigación es el diseño de una metodología paso a paso para realizar el cálculo de emisión de CO_{2equiv} en otros sectores urbanos de Venezuela a partir de sus propios valores. Esto contribuiría a la cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono por ciudad y a la planificación y gestión urbana sostenible ante el cambio climático.

CONCLUSIONES

Se diseñaron tres indicadores de sostenibilidad ambiental urbana relacionados con 1) consumo de agua potable según la población y tipo de uso de suelo para cada parcela del área de estudio (751 lt/hab*día); 2) consumo de energía eléctrica por habitante para cada unidad de estudio (1.229,10 Kwh/hab*mes), y 3) emisión de CO_{2equiv} para cada parcela del área de estudio (482.309,1535 Ton/año). Como herramienta clave se aplicaron factores de emisión según los consumos de servicios de agua potable y electricidad (0,37 KgCO_{2equiv}/m³ y 0,7055 Ton KgCO_{2equiv}/Mwh, respectivamente).

Se desarrolló y aplicó una metodología replicable donde la mayor debilidad es la posibilidad de obtención de data confiable y actualizada, generando la información necesaria para definir estándares que apunten hacia la sostenibilidad y permitan proponer a futuro posibles medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, como acciones para la gestión urbana sostenible.

REFERENCIAS

- Abdelalim, A., O'Brien, W., y Shi, Z. (2015). Visualization of energy and water consumption and GHG emissions: A case study of a Canadian University Campus. *Energy and Buildings*, 109: 334-352.
- Ahmad, S., Baiocchi, G., y Creutzig, F. (2015). CO₂ emissions from direct energy use of urban households in India. *Environmental science & technology*, 49(19): 11312-11320.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). (2010). Urban sustainability assessment of the Caracas metropolitan region.
- Brander, M., y Davis, G. (2012). Greenhouse Gases, CO₂, CO_{2e}, and carbon: What do all these terms mean? *Ecometrica* (Documento en línea). Disponible en: <http://ecometrica.com/assets/GHGs-CO2-CO2e-and-Carbon-What-Do-These-Mean-v2>, 1.
- C40citiesorg [página web]. (2018). C40citiesorg. Disponible en: <https://www.c40cities.org/cities/caracas>
- CPC (City Plan Consultoría). (2012). Plan de desarrollo urbano local del municipio Chacao. Etapa 2: Actualización del diagnóstico urbano.
- EHSO (Environment, Health and Safety Online) [página web]. (2013). Disponible en: http://www.ehso.com/Air_AP_42.htm.
- Epagov. (2015). US-EPA. Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- Giraud, L. (2015). Diseño de un sistema integrado de indicadores de sostenibilidad ambiental para el ámbito municipal. (Tesis doctoral inédita). Universidad Simón Bolívar. Caracas.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación. México: Mc Graw-Hill
- Hoeven, M. V. D. (2013). CO₂ Emissions from fuel combustion. IEA Statistics. International

- Energy Agency: highlights. França: International Energy Agency.
- Hoeven, M. V. D. (2014). CO2 Emissions from fuel combustion. IEA Statistics. International Energy Agency: highlights. França: International Energy Agency.
- IPCA (Instituto Autónomo Municipal de Protección Civil y Ambiente). (2011a). Plan de gestión ambiental y de riesgos del municipio Chacao 2011-2016. Disponible en: <http://www.chacao.gob.ve/ipca/images/stories/ipca/Documentos/PDG/pgal%20y%20rmc.pdf>
- IPCA (Instituto Autónomo Municipal de Protección Civil y Ambiente). (2011b). Sistema de Información para la Gestión Ambiental y de Riesgo del Municipio Chacao. Disponible en: <http://infomapa.chacao.gob.ve/sigar/>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.). Ginebra: IPCC.
- Kerlinger, F. y Lee, H. (2001). Investigación del comportamiento humano. Métodos de investigación en Ciencias Sociales. México: Mc Graw-Hill.
- MPPEE (Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica). (s.f.). Campaña de uso racional y eficiente de la energía. Disponible en: <http://www.mppee.gob.ve/campana-de-uso-racional-y-eficiente-de-la-energia/>
- MSASDU (Ministerio de Sanidad y Asistencia Social y del Desarrollo Urbano). (1988). Normas sanitarias para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 4044 (extraordinario), Caracas, 8 de septiembre de 1988. Disponible en: <http://www.mintur.gob.ve/mintur/wp-content/uploads/2013/12/41.pdf>
- NRC (National Research Council). (2011). Advancing the Science of Climate Change. Washington: National Academies Press.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (s.f.). Agua, saneamiento y salud. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/es/
- Project Neutral, (2014). Emission Factors 2014 - Toronto: Project Neutral. Disponible en: www.projectneutral.org.
- Quiroga, R. (2017). Indicadores de Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/prestaciones/s5_rquiroga_estadisticas-indicadores-cambio-climatico_0.pdf
- República Bolivariana de Venezuela. (2017). Segunda Comunicación Nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Stephan, A., Crawford, R. H. (2014). A multi-scale life-cycle energy and greenhouse-gas emissions analysis model for residential buildings. Architectural Science Review, 57(1): 39-48.
- Xing, R., Hanaoka, T., Kanamori, Y., Masui, T. (2017). Greenhouse gas and air pollutant emissions of China's residential sector: The importance of considering energy transition. Sustainability, 9(4): 614.

EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA

PHYSICAL-CHEMICAL AND BIOLOGICAL EVALUATION OF THE ACTIVATED SLUDGE SYSTEM IN A DAIRY INDUSTRY

AUTORES:

Pimiento, Kleiver¹; Cárdenas Marcos^{1,2}

¹Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Experimental del Táchira.

²Unidad de Investigación Ambiental y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Corresponding Author:

kleiver_pimiento@hotmail.com

Palabras clave: Bacterias filamentosas, bioindicadores, industria láctea, lodos activados, sedimentabilidad.

Key words: Filamentous bacteria, bioindicators, dairy industry, activated sludge, sedimentation.

RESUMEN

Hasta ahora, la evaluación habitual de los sistemas de lodos activados se ha limitado a la verificación de parámetros físico-químicos operacionales, pero se ha demostrado que las biocenosis que integran estos sistemas son capaces de indicar, no solo el nivel de contaminación orgánica, sino las condiciones prevalecientes en los mismos. Por esta razón, se previó incorporar la observación microscópica del licor mezcla para complementar el análisis del estado operativo del sistema de lodos activados de una industria láctea, con la finalidad de detectar el origen de los malos rendimientos que impiden el cumplimiento de la normativa venezolana para la descarga a cuerpos de agua. El estudio, en primer lugar, contempló el diagnóstico de la situación imperante en el sistema de tratamiento. Seguidamente se abordó la evaluación de aquellos parámetros físico-químicos y biológicos asociados con la carga orgánica aplicada, el contenido de sólidos presentes y la microbiología del proceso de fangos activados ($\text{BOD}_{5,20}$, DQO, aceites y grasas, SV30, pH, temperatura, OD, nutrientes y la presencia tanto de microorganismos filamentosos, como de aquellos bioindicadores de las condiciones prevalecientes en el reactor), siguiendo lineamientos establecidos por la APHA, AWWA y WPCF (1992), el Grupo Bioindicación Sevilla (GBS) y experiencias previas comprobadas. Los resultados obtenidos reflejaron el buen funcionamiento del reactor biológico, pero serios problemas en el sedimentador secundario ante la gasificación de los lodos decantados, la afectación de las estructuras floculares a la entrada del mismo (durante caudales afluentes mayores al diseño original) y el descubrimiento de un fenómeno atípico debido a la abundancia de bacterias filamentosas que no comprometían la sedimentabilidad de los floc. En este orden, el uso de bioindicadores demostró ser una técnica efectiva para el diagnóstico y evaluación de la dinámica del sistema de lodos activados de la empresa.

ABSTRACT

Up to now, the usual evaluation of activated sludge systems has been limited to the verification of operational physical-chemical parameters, but it has been shown that the biocoenoses that integrate these systems are able to indicate, not only the level of organic contamination, but also the prevailing conditions in them. For this reason, it was planned to incorporate the microscopic observation of the mixed liquor to complement the analysis of the operational status of the activated sludge system of a dairy industry, with the purpose of detecting the origin of the bad performance that impede compliance with Venezuelan regulations for the discharge to bodies of water. The study, in the first place, contemplated the diagnosis of the prevailing situation in the treatment system. Next, the evaluation of the physical-chemical and biological parameters associated with the applied organic load, the content of solids present and the microbiology of the activated sludge process ($\text{BOD}_{5,20}$, COD, oils and fats, SV30, pH, F/M ratio, temperature, OD, nutrients and the presence of filamentous microorganisms, as well as those bioindicators of the prevailing conditions in the reactor). The results showed good functioning of the biological stabilization, but serious problems in the secondary settler in the face of the gasification of the settled sludge. Also, the affectation of the floccular structures at the entrance of the secondary settler (during majors affluent flows than the original design) and the discovery of an atypical phenomenon due to the abundance of filamentous bacteria that did not compromise the sedimentability of the floc. The use of bioindicators showed the effectiveness to evaluate the dynamics of biological purification and proved to be fundamental for the diagnosis of its situation.

INTRODUCCIÓN

Las diferentes modalidades de tratamiento biológico actualmente empleadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), demandan controles exhaustivos de sus parámetros de funcionamiento para garantizar la apropiada remoción de los contaminantes orgánicos biodegradables (Glynn y Heinke, 2002). Estos controles se han limitado, casi exclusiva y rutinariamente, a la evaluación de las características físicas y químicas (método estándar) de los afluentes y efluentes de las unidades biológicas de tratamiento (Luna 2006). Sin embargo, tal enfoque muchas veces ha resultado ser insuficiente para diagnosticar acertadamente las causas de malos rendimientos, lo que imposibilita la adopción de medidas de corrección tanto operacionales como preventivas, al no permitir el reconocimiento de las condiciones de cultivo biológico (Madoni, 1994; Madigan *et al.*, 2004; Pimiento, 2017). Otra limitación la representan los altos costos de las pruebas convencionales (Romero, 1999).

En los tratamientos biológicos es bien sabido que la diversidad y abundancia de la biocenosis está estrechamente asociada con la calidad del agua en que se encuentran inmersas, respondiendo rápidamente a los cambios físicos y químicos del ambiente e implicando una relación entre la abundancia de un organismo y un determinado parámetro (Grant y Long, 2002; Luna, 2006). La importancia de los protozoos, especialmente los ciliados, como organismos que intervienen en el proceso de depuración (eliminando bacterias dispersas y materia orgánica remanente), ya ha sido demostrada en múltiples ocasiones, planteando el hecho de que la presencia de protozoos en lodos activos representa un aumento de la calidad del efluente (Madigan, *et al.*, 2004; Luna 2006). Esta susceptibilidad de reflejar las condiciones del medio de cultivo es lo que se conoce como bioindicación; es decir, una técnica basada en la observación microscópica del lodo activo para el control de los procesos de depuración biológica (Orozco, 2005).

Existe una empresa del sector lácteo ubicada en Táchira (Venezuela) que cuenta con un sistema de lodos activados en la modalidad de aireación extendida, la cual presentaba inconvenientes para proporcionar un efluente clarificado (por elevada turbidez y $DBO_{5,20}$) y acorde con las exigencias de la normativa venezolana para descarga a cuerpos de agua (Decreto 883, 1995). Asimismo, la empresa no contaba con los elementos ni implementos necesarios para la realización de un diagnóstico concreto y, pese a los múltiples estudios e informes efectuados por laboratorios externos, los inconvenientes en la dinámica del tratamiento persistían.

Por este motivo, el objetivo de la presente investigación fue evaluar algunos parámetros fisicoquímicos estándar, con técnicas de bioindicación en el sistema de lodos activados de la empresa, para revelar las causas de sus malos rendimientos.

MÉTODO

Los datos reflejados en este artículo son el resultado de análisis previamente realizados por la empresa (DBO , DQO , N y P) y procedimientos adoptados en tres laboratorios distintos: el existente dentro de la PTAR de la empresa (donde se consumaron variables como el pH, la temperatura, el OD, los SV30 y la hidráulica del sistema), el disponible en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental - Unidad de Investigación, Ambiente y Desarrollo Sostenible (donde se efectuaron la $DBO_{5,20}$, DQO , y los aceites y grasas) y el Laboratorio de Microbiología General, Aplicada y Ambiental, de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) (donde en conjunto fueron precisados los microorganismos filamentosos y de aquellos bioindicadores de las condiciones prevalecientes en el sistema de lodos activados).

Todos y cada uno de los parámetros evaluados en la caracterización de las aguas residuales de la empresa (fisicoquímicos) siguieron los lineamientos establecidos en 1992 por la APHA, AWWA y WPCF, además de los estipulados en diferentes guías metodológicas para la

elaboración de análisis e identificaciones microbianas en lodos activados, proporcionados por el Grupo Bioindicación Sevilla (GBS), junto a otros procedimientos basados en investigaciones y experiencias previas (Carceller, 1998; Jenkins *et al.*, 2004; Madigan, *et al.*, 2004; Eikelboom, 2006; Luna, 2006; Guo *et al.*, 2012).

Durante un periodo de siete meses (entre junio de 2016 y enero de 2017), el estudio se centralizó en la determinación de los parámetros descritos y en la identificación de fenómenos o anomalías de funcionamiento. Esto con el propósito de entender cómo las variantes de estudio mencionadas podrían afectar el rendimiento global o parcial de la planta. Para los análisis de pH, temperatura, OD y SV30, fueron empleados métodos basados en los equipos analíticos dispuestos en la PTAR (pH metro, termométrico y sonda digital de OD), además de instrumentos tales como conos Imhoff. Mientras que los estudios netamente orgánicos (DBO_{5,20}, DQO, aceites y grasas) incorporaron los instrumentos y materiales señalados por la APHA, AWWA y WPCF (1992); es decir, método por sonda (DBO_{5,20}, 5210 B), colorimétrico de reflujo cerrado (DQO, 5220 D), partición gravimétrica (aceites y grasas, 5520) y método de ácido ascórbico (Fósforo, 4500 PE), a excepción de las observaciones microscópicas y tinciones en las que fueron utilizados microscopios de campo claro y los colorantes correspondientes al método de tinción de Gram y de observación en vivo (según Carceller, 1998; Eikelboom, 2006; Luna, 2006).

Los muestreos de lodo activo para pruebas biológicas comprendieron cuatro compuestas de dos litros, cada una conformada por alícuotas de 250 mL tomadas a intervalos de 30 minutos. Para el estudio de microorganismos dominantes en el licor mezcla (protozoos, metazoos y bacterias filamentosas) las tomas se efectuaron cada 24 horas durante nueve días y bajo la modalidad de muestreo simple, y componían submuestras de 250 mL recolectadas, siempre, en el canal vertedero de salida del reactor.

Para la observación de los protozoos, las muestras (de cinco gotas) se visualizaban al fresco bajo aumentos de 100 y 400X. Para la caracterización de las bacterias filamentosas en licor mezcla se hizo uso de las mismas muestras destinadas al estudio anterior (de 250 mL), pero aplicándoles la tinción de Gram, antes de ser observadas a 400X (prestando especial atención a las estructuras floculares de acuerdo a las condiciones de pH y temperatura para el momento de la recolección). Estas tomas, junto a las de biocenosis, abarcaron tanto los días de operación como de inoperación en fábrica para, así, detectar posibles variaciones en las composiciones de las comunidades microbianas.

Desde el punto de vista de la unidad de sedimentación, las muestras para análisis de DBO_{5,20}, DQO, grasas y aceites, fueron captadas justo en vertedero de salida, empleando alícuotas de 250 mL cada 30 minutos, hasta aforar cuatro muestras compuestas de dos litros. Determinar los parámetros orgánicos y físicos en este punto pretendió evaluar tanto la eficiencia de la unidad para proporcionar un efluente clarificado (al retener los sólidos presentes), como su capacidad para disminuir parte de la carga orgánica entrante. Los análisis biológicos en esta unidad se orientaron a la masa de lodo resuspendida, estudiando igualmente las condiciones *in situ* del pH y la temperatura.

RESULTADOS

A continuación, se detallan los resultados generales adjudicados a lo largo del periodo de investigación.

1) Fase diagnóstica

El tanque de aireación recibía un flujo discontinuo de agua residual (rica en diluciones de leche, natas y aguas domésticas), desde un único punto ubicado hacia un extremo de la zona de entrada. Se visualizó heterogeneidad en la distribución de la materia orgánica entrante y la ocasional existencia de espumas voluminosas y densas, de color marrón blanquecino e inodoras (Figura 1A). En el sedimentador fue recurrente la resuspensión de los lodos (Figura 1B y 1C).

EVALUACIÓN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

Pimiento, K.; Cárdenas, M.



Figura 1. Panorámica del tanque de aireación (A) y la masa de lodos resuspendidos en el sedimentador secundario (B y C).

2) Fase de evaluaciones físico-químicas

En cuanto al pH, se observaron oscilaciones entre 7 y 11. Asimismo, se calcularon las relaciones nutricionales en los mismos puntos (Tabla 1).

Con respecto a la materia orgánica (DBO_{5,20} y DQO), se presentaron los resultados obtenidos por un laboratorio externo y privado y las determinadas en la presente investigación (Tabla 2) junto a los valores de aceites y grasas (Tabla 3).

Tabla 1. Variaciones globales del pH y la temperatura y relaciones nutricionales obtenidas en el afluente y efluente del sistema de lodos activados.

Reactor				Sedimentador			
Afluente		Efluente		Afluente		Efluente	
pH	T (°C)	pH	T (°C)	pH	T (°C)	pH	T (°C)
9 – 11	28 – 41	7 - 11	25 -34	7 - 11	25 -34	7 – 11	23 – 30
Afluente reactor		Relación		Efluente reactor		Relación	
DBO _{5,20}	N	P	C/N/P	DBO _{5,20}	N	P	C/N/P
615	20,6	15,8	100/3,3/2,6	315	15,1	13,9	100/4,8/4,4
454	31,9	16,9	100/7,0/3,7	210	13,6	12,6	100/6,5/6,0
616	42,4	10,6	100/6,9/1,7	108	32,8	3,7	100/30,4/8,4
568	15,7	10,4	100/2,8/1,8	450	26,6	7,4	100/5,9/1,6

Tabla 2. Resultados de DBO_{5,20}, DQO e índice de biodegradabilidad (I.B.) del afluente y efluente del sistema.

Reactor						Sedimentador		
Empresa			Investigación			Empresa		
Entrada (med ± desv)			Salida (puntual)			Salida (media-desv)		
DBO _{5,20}	DQO	I.B	DBO _{5,20}	DQO	I.B	DBO _{5,20}	DQO	I.B
572 ± 69	822 ± 123	0,7 ± 0,03	525	592	0,89	264 ± 118	761 ± 278	0,35 ± 0,08

Tabla 3. Resultados de aceites y grasas y velocidades de sedimentación de los fangos del reactor.

Reactor					
A y G (med ± desv en mg/L)		SV30	Temperatura (°C)		Velocidad (m/h)
Entrada	Salida	med ± desv	med ± desv	med ± desv	med ± desv
102 ± 13,1	17 ± 9,2	550 ± 280	29 ± 4,4	0,16 ± 0,13	3,26 ± 0,27

3) Fase de evaluaciones microbiológicas

Las observaciones microscópicas revelaron la existencia de grupos tecameboides, ciliados y metazoos a lo largo de los nueve días de

evaluación. Asimismo, se encontraron estructuras floculares en el licor mezcla y lodo resuspendido (Figura 2).

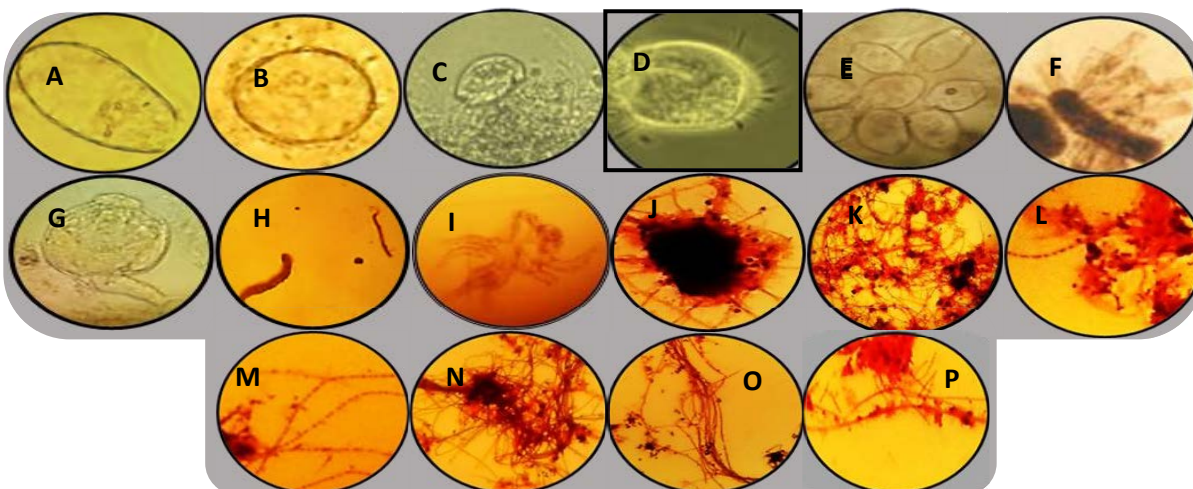


Figura 2. Tecameboides: *Euglypha* sp (A), tecameba (B). Ciliados libres: *Aspidiscacicada* (C), *Euplotespatella* (D). Ciliados fijos: *Campanellaumbellaria* (E), *Vaginicola* sp (F). Metazoos: *Philodina* sp (G), nematodos y anélidos (H), organismo ácaro (I). Estructuras floculares en licor mezcla y lodos resuspendidos (J y K, respectivamente), Morfotipo 1071 (L), Gram negativo, 400X, campo claro, con constricciones celulares visible. Morfotipo *Sphaerotilusnatans* (M), Gram negativos en lodos resuspendido, 400X, campo claro. Tipo 0581, Gram negativa en muestras de lodos resuspendidos (N), 400X, campo claro. Filamentos 1851 (O) formando “manojos de filamentos”, con crecimiento epifítico, Gram negativa, campo claro, 400X. Filamento 0041 (P), Gram negativos en lodos resuspendidos, 400X, campo claro.

DISCUSIÓN

1. Diagnóstico en campo

La ubicación del punto de alimentación discontinua del tanque de aireación evidenció heterogeneidad e inconsistencias en la concentración de sustrato en el mismo (Figura 1A). Por otra parte, la ocasional existencia de espumas voluminosas y densas, de color marrón blanquecino e inodoras (verificación *in situ*, Figura 1A), parecían indicar el buen funcionamiento aerobio independientemente de la generación de las mismas (Metcalf y Eddy, Inc. 1995; Carceller, 1998). Sin embargo, con frecuencia estas también adquirirían un color marrón amarillento de consistencia jabonosa y viscosa, alusivas a posibles agentes detergentes emulsificantes y dispersantes tóxicos que, junto a materias grasas, podían estar afectando negativamente a las poblaciones bacterianas, la solubilidad del OD y, con ello, las características de los flóculos biológicos (Luna, 2006). La geometría del tanque, los inconvenientes relacionados con la presencia de zonas muertas

(sin oxigenación), las deficiencias del mezclado y la turbulencia excesiva para la conformación de los floc, debido al sistema de aireación prevaleciente (aireación superficial, Figura 1A), también fueron parte de los aspectos negativos percibidos para el tratamiento.

El sedimentador secundario dio a conocer una serie de fenómenos que imposibilitaban la habitual separación de interfaces sólido-líquido. Resuspensiones recurrentes del lodo decantado a lo largo y ancho del mismo (Figura 1B), junto a altos niveles de turbidez, eran las disfuncionalidades típicamente observables en la unidad. La anomalía de los lodos flotantes se presentaba con una frecuencia de minutos, cubriendo de 50 a 100% de la superficie del agua en forma de aglomerados irregulares. En alusión a la turbidez, se detectó una relación directa entre su aparición y los periodos de alta turbulencia en el canal de entrada de la unidad, que inducían el rompimiento de los flóculos biológicos similar al denominado “pinpointfloc” (Figura 1C): flóculos pequeños y dispersos que

no sedimentan (Carceller, 1998). La frecuencia de recirculado del lodo hacia el reactor también resultó ser una problemática constante, pues la misma nunca era realizada respetando un control de población microbiana.

2. Análisis físico-químicos

pH: el potencial hidrogeniónico usualmente registrado en el flujo de alimentación del reactor (Tabla 1) demostró niveles de fluctuación considerables en relación al intervalo óptimo para el tipo de tratamiento (6,5 – 8,5; Romero, 1999); es decir, pH alcalinos mayores a 9, de los cuales se esperaba algún grado de afectación importante sobre el equilibrio hidrogénico del licor mezcla. No obstante, el potencial de tamponamiento del reactor, atribuido no solo al mezclado y al gran volumen retenido en la unidad, sino al ácido carbónico formado durante la descomposición aerobia de la materia orgánica, permitía amortiguar los flujos alcalinos continuos con pH de hasta 11.

En relación al sedimentador secundario, se apreció que los valores detectados bien podían coincidir con los del reactor, o llegar a variar en una pequeña proporción (Tabla 1) estimada, sobre o debajo de este en alrededor de 8%, aumentando y disminuyendo proporcionalmente a como el pH se manifestara en el tanque de aireación. Desde la óptica del rendimiento de la unidad, el pH, durante sus valores más altos ($\geq 8,5$), reveló un grado visible de afectación al proceso de sedimentación por la existencia de desnitrificación, según se verifica en los resultados de nutrientes y ensayos de sedimentabilidad, explicados más adelante.

Temperatura: los rangos de temperatura exhibidos por el afluente a lo largo de la investigación demostraron valores (Tabla 1) que sobre pasan el límite ideal de 35 °C para el buen rendimiento de las bacterias (Metcalf y Eddy, Inc. 1995; Romero, 1999). Sin embargo, valores comprendidos entre los 25 y 34 °C fueron los típicamente hallados dentro del reactor biológico independientemente de la temperatura del afluente, señalando, por tanto, que las térmicas experimentadas en el reactor son debidas tanto a

las condiciones ambientales como al calor metabólico disipado durante la oxidación biológica de la materia orgánica (en concordancia con las afirmaciones de Metcalf y Eddy, Inc. 1995; Kiely, 1999; Glynn y Heinke, 2002). Esto se comprobó al estudiar los valores de temperatura dentro del sedimentador secundario respecto a los del reactor, donde estos difieren levemente, advirtiendo que la gran cantidad de agua retenida en el reactor y el efecto mecánico creado por el aireador superficial son factores termodinámicamente beneficiosos.

La única preocupación existente era la posible formación de corrientes de convección en el sedimentador; pero se pudo corroborar que las leves diferencias de temperatura entre la entrada y la salida del sedimentador imposibilitaban que este acontecimiento ocurriese, al menos no como para resuspender lodos decantados.

Nutrientes: de acuerdo a las relaciones C/N/P requeridas para la estabilización de la materia orgánica (100/5/1; Metcalf y Eddy, Inc. 1995), al estudiarlas concentraciones de N y P correspondientes a los niveles puntuales de materia orgánica en el afluente (Tabla 1), no solo fueron comprobados déficits de N en el orden de 33,1 y 44,7%, sino excesos de hasta 40%, siendo las concentraciones de P, independientemente de las circunstancias, siempre mayores a lo requerido, incluso, con valores 275% más altos. Esto trajo como consecuencia variaciones en las relaciones nutricionales, indicando también que el fósforo contenido en el afluente, más el liberado como fosfato cálcico desde la leche (gracias a la acción del ácido nítrico, Brennan *et al.*, 1980), resultan suficientes para el tratamiento biológico.

Por otra parte, los datos de nitritos, nitratos, orgánico y amoniacal (expresados como nitrógeno total en Tabla 1), demostraron que, a diferencia de otras aguas residuales en las que los nitritos y nitratos al inicio son escasos (según Kiely, 1999; Glynn y Heinke, 2002), la constante disociación del HNO_3 en el agua traía consigo la incorporación continua de nitratos no oxidados

biológicamente, haciendo que los valores discutidos de nitrógeno no fuesen totalmente aproximables al nitrógeno de Kjeldahl (N orgánico + N amoniacal) y que las carencias del nitrógeno asimilable podían ser más frecuentes y extendidas de lo que se esperaba.

Dentro del reactor esto implicó la existencia de nitratos desde antes de iniciarse el proceso de nitrificación natural, revelando que las condiciones de temperatura, pH y desoxigenación mencionadas, efectivamente, inducían velocidades de reacción y de proliferación de bacterias desnitrificantes a tasas anormalmente altas respecto a las observables en otros casos. Esto no solo explicó el acelerado ascenso del manto de lodos del clarificador, sino las inconsistencias en los niveles de nitrógeno a la salida del mismo (Tabla 1), según el modelo de tratamiento; es decir, variaciones tanto superiores por liberación del nutrimento durante la muerte celular y el remanente de nitrato de exceso (Kiely, 1999), como inferiores debido a las pérdidas por gasificación y en los niveles registrados en el afluente del sistema (Metcalf y Eddy, Inc. 1995; Romero, 1999). En relación al fósforo, se descubrió que los niveles en este punto correspondían al exceso no asimilado por la biocenosis (según relaciones C/N/P en Tabla 1) y que, al no existir una etapa de anaerobiosis que hidrolizara los polifosfatos presentes, en la fase aerobia los excesos no se acumularon intracelularmente para removerse por decantación (Kiely, 1999).

3. Análisis orgánicos

DBO, DQO e índice de biodegradabilidad: el registro de $DBO_{5,20}$ hallado a la salida de la unidad de estabilización biológica dio a conocer que los niveles de demanda son comparables a aquellos detectados en el afluente (Tabla 2). Sin embargo, como en el afluente la demanda es principalmente por la fracción soluble (pudiéndose despreciar la no soluble; Metcalf y Eddy, Inc. 1995) y en el reactor es la exigida tanto por la fracción insoluble de los sólidos biológicos suspendidos (SSV), como por la materia orgánica soluble (SS), el valor detectado de 525 mg/L se atribuyó en gran medida a la oxidación de células durante la respiración

endógena (flóculos biológicos) y no tanto a la materia orgánica soluble. Esto permitió inferir que para un valor de $DBO_{5,20}$ total detectada a la salida del sedimentador, cerca de 94 % de esta se atribuirá a las fracciones de SSV presentes y que, por tanto, las eficiencias de remoción de DBO soluble y conjunta se aproximaban a 96,2 y 38,3% respectivamente. Estas eficiencias tan significativas concordaron con los hallazgos microbiológicos dentro de la unidad de estabilización biológica discutidos más adelante.

No obstante, también los estudios de biodegradabilidad efectuados respaldaron lo anterior, pues dentro del reactor una DQO detectada (conjunta) reveló una relación de 0,89 respecto al valor de $DBO_{5,20}$ (Tabla 2), entendiéndose que aproximadamente 88% de la materia orgánica soluble e insoluble es degradada en el lapso de cinco días (al tratarse mayormente de materia orgánica celular) y que, por tanto, del 12% restante una parte se atribuía a los compuestos orgánicos e inorgánicos remanentes no biodegradados y la otra a los elementos producidos por los propios microorganismos que efectuaron la acción depuradora (polímeros y polisacáridos; Glynn y Heinke, 2002).

A la salida del sedimentador secundario los índices de biodegradabilidad muestran un comportamiento similar a los exhibidos por los efluentes de proceso (Tabla 2), pues con relaciones de $0,35 \pm 0,08$, las fracciones poco o nada metabolizables por acciones bacterianas predominan. La generación de metabolitos y biopolímeros dentro de las células ante las carencias de sustrato luego del tratamiento, la existencia de formas nitrogenadas aún oxidables y especies inorgánicas reducidas, contribuyeron al incremento (Glynn y Heinke, 2002).

Aceites y grasas: en cuanto al reactor, la concentración de aceites y grasas (A y G) encontrada (Tabla 3) resultó ser relativamente alta tomando en cuenta los niveles mínimos manejables a la entrada de un tratamiento biológico (50 mg/L según Eckenfelder y Musterman, 1995). Sin embargo, desde el punto de vista microbiológico señalado durante el

análisis de SV30, estas concentraciones de A y G, aunque altas, no afectaron la formación y sedimentación de la biomasa, aunque sí se observaron aumentos moderados en la generación de espumas durante pH mayores a 8,5 (observación *in situ*). Esto implica que la formación de sales alcalinas provocada por la presencia del hidróxido de sodio (jabones) pudo estar afectando en alguna proporción (Metcalf y Eddy, Inc. 1995). En el efluente del sedimentador los niveles de concentración, en 90% de las veces, estuvieron por debajo del límite permisible (20 mg/L), excediendo levemente en otros casos por 5 o 6 mg/L.

4. Análisis microbiológicos

Observación de protozoos e invertebrados: la frecuencia de aparición de cada uno de los grupos encontrados (Figura 2) no varió significativamente en función de las actividades operativas de la fábrica. La ausencia de formas ameboides (sarcodinas) y de protozoos flagelados fue una constante a lo largo del tiempo, indicando la ausencia de sobrecargas orgánicas dentro del reactor (nunca mayores o iguales a 0,6 kg DBO_{5,20}/kg SSVLM; Madoni, 1994).

Las comunidades de ciliados fueron las más representativas del sistema depurador, y el conjunto de metazoos y tecameboides fue el que se evidenció en menor proporción. Los ciliados libres (*Aspidiscacicada* y *Euplotespatella*, en Figura 2C y 2D respectivamente) y fijos (*Campanellaumbellaria*, *Vaginicola* sp, Figura 2E y 2F, respectivamente) típicamente siempre representaron $65 \pm 7\%$ y $19 \pm 6\%$ (totalizando en conjunto 614.444 ± 161.641 ind/L), respectivamente, de todos los microorganismos contabilizados por día, mientras que el porcentaje de aparición de los metazoos (*Philodina* sp y los anélidos/nematodos, Figura 2G, 2H, 2I, respectivamente) y tecameboides (*Euglypha* sp y otras formas testadas, Figura 2A y 2B, respectivamente) solo constituyeron $4 \pm 2\%$ y $11 \pm 5\%$ (en conjunto 26667 ± 15811 ind/L) comparativamente. Tanto *Euglypha* sp, como *Campanellaumbellaria*, *Vaginicola* sp, *Aspidiscacicada*, *Euplotespatella*, *Philodina* sp y

los anélidos/nematodos, revelaron la existencia de bajas cargas orgánicas, lodos bien estabilizados, condiciones de oxigenación óptimas y procesos de nitrificación avanzados (comprobado gracias a la existencia de *Vaginicola* sp; Luna, 2006; Zornoza *et al.*, 2010).

La existencia no solo de ciliados adheridos, rotíferos y nematodos (asociados a niveles de carga menores a 0,1 kg DBO_{5,20}/kg SSVLM), sino de ciliados libres (propios de condiciones de media carga en torno a los 0,3 y 0,6 kg DBO_{5,20}/kg SSVLM; Richard, 1991), indicó que los niveles de carga orgánica eran ligeramente mayores a 0,1 pero inferiores a 0,3 kg DBO_{5,20}/kg SSVLM, lo que permitió constatar que el sistema de tratamiento en ocasiones: (1) tendía a alejarse de la zona de operación en la que, generalmente, poblaciones de rotíferos y nematodos comienzan a proliferar (afectando el rendimiento), presentando, en estos periodos, cierta similitud con la zona de operación de un proceso de lodos activados convencional (media carga), mientras que (2) en otras ocasiones (aproximadamente 80% del tiempo), sí favorecía el desarrollo de estos (baja carga).

No son muchos los estudios relacionados a la presencia de tecamebas en estas fases de tratamiento, pero, aunque no siempre se asocian a buenos rendimientos, indudablemente son un grupo de protozoos bioindicadores de elevadas edades celulares (Luna, 2006). La discrepancia más relevante recayó en la poca y/o nula cantidad de metazoos encontrados en el licor mezcla, pero dada la abundancia de su fuente alimenticia (bacterias, pequeños protozoos y materia orgánica) y las buenas condiciones ambientales (pH, temperatura, OD, nutrientes), la explicación más lógica se atribuyó a los desequilibrios en los tiempos de retención celular, a raíz de las variables tasas de recirculación en la PTAR (Madoni, 1994). Todo esto testificó que, para las características del agua residual producida en fábrica, el sistema puede funcionar de manera eficiente con los grupos específicos de ciliados, metazoos y protozoarios tecameboides contabilizados, contrastando con otras investigaciones en las que

se recomiendan una diversidad de seis a ocho especies solo de ciliados para asegurar la depuración (Zornoza *et al.*, 2010).

Observación de bacterias en los flóculos: dentro del reactor, eran observables flóculos voluminosos (Figura 2J) pero con índices filamentosos entre 5 y más de 20 fil/floc, y se consideran perjudiciales (Jenkins, *et al.*, 2004; Eikelboom, 2006).

Sin embargo, se descubrió que esta alta densidad de filamentosas no comprometía la decantación de los lodos (a diferencia de otras plantas de tratamiento), pues la velocidad de sedimentación de los sólidos, durante las SV30 no disminuyó significativamente debido a esta característica (por lo que se descarta la influencia negativa del aireador, Tabla 3).

Este fenómeno tan particular dio a conocer que aun cuando las poblaciones de filamentosas sean muy altas, puede haber casos en los que, bajo la modalidad de aireación extendida, los flóculos adquieren un tamaño y peso tal que los filamentos no impiden su decantación.

En el sedimentador (Figura 2K), por otra parte, los flóculos manifestaron espacios interfloculares significativos que, sumados a la liberación de nitrógeno (desnitrificación), contribuyeron a la magnificación de las deficiencias descritas (resuspensiones).

Estas características evidenciaron en el sedimentador mayores limitaciones de OD, nutrientes y materia orgánica. Ambos razonamientos explican las discrepancias en las características decantables de los floc antes y después de ingresar al sedimentador secundario.

En relación al tipo de bacterias halladas, el morfotipo 1701 (Figura 2L), generalmente asociado a bajas concentraciones de oxígeno para la carga másica aplicada, bajas cargas orgánicas y elevadas edades de lodo (Jenkins *et al.*, 2004; Zornoza *et al.*, 2006; Balcárcel, *et al.*, 2012), solo fue percibido en las muestras de lodo de manera ocasional. *Sphaerotilus natans* (Figura 2M), relacionada con deficiencias de OD,

alternancias de cargas orgánicas (entre 0,2 y 0,7 kg DBO_{5,20}/kg SSVLM), déficits de nutrientes y presencia de sustratos fácilmente biodegradables (Jenkins, *et al.*, 2004; Balcárcel *et al.*, 2012; Arcos, 2013), no fue descubierta en las muestras del licor mezcla, solo levemente en los lodos flotantes, lo cual corrobora las buenas condiciones de OD, nutrientes y materia orgánica.

El Tipo 0581 (Figura 2N), vinculado a altas y bajas cargas orgánicas, deficiencias de OD, influentes ricos en grasas, temperaturas mayores de 25 °C y pH superiores a siete (Balcárcel, *et al.*, 2012), únicamente se observó en uno de los floc del licor mezcla estudiado (ver filamento enrollado en la figura), por lo que, dado su crecimiento despreciable, no se asoció.

De manera similar a los morfotipos anteriores, el Tipo 1851 (Figura 2O), ligado a la existencia de bajas relaciones A/M (Jenkins *et al.*, 2004; Balcárcel *et al.*, 2012), se manifestó solo en los lodos resuspendidos; mientras que la Tipo 0041 (Figura 2P, asociada a deficiencias de fósforo y nitrógeno en aguas residuales industriales que reciben el aporte de flujos domésticos, temperaturas mayores a 25 °C, bajo OD, baja carga orgánica y altas edades de lodo (Jenkins *et al.*, 2004; Guo *et al.*, 2012), fue identificada abundantemente en ambas unidades.

Esto llevó a la posible identificación positiva de la Tipo 0041 como filamentosas dominante dentro de todo el sistema de tratamiento biológico, habiéndose comprobado, además y a diferencia de otros estudios (Madoni, 1994; Eikelboom, 2006; Balcárcel *et al.*, 2012), que la Tipo 0041 puede proliferar únicamente con bajos niveles de OD, pese a que todas las demás condiciones de cultivo estén en contra de su crecimiento y que, contrariamente, los demás morfotipos demuestran desarrollos siempre y cuando haya desestabilizaciones en más de uno de los parámetros de control.

CONCLUSIONES

Se evaluó un reactor de lodos activados con el uso de parámetros fisicoquímicos y

bioindicadores. La observación microscópica comprobó ser una técnica eficaz para evaluar la dinámica de la depuración en un nivel mucho más práctico que el obtenido solo a través de las tradicionales pruebas de control de carga orgánica.

Según el tipo de organismos presente se podrán resolver problemas, incluso, de dimensionamiento de planta, lo cual indica que el buen funcionamiento de un sistema de depuración puede definirse por la presencia o ausencia de los tipos de organismos que intervienen.

REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WPCF. (1992). Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. España: Días de Santos.
- Arcos, Y. (2013). Microbiología de lodos activados. Hechos microbiológicos, Vol. 4(2), 117-122.
- Balcárcel, L., Erazo, P., Vides, A., Ramírez, A. (2012). Parámetros fisicoquímicos asociados a la proliferación de bacterias filamentosas (bulking filamentosos) en las plantas de tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados: revisión sistemática. Hechosmicrobiol, Vol. 3(2), 47-58.
- Brennan, J., Butters, J., Cowell, N., Lilly, A. (1980). Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. Zaragoza: ACRIBIA.
- Carceller, J. (1998). Los fenómenos del “bulking” y “foaming” en las estaciones depuradoras de aguas residuales. Tecnología del agua, Vol. 179, 17-26.
- Decreto 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.021 (1995, Diciembre 18)
- Eckenfelder, W., Musterman, J. (1995). Activated sludge treatment of industrial waste water. Lancaster: Technomic publishing.
- Eikelboom, D. (2006). Identification and Control of Filamentous Microorganisms in Industrial Activated Sludge Plants. London: IWA Publishing.
- Glynn, H., Heinke, G. (2002). *Ingeniería Ambiental*. México: Pearson Educación de México.
- Grant, W. y Long, P. (2002). *Microbiología ambiental*. Zaragoza (España): Acribia.
- Guo, J., Yongzhen, P., Wang, S., Yang, X., Wang, Z., Zhu, A. (2012). Stable limited filamentous bulking through keeping the competition between floc-formers and filaments in balance. Bioresourtechnol, Vol. 103 (1), 7-15.
- Jenkins, D., Richard, M., Daigger, G. (2004). Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming. New York: Lewis publishers.
- Kiely, G. (1999). Ingeniería Ambiental fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. España: McGrall-Hill.
- Luna, V. (2006). Atlas de Ciliados y otros Microorganismos Frecuentes en Sistemas de Tratamiento Aerobio de Agua Residuales. México: UNAM, ideas en libertad.
- Madigan, M., Martinko, J., Parker, J. (2004). Biología de los microorganismos. Madrid (España): Pearson Prentice Hall.
- Madoni, P. (1994). A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. Water Research, Vol. 1(28), 67-75.
- Metcalf y Eddy, Inc. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización. Aravaca (Madrid): McGrall-Hill.
- Orozco, A. (2005). Bioingeniería de aguas residuales, teoría y diseño. Bogotá (Colombia): Días de Santos, S.A.
- Pimiento, K. (2017). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa dedicada a la elaboración de

productos de origen lácteo. San Cristóbal (Venezuela): Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Richard, M. (1991). The bench sheet monograph on activated sludge microbiology. California: Water Pollution Control Federation.

Romero, J. (1999). Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Zornoza, A., Alonso, J., Serrano, S., Fajardo, V., Zorrilla, F., Bernácer, I., Morenilla, J. (2010). Estudio integrado del proceso de fangos

activados I. Análisis descriptivo de factores físico-químicos y biológicos implicados en su dinámica. Ponencia presentada en la VII Jornadas de Transferencia de Tecnología sobre Microbiología del Fango Activo, Sevilla (España).

Zornoza, A., Rodríguez, E., Isac, E., Alonso, J., Fernández, N., Zorrilla, F., Fajardo, V. (2006). Episodios periódicos de despumación con implicación de filamentos Gram negativos. El morfotipo 0581: un desconocido. Tecnología del agua, Vol. 275, 1-14.

PROTOTIPO EXPERIMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE METANO A PARTIR DE LA DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA DE EXCRETAS VACUNASEXPERIMENTAL PROTOTYPE FOR MEASURING METHANE FROM ANAEROBIC
DECOMPOSITION OF VACCINE EXCRETES**AUTORES:****Parra, Carlos; Arellano, Juan; Rey, Daniela; Sánchez, Lenis; Cárdenas, Mayra**

Laboratorio de Investigación Ambiental y Desarrollo Sostenible. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

Corresponding Author:

carlos.parra20426@gmail.com

Palabras clave: Degradación anaerobia, biogás, metano, excretas vacunas.**Key words:** Anaerobic degradation, biogas, methane, cattle manure.**RESUMEN**

El uso de la degradación anaerobia a nivel mundial para el tratamiento de residuos está cobrando cada vez mayor relevancia por su capacidad de generar productos de valor como el biogás a partir del tratamiento de residuos agropecuarios como el estiércol. El metano representa la fracción con valor calorífico del biogás, por lo que los objetivos de esta investigación se centraron en evaluar el nivel de generación de este gas a partir de la degradación anaerobia de las excretas de ganado vacuno en diferentes mezclas de agua y estiércol, con relaciones masa de estiércol: masa de agua de 1:1,1:3 y 1:6, así como analizar el comportamiento de la producción de metano en digestores de distintos volúmenes (300 ml, 800ml y 4l), y por último evaluar las condiciones iniciales y finales de los diferentes sustratos utilizados. Para ello, se recurrió a la investigación a nivel de laboratorio utilizando un prototipo experimental, encontrándose que los mayores niveles de generación de metano se presentaron en los digestores con la mezcla 1:1, con un nivel de productividad de $0,34 \text{ m}^3\text{CH}_4 / \text{m}^3 \cdot \text{d}$, igualmente, siete de las curvas de generación de metano diario obtenidas presentaron un comportamiento caracterizado por dos (2) momentos de producción considerable indicando cierto grado de desestabilización en los grupos microbianos generadores de metano, concluyendo que una mezcla equitativa entre sólidos y agua es la más adecuada para la degradación anaerobia a partir de estiércol vacuno, no solo por presentar altos niveles de generación de metano sino por presentar mayor estabilidad en cuanto a caídas de pH.

ABSTRACT

The use of anaerobic degradation worldwide for the treatment of waste is gaining increasing returns due to its capacity to generate valuable products such as biogas from the treatment of agricultural residues such as manure. Methane represents the fraction with calorific value of biogas, so the objectives of this research focused on evaluating the level of generation of this gas from the anaerobic degradation of cattle excreta in different mixtures of water and manure. With manure mass ratios: mass of water of 1: 1.1: 3 and 1: 6, as well as analyzing the behavior of methane production in digesters of different volumes (300 ml, 800 ml and 4l), and finally the initial and final conditions of the different uses. For this, research it was used at the laboratory level using an experimental prototype, finding that the levels of methane generation were presented in the digesters with the 1: 1 mixture, with a level of productivity $0.34 \text{ m}^3\text{CH}_4 / \text{m}^3 \cdot \text{d}$, likewise, seven of the daily methane generation curves obtained showed a behavior characterized by two moments of considerable production indicating a certain degree of destabilization in the microbial groups generating methane, concluding that an equitable mixture between solids and water is the most appropriate for anaerobic degradation from cow dung, not only because of high levels of methane generation but also because of greater stability in terms of pH drops.

Recibido: 13/04/2018 Aprobado: 13/07/2018 Versión Final: 06/09/2018

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el uso de la degradación anaerobia como alternativa para tratar desechos orgánicos ha cobrado gran relevancia en las últimas décadas, esto debido principalmente a varios factores, tal y como lo expone Esposito (2012), resumidos en la necesidad de disponer de los desechos orgánicos generando el menor impacto ambiental posible, a la vez que se obtienen beneficios directos (como por ejemplo el gas metano) que disminuyan su costo en comparación con las tecnologías existentes. Esto ha repercutido en un mayor interés internacional por el uso de esta tecnología para solventar problemas energéticos.

En Venezuela, según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2005), se estimó que para el año 1999 se liberaban cerca de 33.200 toneladas de metano (CH_4) por año, producto del manejo del estiércol en las actividades ganaderas, lo cual representa un impacto ambiental considerable y un desperdicio de recursos que pueden aprovecharse mediante degradación anaerobia para otros fines.

Llevando la definición a términos sencillos, la degradación anaerobia es un proceso natural donde el material orgánico es degradado por microorganismos sensibles al oxígeno en compuestos como el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2) y otros elementos (Varnero, 2011). Según la Fachagentur Nachwachsen de Rohstoffe (FNR, 2010) o Agencia de Recursos Renovables de Alemania, el proceso de degradación anaerobia se divide en cuatro (4) fases principales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, siendo esta última la que presenta mayor relevancia pues allí se produce la mayor cantidad de gas metano.

La degradación anaerobia de materia orgánica es un proceso bastante complejo y dinámico, debido a que intervienen aspectos microbiológicos, bioquímicos y fisicoquímicos, relacionados íntimamente entre sí; por ello, la degradación anaerobia es típicamente evaluada empleando un test biológico, sensible a numerosos parámetros.

A pesar de la gran cantidad de investigaciones desarrolladas, ha sido un desafío la definición de un protocolo estándar para evaluar la producción de metano, ocasionado principalmente por la gran variabilidad en las condiciones ambientales, equipos, protocolos y unidades empleadas por los investigadores, lo que dificulta la comparación entre los diferentes resultados obtenidos (Angelidaki *et al.*, 2009; Lesteur *et al.* 2010).

Es por lo anterior que esta investigación presenta el análisis del excremento bovino como fuente generadora de gas metano a nivel de laboratorio por un período de treinta (30) días a una temperatura constante de 38°C , con base en la metodología experimental ejecutada por Gamble (2014) y con adaptaciones propuestas por los autores. Debido a la ausencia en el laboratorio de equipos especializados para la medición de metano, como el cromatógrafo de gases, se construyó un prototipo experimental de medición volumétrica por desplazamiento de líquido, el cual tiene como finalidad estudiar el comportamiento de la producción de metano en diversas proporciones de mezcla a diferentes escalas de volumen y evaluar el prototipo experimental propuesto para finalmente determinar la mezcla más eficiente en este caso específico.

MÉTODO

Sustrato: para preparar las diferentes mezclas a ser sometidas a degradación, se utilizó como material orgánico estiércol proveniente de ganado raza cebú alimentado, casi exclusivamente, con pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*); dichos animales pertenecen a la finca “La Fortuna”, una unidad productiva dedicada a la comercialización de leche ubicada en el municipio Fernández Feo, estado Táchira (Venezuela).

En segundo lugar, se utilizó como agente diluyente agua subterránea proveniente de un pozo ubicado en la finca, esto con el objeto de evaluar su efecto en la descomposición anaerobia del estiércol, en caso de implementarse este proceso en la unidad productiva. Posteriormente, se prepararon las mezclas en proporciones masa

de estiércol: masa de agua de 1:1,1:3 y 1:6, con base en las recomendaciones de Varnero (2011) y Quipuzco, Baldeón y Tang (2011).

En la caracterización de las condiciones iniciales del sustrato, se utilizaron los métodos AS-05 y AS-02 propuestos por la Norma Oficial Mexicana NOM - 021 - RECNAT - 2000 (SEMARNAT, 2002) para la determinación de humedad y pH en las excretas sólidas respectivamente, utilizando en este último caso un potenciómetro marca CRISON®, modelo Basic 20; igualmente, se usaron los métodos 2320 y 2540 G propuestos por A.P.H.A., A.W.W.A. y W.P.C.F. (1992), para determinar la alcalinidad del agua de pozo y la concentración de sólidos de las mezclas respectivamente.

Prototipo: Para el análisis de la producción de metano se implementó un prototipo experimental basado en el diseño de laboratorio propuesto por Torres y Pérez (2010) mostrado en la figura 1. Para el experimento, se emplearon nueve (9) recipientes de vidrio de 0,5 litros y un litro de capacidad, en conjunto con nueve (9) envases de cinco (5) litros de capacidad hechos de PET, todos ellos usados como digestores para evaluar el proceso a diferentes escalas de volumen. Cada

digestor, se conectó mediante una manguera de PVC flexible a un recipiente invertido de un litro de capacidad (digestores de 0,5 L y 1 L) y de cinco (5) litros (digestores de 5 L).

Cada botella invertida fue llenada con una solución de hidróxido de sodio (NaOH), concentrada a 1N con dos funciones: en primer lugar actuar como líquido desplazado y a su vez atrapar el CO₂ junto con el sulfuro de hidrógeno (H₂S) permitiendo sólo el paso del CH₄ (Valcke y Verstraete, 1983; Varnero, 2011). De igual forma, a cada litro de solución concentrada se agregaron diez gotas de reactivo fenolftaleína al 0,25% como agente indicador indirecto de saturación de CO₂, el cual vira a un color rosáceo cuando la solución cae a un pH menor a doce (12), indicando que el NaOH ha perdido su capacidad de retención (Barrera, Salas, Castro, Ortiz y Escalante, 2009). Con el fin de mantener condiciones adecuadas para el desarrollo de microorganismos anaerobios metanogénicos mesófilos, se construyó un prototipo experimental con capacidad para mantener una temperatura constante de 38°C en todos los digestores por un lapso de treinta (30) días; dicho sistema, se diseñó con las siguientes características:

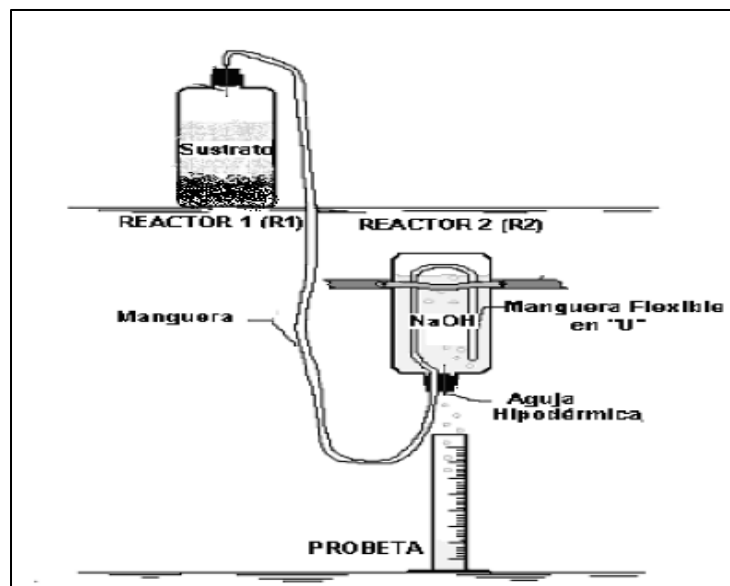


Figura1. Configuración del montaje experimental (Torres y Pérez, 2010).

PRODUCCION DE METANO EN LABORATORIO

Parra, C.; Arellano, J.; Rey, D.; Sánchez, L.; Cárdenas, M.

- Dos (2) incubadoras de 55x30x30 cm y de 30x40x18cm, hechas de polipropileno expandido y vidrio, respectivamente.
- Un sistema de control de temperatura conformado por un calentador sumergible de 1000W y un módulo W1209 como controlador principal (figura 2), conectado a un sensor NTC y programado a una temperatura de $38 \pm 1^\circ\text{C}$.
- Veintisiete (27) recipientes recolectores de líquido desplazado de diferentes capacidades y ubicados debajo de las botellas invertidas.
- Tres (3) bombas sumergibles para recirculación de agua (dos en incubadora de vidrio y una en incubadora de polipropileno expandido) conectadas a un controlador Arduino (figura 2) con sensores DS18B20 en cada incubadora, el cual activaba las bombas cuando las caídas superaban 1°C , esto con la finalidad de evitar el gradiente térmico y mantener constante la temperatura en todo el sistema.
- Como elementos de apoyo se construyeron soportes de madera tanto para las mangueras de conducción de gas como para las botellas invertidas.
- Veintisiete (27) agujas hipodérmicas adaptadas a la salida de las botellas invertidas para regular la salida de fluido y favorecer el tiempo de contacto del gas y la solución.

Por último, para dar inicio al experimento, se dispusieron las mezclas preparadas anteriormente

en cada uno de los digestores, agregando 300 mL de mezcla en los digestores de 500 mL, 800 mL en los de 1 L y 4 L en los recipientes de 5 L, procurando evaluar cada proporción de mezcla por triplicado en cada una de las escalas de volumen utilizadas. El montaje final del prototipo, se puede apreciar en la figura 3.

Para facilitar la comprensión de los datos en esta investigación, las referencias a cada uno de los digestores se realizó en función al volumen de muestra que contenían y no a la capacidad total del mismo; por lo tanto, se denominaron como digestores de 300 mL, 800 mL y 4L.

Medición: Este proceso, se realizó cada 24 horas durante los 30 días que constituyeron el experimento, iniciando con una inspección previa para corregir fugas. Continuando el procedimiento con la medición del líquido desplazado y utilizando cilindros graduados de diversas capacidades (según fuera necesario). Se registró cada resultado obtenido en un formato preestablecido junto con observaciones pertinentes.

Una vez finalizada la medición de volúmenes, se procedió a agitar cada digestor con movimientos circulares para evitar estratificación del sustrato. Finalizada la parte experimental de la investigación, se procedió a analizar cada mezcla para determinar las condiciones finales del sustrato. Para ello, se tomó una muestra compuesta por cada mezcla (una por digestor) en cada una de las escalas de volumen analizadas.

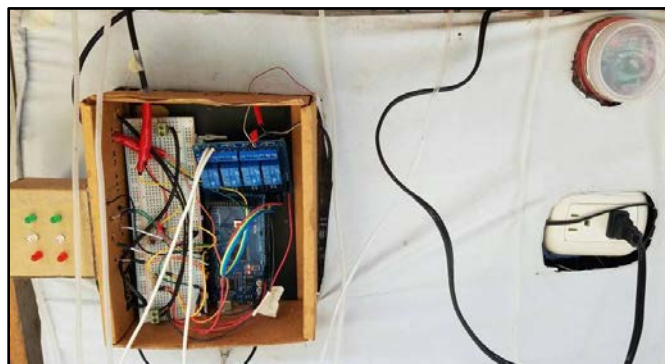


Figura 2. Controlador arduino (izquierda) con control de temperatura W1209 (derecha).



Figura 3. Prototipo Experimental de medición de gas metano.

De manera simultánea, se analizaron los datos registrados a lo largo de la prueba, descartando aquellos resultados atípicos producto de fallos durante el experimento (principalmente debido a fugas de solución concentrada). Seguidamente, se elaboraron una serie de gráficos en los que se ilustraron las curvas de comportamiento de producción de metano diario, para cada escala de digestor utilizada, así como el total de metano generado durante todo el proceso, determinando finalmente la productividad de cada mezcla mediante la siguiente ecuación:

$$P_{CH_4} = \frac{V_{CH_4}}{V_{digestor} \cdot t} (1)$$

Siendo:

P_{CH_4} : Productividad de metano ($0,34 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{d}$).

V_{CH_4} : Producción promedio de metano acumulada (l CH_4).

$V_{digestor}$: Volumen dispuesto en el reactor (l).

t : Tiempo (días).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados y los correspondientes análisis obtenidos en esta investigación.

Características iniciales del sustrato: Tal como se puede apreciar en la Tabla 1, el porcentaje de humedad para el excremento fue de $81,86 \pm 2,20\%$, lo cual ubica dicho sustrato como tipo I, ideal para procesos de descomposición anaerobias por su fácil degradación, según la clasificación propuesta por Varnero (2011). Por otra parte, el agua de dilución presentó una alcalinidad media, según lo propuesto por Boyd (2015), con $88,25 \text{ mg de CaCO}_3/\text{L}$ producida por iones de bicarbonato, lo cual asegura cierta capacidad tampón en el medio mitigando el efecto de compuestos ácidos.

Con respecto a las mezclas realizadas, se pudo apreciar una disminución de la concentración de sólidos totales (S.T.), manteniendo cierta proporción entre la cantidad de sólidos presentes y el agua empleada, presentando una concentración máxima promedio de S.T. de $9,25 \pm 0,13\%$ correspondiente a 1:1 y un valor mínimo de $1,67 \pm 0,12 \%$ para 1:6.

Tabla 1. Condiciones iniciales de los sustratos y sus componentes.

	Humedad (%)	pH	Alcalinidad (mg CaCO ₃)	S.T. (%)	S.V.T. (%)	S.V.T. /S.T. (%)
Estiércol	81,86 ± 2,20	7,78 ± 0,09	-	-	-	-
Agua Subterránea	-	7,48 ± 0,1	88,25	-	-	-
Mezcla 1:1	-	7,33 ± 0,06	-	9,25 ± 0,13	6,33 ± 0,06	68,44±0,28
Mezcla 1:3	-	7,35 ± 0,02	-	3,35 ± 0,06	2,27 ± 0,04	67,96 ± 0,10
Mezcla 1:6	-	7,47 ± 0,02	-	1,67 ± 0,12	1,15 ± 0,09	69,23 ± 0,61

En contraste con los resultados obtenidos anteriormente, se observa que la concentración de sólidos volátiles totales (S.V.T.) respecto a los S.T., se mantiene relativamente constante, sin importar la dilución, con un promedio para todas las mezclas de 68,54 ± 0,64%; tal como lo indica Gray (2008). Esta cifra representa la fracción biodegradable, lo cual demuestra que los sólidos presentes en el sustrato a degradar poseen un alto potencial para la generación de gas metano.

Análisis de la producción de metano: a partir de las figuras 4, 5 y 6, se pudieron apreciar ciertas características relevantes, siendo la más notables la diferencia entre los niveles de generación de metano diarios de las mezclas 1:1, en comparación con las mezclas 1:3 y 1:6 en todas las escalas de volumen, llegando a picos de producción de entre 195 mL de CH₄ por día para los digestores de 300 mL y hasta 3 L de CH₄ para los de 4 L. Por otra parte, se puede establecer una relación entre el comportamiento de las curvas a nivel general y las fases de crecimiento celular típicas de los microorganismos metanogénicos. En primer lugar, se observa un período de latencia de entre 7 y 9 días donde predomina la fase hidrolítica, en el cual según la FNR (2010), los compuestos complejos son sintetizados en elementos más simples que puedan ser aprovechados por los demás grupos celulares.

No obstante, a partir de este punto es complicado determinar la fase predominante, debido a que las distintas etapas del proceso pueden ocurrir de forma simultánea, en un proceso de etapa única, en al cual se presentan reacciones en serie y en

paralelo que involucran a numerosos grupos microbianos, tal como la afirman la FNR (2010) y Díaz-Báez *et al.* (2004).

Después de la fase hidrolítica, aproximadamente posterior al día 9, las curvas de producción presentan diferentes comportamientos. Para el caso de los digestores de 0,3 l con la mezcla 1:3 (figura 4) y 4 l con la mezcla 1:1 (figura 6), el comportamiento observado fue tipo campana, con un crecimiento gradual en la producción hasta un punto máximo para luego decaer. En cuanto a los demás digestores, se presentaron -en líneas generales- dos momentos de producción considerable indicando cierto grado de desestabilización, similar al comportamiento reportado por Gamble (2014).

Esta alteración pudo haberse producido por una gran cantidad de factores debido a su complejidad, por lo que es difícil establecer una causa concreta para estas anomalías. En el caso de los digestores que presentaron dos momentos de producción considerable existió claramente una afectación del grupo metanogénico que disminuyó los niveles de formación de metano. Una posible explicación para esta interferencia pudo ser la elevada producción de ácido acético por el acelerado crecimiento de la población acetogénica, según lo expresa Díaz-Báez, Espitia y Molina (2004).

De manera similar, la producción de ácidos grasos volátiles, durante la etapa de arranque del reactor, es elevada según Gerardi (2003); por lo que, se infiere que ambos factores fueron los

principales causantes de la alteración en el proceso, disminuyendo el pH dentro del digestor y, por lo tanto, provocando inhibición en los organismos metanogénicos, los cuales son muy susceptibles a esta clase de variaciones (FNR, 2010).

Sin embargo, cabe destacar que no ocurrió un cese total en la actividad metanogénica, debido a que las condiciones en el medio no fueron alteradas de forma irreversible.

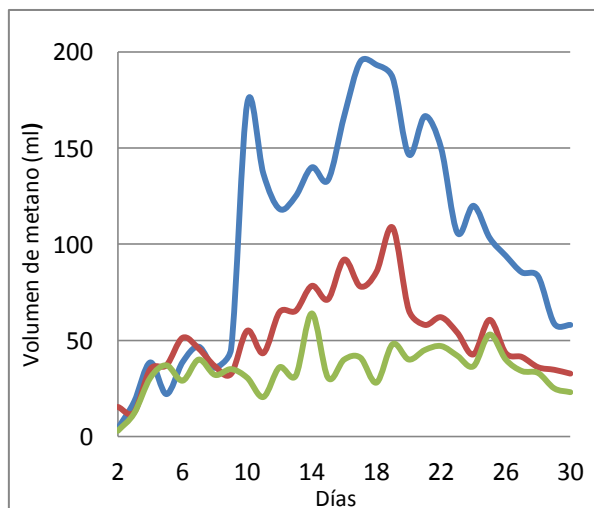


Figura 4. Producción diaria en digestores de 300 mL

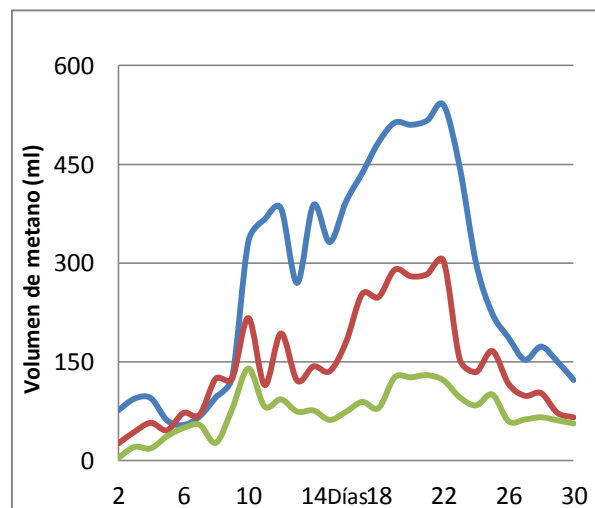


Figura 5. Producción diaria en digestores de 800 mL

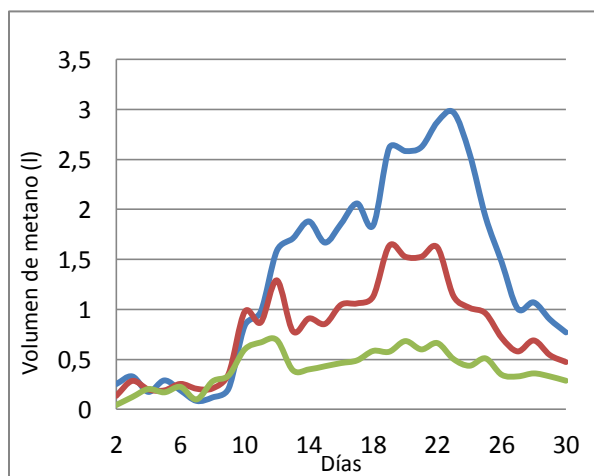


Figura 6. Producción diaria en digestores de 4L

Se infiere que el principal factor que amortizó esta alteración fue la alcalinidad del estiércol, ya que mientras mayor sea la concentración de iones de carbonato de calcio (CaCO_3) en un medio, mejor es su capacidad para resistir cargas ácidas y mayor estabilidad presenta. Esto, se puede corroborar al observar las figuras 4, 5 y 6 donde se aprecia que las mezclas con mayor contenido

de sólidos presentaron una recuperación más acelerada.

Posteriormente, se produjo un nuevo incremento en la producción de metano llegando a los niveles de producción máximos mencionados anteriormente para las mezclas 1:1 y 1:3. En el caso de la mezcla 1:6 ambos picos no presentaron una diferencia significativa, siendo el primero

PRODUCCION DE METANO EN LABORATORIO

Parra, C.; Arellano, J.; Rey, D.; Sánchez, L.; Cárdenas, M.

ligeramente superior al segundo. Finalmente, la conversión del sustrato a metano comenzó a descender a partir del día 22, esta fase de decrecimiento está vinculada al agotamiento de los nutrientes y a la posible presencia de agentes inhibidores como son los ácidos grasos volátiles, el amonio y el sulfuro de hidrógeno, los cuales son productos finales de la degradación anaerobia (Díaz-Báez *et al.*, 2004).

Es de destacar que, las curvas de comportamientos referentes a la producción diaria de metano presentan comportamientos similares en todas las escalas de volumen (salvo la curva perteneciente a la mezcla 1:3 de los digestores de 300 mL y de la mezcla 1:1 concerniente a los digestores de 4 L), indicando que a nivel experimental la escala del digestor no

influyó en el comportamiento de la producción de metano.

Con respecto al total de metano generado durante todo el proceso, como se puede observar en la tabla 2, la mezcla 1:1 que contuvo un porcentaje de sólidos totales equivalente a $9,25 \pm 0,13\%$, presentó, en promedio, el mayor volumen de gas metano generado (entre 3,0 y 39,4 L) en todas las escalas, seguido por 1:3 (entre 1,5 y 23,2 L de CH_4 y una concentración de S.T. de $3,35 \pm 0,06\%$) y por 1:6 (entre 1,0 y 11,8 l de CH_4 y una concentración de S.T. de $1,67 \pm 0,12\%$); corroborando así lo planteado por Nijaguna (2006), quien expresa que el contenido óptimo de sólidos totales del digestor debe ser de entre 7 y 9% aproximadamente.

Tabla 2. Producción promedio acumulada.

Mezcla	Litros CH_4 (digestor 300 ml)	Litros CH_4 (digestor 800 ml)	Litros CH_4 (digestor 4 l)
1:1	3	7,9	39,4
1:3	1,5	4,2	23,2
1:6	1	2,2	11,8

Condiciones finales del sustrato: en la tabla 3, se presenta un resumen con las características promedio finales del sustrato en cada una de las mezclas analizadas, acompañado por un

porcentaje de variación que indica la diferencia de las condiciones finales en comparación con los valores iniciales para cada parámetro.

Tabla 3. Condiciones finales de los sustratos utilizados.

Muestra	pH	% variación pH	S.T. (%)	S.V.T (%)	S.V.T. /S.T. (%)	% variación S.V.T./S.T.
Mezcla 1:1	$7,15 \pm 0,03$	2,41	$7,81 \pm 0,16$	$4,94 \pm 0,05$	$63,16 \pm 0,95$	$7,71 \pm 1,38$
Mezcla 1:3	$6,87 \pm 0,02$	6,58	$3,57 \pm 0,22$	$2,20 \pm 0,12$	$61,52 \pm 0,32$	$9,47 \pm 0,46$
Mezcla 1:6	$6,76 \pm 0,03$	9,50	$1,71 \pm 0,12$	$1,19 \pm 0,15$	$67,96 \pm 0,46$	$1,84 \pm 0,66$

En primer lugar, se observa cierto grado de acidificación en todas las muestras, el cual se ve incrementado por el factor de dilución, este efecto pudo haberse producido por la reacción de los ácidos orgánicos con la alcalinidad del medio, disminuyendo el pH e inhibiendo los organismos formadores de metano (Gerardi, 2003). Sin embargo, las mezclas 1:1 y 1:3 permanecieron dentro de un rango tolerable (6,8 a 7,5) mientras que la mezcla 1:6 alcanzó valores ligeramente inferiores. De igual forma, se puede apreciar que la mezcla con mayor cantidad de estiércol fue la que presentó menores caídas de pH lo cual corrobora la presunción expuesta anteriormente que indica que la alcalinidad proviene mayormente del estiércol y no del agua de dilución.

En lo correspondiente a los valores finales de S.T. y S.V.T., ambos presentaron ciertas discrepancias importantes principalmente en las mezclas 1:3 y 1:6 donde existió aparentemente un incremento en la concentración de sólidos totales. Se presume que esta anomalía fue causada por la tendencia a la heterogeneidad del medio observada durante los análisis de laboratorio, la cual es acentuada por el incremento de agente diluyente en la mezcla, esto impidió tomar una muestra homogénea incluso inmediatamente después de ser agitada, por lo que se observaron resultados imprecisos. Caso contrario sucedió con la mezcla 1:1 que presentó mayor homogeneidad en todo el experimento, siendo la única que mostró una disminución en la concentración de sólidos en todas las escalas.

Con el fin de minimizar la interferencia causada por la heterogeneidad de la mezcla y poder determinar la cantidad de material orgánico removido por cada mezcla, se analizó la variación de la relación S.V.T./S.T. al inicio y al final del experimento, en donde la mayor eficiencia la obtuvo la mezcla 1:3 con un promedio de remoción de 9,47 %, seguido de la mezcla 1:1 y 1:6 con 7,71 % y 1,84 % respectivamente; este fenómeno, se puede explicar desde el punto de vista microbiológico. Varnero (2011) y FNR (2010) establecen que un aumento en la cantidad de agente diluyente fomenta la movilidad de los microorganismos y

la tasa de transferencia de masa, además de disminuir la concentración de agentes inhibitorios, permitiendo con ello un mejor aprovechamiento de los nutrientes.

Para el caso de la mezcla 1:6 sucedió lo contrario. Angelidaki y Ellegaard (2003) y FNR (2010) mencionan que altos contenidos de agua en conjunto con los elementos fibrosos propios del estiércol y los espacios muertos presentes durante el mezclado son desencadenantes de bajos rendimientos en la formación de metano; por lo que, se deduce que estas anomalías fueron las causantes de la baja productividad de metano en el grupo de digestores con las mezclas 1:6.

Productividad de metano: la muestra 1:1 presentó la mayor productividad con $0,34 \pm 0,00 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{d}$, coincidiendo con el valor reportado por Effenberger (2008) para una planta piloto la cual operó en condiciones similares, seguido de la mezcla 1:3 con $0,19 \pm 0,01 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ y la mezcla 1:6 con $0,10 \pm 0,02 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{d}$. Aunque como mencionan Strömberg *et al.* (2014) para una correcta comparación es necesario realizar una estandarización del proceso para evitar imprecisiones causadas por las variaciones de temperatura y presión ambiental (Parajuli, 2011).

CONCLUSIONES

- El prototipo experimental propuesto demostró una alta concordancia en cuanto a los datos obtenidos de producción diaria de metano en la todas las muestra; por lo que, se corrobora que el método de medición de metano por desplazamiento de líquido es una herramienta eficaz para su aplicación a nivel de laboratorio.
- Se determinó que los mayores niveles de generación de metano se dieron en la mezcla 1:1 con una productividad de metano de $0,34 \pm 0,00 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{d}$, igualmente dicha mezcla presentó mayor estabilidad en cuanto a caídas de pH y remoción de S.T y S.V.T.; por lo tanto, se concluye que la mezcla equitativa de sólidos y agua es la más adecuada para la generación de gas metano.
- En cuanto a la producción promedio diaria de metano, se observó un patrón general en todas

las mezclas caracterizado por la presencia de dos picos importantes de generación. Igualmente, no se apreció una relación aparente entre el tamaño del digestor y el comportamiento de la curva de generación diaria de metano; por lo tanto, se infiere que es posible extrapolar los datos obtenidos a digestores de mayor tamaño, tomando en consideración que es necesario realizar una investigación más profunda sobre este aspecto.

- En lo referente al análisis de los sustratos, no se evidenció un efecto significativo del agua subterránea en la alcalinidad del medio; por lo cual, se determinó que la capacidad tampón de las mezclas provino principalmente del estiércol. Por otra parte, la mayor reducción de material orgánico con relación al material sólido, lo presentó la mezcla 1:3, con un promedio para todas las muestras de $9,47 \pm 0,46\%$, por lo que se concluye que este tipo de mezcla es idónea para tratar altas cargas de material orgánico.

REFERENCIAS

- A.P.H.A., A.W.W.A. y W.P.C.F. (1992). *Metodos Normalizados para el Analisis de Aguas Potables y Residuales* (17 edition).
- Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J.L., Guwy, A.J., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P.,...van Lier, J.B. (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science and Technology*, 927-934.
- Angelidaki, I. y Ellegaard, L. (2003). Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogás plants: status and future trends. *Applied biochemistry and biotechnology*, 109 (1-3) 95-105.
- Barrera, P; Salas, X.; Castro, L.; Ortiz, C.; Escalante, H. (2009). Estudio Preliminar de la Bioproducción de Metano a Partir de los Residuos del Proceso de Beneficio del Fique. *Revista ION*, 22(1), 53-61
- Boyd, C. (2015). *Water Quality: An introduction* (Segunda Edición). Alabama, Estados Unidos: Editorial Springer.
- Díaz-Báez, M., Espitia, S. y Molina, F. (2004). *Digestión Anaerobia una aproximación a la tecnología*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Effenberger, M. (2008). *Influence of Temperature and Feeding Mode on Digestion and Sanitation Efficiency During Multiple-stage Anaerobic Treatment of Liquid Dairy Cattle Manure*. Gotinga, Alemania: Cuvillier Verlag.
- Esposito, G., Frunzo, L., Liotta, F., Panico, A. y Pirozzi, F. (2012). Bio-Methane Potential Tests To Measure The Biogas Production From The Digestion and Co-Digestion of Complex Organic Substrates. *The Open Environmental Engineering Journal*, 5, 1-8.
- Fachagentur Nachwachsen de Rohstoffe (FNR, 2010). *Guía sobre el Biogas. Desde la producción hasta el uso*. Alemania: Fachagentur Nachwachsen de Rohstoffe.
- Gamble, K. (2014). *Anaerobic Digestion from the Laboratory to the Field: An Experimental Study into the Scalability of Anaerobic Digestion* (Tesis de Maestría), Universidad Estatal de los Apalaches, Carolina del Norte, Estados Unidos.
- Gerardi, M. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. Hoboken, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Gray, D. (2008). *Anaerobic Digestion in Food Waste*. (U.S. Environmental Protection Agency Region 9, Documento N° EPA-R9-WST-06-004).
- Lesteur, M., Bellon-Maurel, V., Gonzalez, C., Latrille, E., Roger, J.M., Junqua, G. y Steyer, J.P. (2010). Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: A review. *Process Biochemistry* 45(4), 431-440.
- Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2005). *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Caracas, Venezuela.

- Nijaguna, B.T. (2006). *Biogas Technology*. Nueva Delhi, India: New Age International.
- Parajuli, P. (2011). *Biogas measurement techniques and the associated errors*. (Tesis de Maestría) Universidad de Jyväskylä, Jyväskylä, Finlandia.
- Quipuzco, L., Baldeón, W. y Tang, O. (2011). Evaluación de la Calidad de Biogas y BioL a Partir de Dos Mezclas de Estiercol de Vaca en Biodigestores Tubulares de PVC. *Revista Del Instituto de Investigacion de La Facultad de Ingenieria*.
- SEMARNAT (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. *Diario Oficial de la Federación*. México.
- Strömberg, S., Nistor, M. y Liu, J. (2014). Towards eliminating systematic errors caused by the experimental conditions in Biochemical Methane Potencial (BMP) tests. *Waste Management* 34. 1939-1948
- Torres, P. y Pérez, A. (2010). Actividad metanogénica específica: Una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 9, 5-14.
- Varnero, M.T. (2011). *Manual del Biogás*. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Valcke, D. y Verstraete, W. (1983). A Practical Method to Estimate the Acetoclastic Methanogenic Biomass in Anaerobic Sludges. *Water Pollution Control Federation*, 55(9), 1191–1195.

VOL. 30(2) JULIO - DICIEMBRE, 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

- Nijaguna, B.T. (2006). *Biogas Technology*. Nueva Delhi, India: New Age International.
- Parajuli, P. (2011). *Biogas measurement techniques and the associated errors*. (Tesis de Maestría) Universidad de Jyväskylä, Jyväskylä, Finlandia.
- Quipuzco, L., Baldeón, W. y Tang, O. (2011). Evaluación de la Calidad de Biogas y BioL a Partir de Dos Mezclas de Estiercol de Vaca en Biodigestores Tubulares de PVC. *Revista Del Instituto de Investigacion de La Facultad de Ingenieria*.
- SEMARNAT (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. *Diario Oficial de la Federación*. México.
- Strömberg, S., Nistor, M. y Liu, J. (2014). Towards eliminating systematic errors caused by the experimental conditions in Biochemical Methane Potencial (BMP) tests. *Waste Management* 34. 1939-1948
- Torres, P. y Pérez, A. (2010). Actividad metanogénica específica: Una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 9, 5-14.
- Varnero, M.T. (2011). *Manual del Biogás*. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Valcke, D. y Verstraete, W. (1983). A Practical Method to Estimate the Acetoclastic Methanogenic Biomass in Anaerobic Sludges. *Water Pollution Control Federation*, 55(9), 1191–1195.

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 glyphosfato 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> (Coleoptera: Scarabaeidae: Hybosorinae). - Havranek, D.	31
Catálogo de los Scarabaeidae (Coleoptera) 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 microbiológico 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 Pteridium (<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.; Ramirez, 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
Biotecnología / 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. - Llamoza, 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>Pteridae</i> (Insecta: Lepidóptera) en el estado Táchira, Venezuela. - Rey, F.	37
Inventario de las plantas Medicinales del estado Táchira, Venezuela. - Verá, 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. - 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 picola, 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
Flora herbariorum tachirensis 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 período 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	Págin
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(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. 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. 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 lymnaea lamarck 1801 (lymnaeidae: pulmonata: gastropoda), en los andes venezolanos Chacón-Ortiz, A., Guerrero, Ch. y Tovar-Rodríguez, W.	87
Culicoides travassosi forattini, 1957 (diptera: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 Chánovas, 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 Mogolión, 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 lippia micromera schauer 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 Trichoderma spp. en el control de Plasmodiophora brassicae 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 Hypothenemus hampei 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 (Rubus glaucus 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.	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 Álvarez-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

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 Triplete 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
EXACTAS	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
SOCIO HUMANÍSTICO	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, Nixdor; 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, Grelys; Vivas, Marisela	73
	Configuración del patrón cognitivo en la elaboración del proyecto de investigación Rondón, Blanca; Sánchez, Marina; Berrios, María; Bastidas, Trina; Matos, Nixdor	83
	La síntesis estereognóstica 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 urbanos 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
SOCIO HUMANÍSTICO	Carbonatos Orgánicos Cíclicos como Monómeros: Síntesis y Caracterización Monsalve, Meribary; Contreras, Jesús	67
	Calibración de un Algoritmo para la determinación de períodos 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 Swinglea glutinosa (Blanco) Merr González de C. N.; Araque, C.; Montilva, Z.; Velasco, J. y Usubillaga, A.	127
EVALUACIÓN DE LA COMPATIBILIDAD MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA ENTRE AISLAMIENTOS DE Trichoderma 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 Dermotobia hominis (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 TORBES 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, Yasmira	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(2): Julio - Diciembre, 2018

<http://investigacion.unet.edu.ve>
rcunet@unet.edu.ve