



# Revista Científica UNET

República Bolivariana de Venezuela  
VOL 22(1)

ENERO - JUNIO, 2010

DEPÓSITO LEGAL: P.P 87-0343  
REVENCYT: RVR 001

ISSN:1316-869X11C  
LATINDEX CATÁLOGO

FONACIT: REG-





# Revista Científica UNET

República Bolivariana de Venezuela

VOL. 22(1)

ENERO - JUNIO, 2010

DEPÓSITO LEGAL: P.P 87-0343

ISSN:1316-869X11C

REVENCYT: RVR 001

LATINDEX CATÁLOGO

FONACIT: REG-2006000001

---

Prohibida la reproducción  
total o parcial del contenido de esta Revista  
<http://investigacion.unet.edu.ve>  
Correo electrónico: [rcunet@UNET.edu.ve](mailto:rcunet@UNET.edu.ve)

# 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 que se generan en la institución. 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, 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- 465 / 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.

## INVESTIGACIÓN PERTINENTE

El Estado venezolano se encarga de formular las políticas de investigación que deben cumplir las Universidades y a menudo aboga, preferentemente, por el desarrollo de la denominada “investigación pertinente”. Esta definición gubernamental tiene como característica principal el hecho de que los estudios tengan aplicación directa en la solución de problemas específicos de una comunidad.

No obstante, tendríamos que preguntarnos si acaso las investigaciones en las Ciencias Puras, la Ingeniería, las Artes, entre otras, no cumplen con esta condición; pues, aunque los resultados en estas áreas tienen aplicación a mediano o largo plazo, fomentan el desarrollo del conocimiento humano y elevan los principios y valores de un colectivo que propicia cambios y transformaciones positivas en el ámbito social, cultural, tecnológico y científico.

Ahora bien, en caso de que las investigaciones sean “pertinentes”, tendría que reflexionarse sobre el apoyo que el Estado da a esas propuestas. Un ejemplo de ello tiene que ver con algunos estudios de la UNET realizados en distintas regiones del estado Táchira con respecto al control, reducción y manejo apropiado de agroquími-

cos para el control de enfermedades y plagas en cultivos. Los resultados evidencian niveles de desnutrición, déficit de atención, retraso mental y mutación en niños, y, en adultos, disminución de la longevidad y susceptibilidad al desarrollo de varias enfermedades. Sin embargo, no existe por parte de las instancias del Estado respectivas, controles ni leyes que obliguen a estos productores a regular el uso que hacen de esas sustancias.

Exigir la intervención del Estado para que a través de estímulos o medidas punitivas propicie cambios de conducta en la sociedad es necesario porque es común que algunos individuos no cumplan recomendaciones en su propio beneficio o de la comunidad, esto se puede ilustrar por analogía con la medida adoptada en la mayoría de los países de hacer obligatorio el uso del cinturón de seguridad por parte de los ocupantes de los vehículos.

En conclusión, el impacto social de la investigación debe contar con el compromiso del Estado para materializar las propuestas de solución que los resultados de los estudios indiquen, de lo contrario, los aportes científicos y técnicos valiosísimos tendrán como destino, el archivo de asuntos condenados al olvido.

**Dr. JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ PÉREZ**

*Director*

---



# DESARROLLO DE *Hypothenemus hampei* Ferrari (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EN CAFÉ PERGAMINO CON TRES NIVELES DE HUMEDAD, EN CONDICIONES DE LABORATORIO

(Development of *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera:Curculionidae) in  
coffee with different percentage from initial humidity)

Salazar, M.; Reyes, J.; Vivas, A.; Sánchez, J.

Laboratorio de Investigación en Entomopatógenos y Parasitoides  
(L.I.E.P) Decanato de Investigación,  
Universidad Nacional Experimental del Táchira,(UNET)  
San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela.  
Correo Electrónico: [msalazar@unet.edu.ve](mailto:msalazar@unet.edu.ve)

## RESUMEN

La broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) es la plaga de mayor importancia del cultivo del cafeto. La cría de este insecto en condiciones de laboratorio es necesaria, para disponer de los mismos en estudios sobre la biología y métodos de control. El trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación en Entomopatógenos y Parasitoides (L.I.E.P) de la UNET, San Cristóbal. Como objetivo general se planteó, determinar el porcentaje óptimo de humedad inicial del café pergamino de las variedades Typica y Caturra, utilizados como sustrato, para obtener una mayor cantidad de estados biológicos de la broca. Se utilizó un diseño factorial con arreglo completamente al azar, con tres repeticiones, para un total de 18 unidades experimentales. Se emplearon bandejas metálicas con 600 granos y 1500 brocas por cada bandeja y se evaluaron tres niveles de humedad del café pergamino al momento de la infestación: 43, 45 y 47%. Cada cinco días a partir de la infestación, se realizó la disección de 10 granos por bandeja y se registró la cantidad de estados biológicos de la broca. El café pergamino correspondiente a la variedad Typica, con humedad inicial de 45%, resultó ser el más adecuado para la obtención de un mayor número de estados inmaduros de la broca en laboratorio.

**Palabras Clave:** *Hypothenemus hampei* Ferrari, Typica, Caturra, infestación, humedad del café pergamino.

## ABSTRACT

The coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) is the most important plague in the coffee crop. The growth of this insect in laboratory conditions is necessary to put into practice the same studies about biology and control methods. The research was done in the Entomopatogens and Parasitoids Research Laboratory (E.P.R.L) of the National Experimental University of Táchira, San Cristóbal. The main goal was to determine the optimal percentage of initial humidity of the pergamino coffee of the varieties Typica and Caturra, used as substrate to obtain a greater amount of immature states of the coffee berry borer. A factorial design with at a random fixing was used with three repetitions to have a total of 18 experimental units. Metallic trays with 600 grains and 1500 coffee berry borer per tray were used and three levels of humidity of the pergamino coffee at the time of the infestation: 43, 45 and 47%. The dissection of 10 grains per tray was done every five days from the infestation and the quantity of biological states of coffee berry borer was registered. The pergamino coffee in the variety of Typica with initial humidity of 45% turned out to be the most suitable to obtain the greater number of immature states of the coffee berry borer in the laboratory.

**Key Words:** *Hypothenemus hampei* Ferrari, Typica, Caturra, infestation, coffee humidity.

Recibido: 18/02/09  
Aprobado: 24/03/10  
Versión Final: 25/06/10

## INTRODUCCIÓN

La broca del café, *Hypothenemus hampei* Ferrari, originaria de África, es un pequeño coleóptero y constituye la plaga de mayor importancia en el cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.). Por su rápida dispersión y el daño que ocasiona a la almendra, baja la calidad del grano, influye en los rendimientos del cultivo y ocasiona grandes pérdidas económicas. En plantaciones donde las infestaciones alcanzan el 100%, se producen disminución en peso de 21,1%, lo cual se traduce en pérdidas de 12,6 kg por saco de 60 kg de café beneficiado (Bustillo *et al.*, 1996).

La hembra es la que perfora el fruto y realiza galerías en los granos del café, donde coloca los huevos; cuando estos eclosionan las larvas se alimentan de la almendra, posteriormente pasan a la fase de pupa y luego adulto. En estudio realizado por Bustillo *et al.*, (1996), el ciclo de vida de *H. hampei* a temperatura promedio de 26 °C, se completó en 26 días.

Esta plaga fue encontrada por primera vez en Venezuela en el año 1995, en el municipio Rafael Urdaneta del estado Táchira. Actualmente está diseminada en varios estados productores de café en el país, excepto Monagas, Sucre, Anzoátegui, Bolívar, Delta Amacuro, Guárico, Zulia, Amazonas y el Distrito Capital (Cárdenas, 2008).

Para combatir la broca, existen diferentes métodos de control: cultural, etológico, biológico y químico; estos métodos, aplicados de manera adecuada y en el momento oportuno, forman parte del manejo integrado de la plaga. El control biológico es la alternativa que se ha desarrollado con mayor empeño en los países vecinos (Colombia y Brasil) y de igual forma se ha venido desarrollando en el país.

La cría de broca en condiciones de laboratorio, permite disponer de insectos para desarrollar estudios sobre la biología y métodos de control de la plaga. El sustrato más apropiado para el desarrollo de la broca en condiciones de laboratorio es el café pergamino. Con respecto a la humedad del mismo en el momento de la infestación, existe información diversa: algunos autores señalan que debe ser de 45% (Bustillo *et al.*, 1996, Bustillo *et al.*, 1998, Bustillo, 1993, Bustillo, 2005), otros una humedad de 35 a 40% (Benavides y Portilla, 1990), mientras que Orozco (2002), señala que debe ser de 47%. La humedad del café pergamino en el momento de la infestación y el control de la misma durante el desarrollo de los diferentes estados inmaduros, es determinante en el éxito de su multiplicación.

En este trabajo, se planteó la necesidad de mejorar la producción de broca en condiciones de laboratorio. Se evaluó el desarrollo de la broca, utilizando como sustrato, café pergamino de las variedades Typica y Caturra, con tres niveles de humedad al momento de la infestación.

## MÉTODO

El ensayo se realizó en el laboratorio de Investigación en Entomopatógenos y Parasitoides (L.I.E.P) de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela.

### Obtención de broca

Para el establecimiento del pie de cría de la broca se empleó la metodología propuesta por Bustillo *et al.*, (1996) con algunas modificaciones. Se cosechó café totalmente maduro y brocado; se trasladó al laboratorio y se extendió sobre zarandas de madera con fondo de malla metálica; se le aplicó una solución de fungicida y acaricida y se colocó en un cuarto oscuro, con un ventilador por un periodo de 25 a 30 días, con el fin de secar el fruto y uniformizar la población de adultos. Transcurrido ese tiempo, el café fue rehumedecido con agua para luego trasladarlo al cuarto de emergencia de la broca. Durante el ensayo se llevaron registros diarios, encontrándose la temperatura promedio de este cuarto en 26,30°C y la humedad relativa en 64,01%. Las brocas recolectadas en el cuarto de emergencia se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 0,5% durante cinco minutos; transcurrido ese tiempo se enjuagaron con agua destilada y se dejaron secar, para luego ser utilizadas en los diferentes tratamientos.

### Obtención del café pergamino

Se cosechó café cereza maduro y sano de las variedades Caturra y Typica, en la Unidad Académica La Tuquerena, ubicada en el municipio Junín en la localidad de Rubio, a una altitud de 950 m.s.n.m. Luego de ser cosechado el café se trasladó al laboratorio donde cada variedad se descerezó por separado con un molino manual y se dejó fermentando durante 24 horas en tobos plásticos. Trascurrido ese tiempo las almendras se lavaron y se desinfectaron con una solución de fungicida (i.a. Mancozeb) 1 gr/lit y acaricida (i.a. Propargite) 2 cc/lit, durante 12 horas para evitar contaminación durante el proceso de infestación.

Las almendras tratadas de ambas variedades de café, se extendieron uniformemente en un mesón de madera debidamente separadas y con la ayuda de un ventilador se secaron hasta alcanzar 43%, 45% y 47% de humedad, para los tratamientos a evaluar.

Durante el proceso de secado frecuentemente se tomaron muestras de 10 gr de café pergamino por cada variedad, para estimar el porcentaje de humedad a través del medidor de humedad MA30 marca Sartorius. Dicho equipo fue previamente calibrado por el método de la estufa, colocándo 100 gr de café pergamino por 24 horas en la estufa a una temperatura de 105 °C (FAO, 1993). Este procedimiento se repitió hasta obtener la humedad del grano de café requerida para cada tratamiento.

### Descripción de los tratamientos

Se utilizó un diseño factorial con arreglo completamente al azar con tres repeticiones, para un total de 18 unidades experimentales.

Los tratamientos quedaron conformados de la siguiente manera:

T 43a= 43% Humedad inicial, variedad Typica  
T 45a= 45% Humedad inicial, variedad Typica  
T 47a= 47% Humedad inicial, variedad Typica  
T 43b= 43% Humedad inicial, variedad Caturra  
T 45b= 45% Humedad inicial, variedad Caturra  
T 47b= 47% Humedad inicial, variedad Caturra

Las unidades experimentales la conformaron bandejas metálicas con dimensiones de 33 cm. de largo x 23 cm. de ancho x 7 cm. de alto, con orificios laterales de 2 cm. de diámetro cubiertos con tela organdi. Se colocaron 600 granos y 1500 brocas por bandeja para cada tratamiento. Dichas bandejas se ubicaron en estantes metálicos dentro de un ambiente con condiciones de temperatura y humedad controladas (cuarto de desarrollo de la broca). Durante el estudio, la humedad promedio fue de 78,17% y la temperatura promedio de 23,4 °C.

Cada cinco días a partir de la infestación se realizó la disección de 10 granos por bandeja, hasta completar los 30 días. Se registró la cantidad de estados biológicos de la broca: huevos, larvas de primer y segundo instar, pupas y adultos.

### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se tomaron los datos obtenidos a los 25 días después de la infestación de cada tratamiento. Se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis, para los seis tratamientos originados de la combinación de las dos variedades (Typica y Caturra) y los tres niveles de humedad de entrada del café pergamino evaluados (43, 45 y 47%), siendo la variable respuesta la cantidad de estados inmaduros de la broca.

## RESULTADOS

### Análisis de los diferentes estados biológicos

En la tabla 1, se presenta el promedio de huevos de broca por grano, obtenidos en granos de café pergamino de las variedades Typica y Caturra con diferentes niveles de humedad al momento de la infestación. Para ambas variedades de café, a los 5 días después de brocado (DDB) se observaron huevos independientemente de la humedad inicial del café pergamino; sin embargo, se encontró mayor cantidad para los granos de las bandejas de 45%, luego 47% y por último las bandejas de 43% de humedad inicial, manteniéndose este comportamiento hasta los 15 DDB, fecha en la que se observó la mayor cantidad de huevos. A los 20, 25 y 30 DDB descendió la oviposición. La variedad Typica presentó en la mayoría de las evaluaciones, un promedio de huevos de broca por grano de café pergamino más alto que la variedad Caturra.

**Tabla 1.** Promedio de huevos de *Hypothenemus hampei* por grano de café pergamino brocado, con diferente humedad al momento de la infestación, para las variedades Typica y Caturra

Variedad	% Humedad inicial del café	Tiempo (Días después de brocado)					
		5	10	15	20	25	30
Typica	43	3,6	14,2	14,5	1,5	0,9	0,5
	45	5,2	18,4	26,7	2,1	1,2	0,2
	47	4,4	17,0	18,9	2,4	1,1	0,2
Caturra	43	3,6	13,2	14,0	1,5	0,9	0,4
	45	4,7	17,5	20,1	1,9	1,1	0,2
	47	4,3	16,5	18,2	2,0	1,1	0,2

En la tabla 2, se presentan los promedios de larvas de primer instar, encontrados en granos de café pergamino brocados. Tanto en la variedad Typica como en la Caturra, a los 10 DDB se observó la presencia de larvas de primer instar en todos los tratamientos; en las siguientes evaluaciones se va incrementando el valor hasta los 20 DDB, donde se concentra la mayor producción de larvas de primer instar, siendo el valor máximo 32,1 larvas de primer instar para la variedad Typica y 30,4 para la variedad Caturra. La mayor cantidad de larvas de primer instar se encontró en los granos de las bandejas de 45%, seguido de las de 47% y 43% de humedad inicial, este comportamiento se mantuvo durante todo el ciclo, con excepción de la evaluación a los 10 DDB de la variedad Caturra en la que se observó mayor cantidad de larvas de primer instar en los granos de las bandejas de 47%, seguido de las de 43% y 45% de humedad inicial. En la mayoría de los casos el valor de larvas de primer instar por grano de café de la variedad Typica superó a la variedad Caturra.

A los 15 DDB se observó la aparición de larvas de segundo instar de broca, para las tres humedades y para ambas variedades (tabla 3). A los 25 DDB se encontró la mayor cantidad de larvas de segundo instar, con una mayor producción para las bandejas de 45%, luego 47%,

y en menor producción las bandejas de 43% de humedad inicial. El valor máximo alcanzado por la variedad Typica fue de 13,4 larvas de segundo instar por grano de café y el de la Caturra de 12,3 larvas de segundo instar por grano de café.

Las primeras pupas de broca, tanto para la variedad Typica y Caturra, se observaron a partir de los 25 DDB (tabla 4). Se encontró la mayor cantidad de pupas en los granos de las bandejas de 47%, luego 45% y una menor cantidad en bandejas de 43% de humedad inicial. A los 30 DDB se presentó la mayor cantidad de pupas en las bandejas de 45%, luego 47% y por último las bandejas de 43% de humedad inicial. El valor máximo de pupas por grano de café pergamino brocado para la variedad Typica fue de 8,1 y el de la variedad Caturra de 7,8.

En cuanto a la cantidad de adultos de broca por grano de café pergamino brocado observados en la variedad Typica (tabla 5), este fue aumentando desde los 5 DDB hasta los 15 DDB, en los granos de las bandejas de 43 y 45% de humedad inicial, luego se producen fluctuaciones en cuanto a la cantidad de adultos de broca en el resto de la evaluación, obteniéndose el mayor número de adultos/grano a los 30 DDB en los granos de las bandejas de 45 % de humedad inicial.

**Tabla 2.** Promedio de larvas de primer instar de *Hypothenemus hampei* por grano de café pergamino brocado, con diferente humedad al momento de la infestación, para las variedades Typica y Caturra

Variedad	% Humedad inicial del café	Tiempo (Días después de brocado)					
		5	10	15	20	25	30
Typica	43	0	0,4	7,4	22,4	10,6	5,4
	45	0	0,7	16,5	32,1	17,2	7,2
	47	0	0,5	11,8	28,0	14,8	6,4
Caturra	43	0	0,5	7,2	21,7	9,6	5,2
	45	0	0,4	12,2	30,4	16,1	6,9
	47	0	0,6	10,8	27,3	13,0	6,4

**Tabla 3.** Promedio de larvas de segundo instar de *Hypothenemus hampei* por grano de café pergamino brocado, con diferente humedad al momento de la infestación, para las variedades Typica y Caturra

Variedad	% Humedad inicial del café	Tiempo (Días después de brocado)					
		5	10	15	20	25	30
Typica	43	0	0	0,2	1,9	7,2	5,8
	45	0	0	0,3	5,8	13,4	9,1
	47	0	0	0,3	5,1	10,9	8,1
Caturra	43	0	0	0,1	1,2	7,0	5,6
	45	0	0	0,3	5,5	12,3	8,8
	47	0	0	0,2	4,8	10,3	7,6



**Tabla 4.** Promedio de pupas de *Hypothenemus hampei* por grano de café pergamino brocado, con diferente humedad al momento de la infestación, para las variedades Typica y Caturra

Variedad	% Humedad inicial del café	Tiempo (Días después de brocado)					
		5	10	15	20	25	30
Typica	43	0	0	0	0	1,1	4,9
	45	0	0	0	0	1,3	8,1
	47	0	0	0	0	1,5	7,7
Caturra	43	0	0	0	0	1,0	4,4
	45	0	0	0	0	1,3	7,8
	47	0	0	0	0	1,4	7,1

**Tabla 5.** Promedio de adultos de *Hypothenemus hampei* por grano de café pergamino brocado, con diferente humedad al momento de la infestación, para las variedades Typica y Caturra

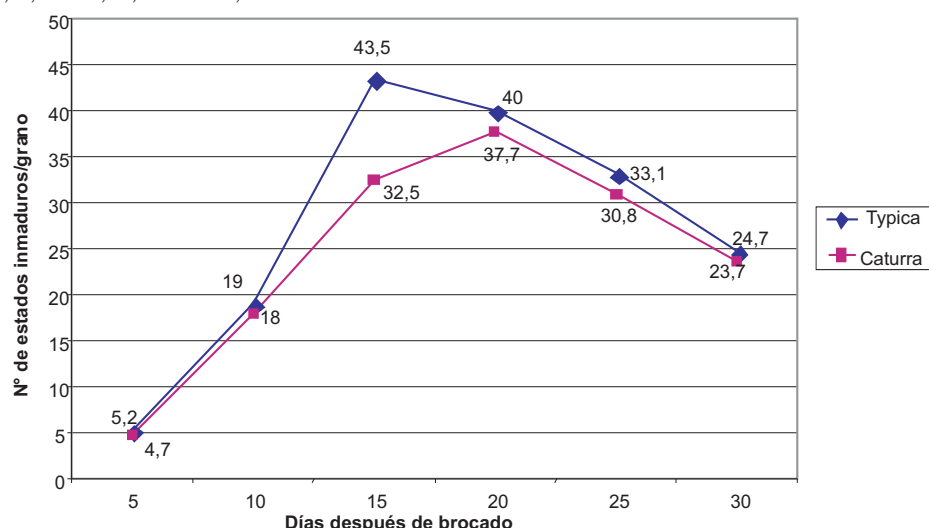
Variedad	% Humedad inicial del café	Tiempo (Días después de brocado)					
		5	10	15	20	25	30
Typica	43	1,6	2,3	3,3	4,1	3,9	5,7
	45	2,1	4,0	5,3	4,5	5,3	7,9
	47	2,0	4,1	4,0	4,7	4,7	6,8
Caturra	43	1,7	2,5	3,3	3,9	4,2	5,8
	45	1,8	3,7	4,4	4,4	5,0	7,5
	47	1,8	3,4	4,0	4,2	4,7	6,8

En el caso de la variedad Caturra, a los 5 DDB la cantidad de adultos de broca observados en los granos de las bandejas de 45 y 47% de humedad inicial fue igual. Se encontró menor cantidad de adultos de broca por grano en las bandejas de 43% de humedad inicial durante todo el ciclo. A medida que trascurrieron los días la cantidad de adultos de broca por grano de café pergamino brocado fue incrementándose.

El valor máximo de adultos de broca por grano de café pergamino brocado fue de 7,5 en los granos de las bandejas de 45% de humedad inicial a los 30 DDB.

En la figura 1, se observa la cantidad total de estados inmaduros de la broca desarrollados en café pergamino de la variedad Typica y Caturra con 45% de humedad inicial. Durante el periodo evaluado, la variedad Typica presentó un mayor número de estados inmaduros, comparada con la variedad Caturra.

Este comportamiento puede ser atribuido al tamaño del grano, el cual es mayor en la variedad Typica. El valor máximo de estados inmaduros por grano para Typica se encontró a los 15 DDB con 43,5 mientras que en la variedad Caturra se encontró a los 20 DDB con 37,7 estados inmaduros/grano.



**Figura 1.** Estados inmaduros de la broca del café encontrados por grano de café pergamino de las variedades Typica y Caturra con 45% de humedad inicial

### Análisis estadístico

En la tabla 6 se presentan los promedios y la desviación estándar de las variables evaluadas, correspondientes a los 25 días después de brocado el café pergamino, con tres niveles de humedad inicial. Se realizó la prueba de normalidad para cada una de las variables: huevos, larvas de primer instar, larvas de segundo instar, pupas, adultos y sumatoria de estados inmaduros, encontrándose como resultado un rechazo en la procedencia de los datos de una distribución normal, lo cual justificó la realización de una prueba no paramétrica, en este caso la de Kruskal-Wallis. Para la variable sumatoria de estados inmaduros se encontró diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

El café pergamino de la variedad Typica con 45% de humedad (T45a) y Caturra con una humedad inicial de 45% (T45b), fueron los tratamientos que presentaron la mayor cantidad de estados inmaduros de la broca en laboratorio.

En el gráfico de caja y bigotes (figura 2) se presentan las medianas para cada uno de los tratamientos, con

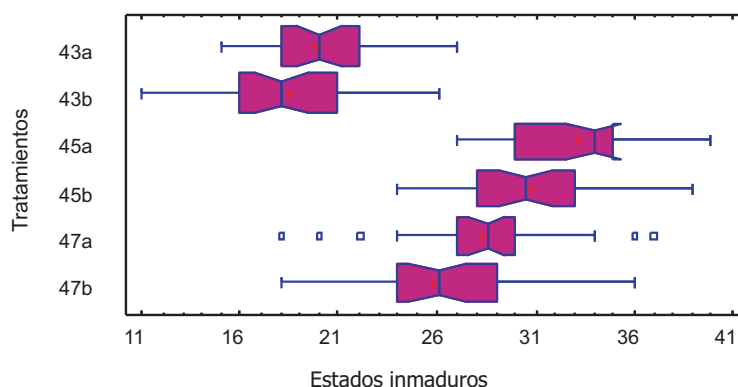
relación a la cantidad de estados inmaduros de broca encontrados por grano.

Los tratamientos 45a (Typica 45% de humedad) y 45b (Caturra 45% de humedad) fueron los que presentaron la mayor cantidad de estados inmaduros de broca en laboratorio, en los tratamientos 43a (Typica 43% de humedad) y 43b (Caturra 43% de humedad) se observó la menor cantidad de estados inmaduros, esto puede deberse a la humedad de entrada del café pergamino la cual es muy baja, y por lo tanto es muy poca la broca que perfora el grano y que coloca huevos. Los tratamientos 47a (Typica 47% de humedad) y 47b (Caturra 47% de humedad) mostraron un comportamiento intermedio.

Los resultados señalan que la humedad óptima del café pergamino para una mayor producción de estados inmaduros de broca en laboratorio es 45%. Los tratamientos de la variedad Typica (43a, 45a y 47a) presentaron mayor cantidad de estados inmaduros, con relación a los tratamientos de la variedad Caturra (43b, 45b y 47b) esto puede ser atribuido al tamaño del grano de la variedad Typica.

**Tabla 6.** Promedios de estados biológicos de la broca  $\pm$  desviación estándar por grano de café pergamino a los 25 días después de brocado

Variedad	% Humedad inicial del café	Huevos	Larvas 1	Larvas 2	Pupas	Adultos
Typica	43	$0,9 \pm 1,2$	$10,6 \pm 1,6$	$7,2 \pm 1,2$	$1,1 \pm 1,2$	$3,9 \pm 1,3$
	45	$1,2 \pm 1,4$	$17,2 \pm 1,6$	$13,4 \pm 2,3$	$1,3 \pm 1,5$	$5,3 \pm 1,9$
	47	$1,1 \pm 1,3$	$14,8 \pm 2,0$	$10,9 \pm 1,8$	$1,5 \pm 1,4$	$4,7 \pm 1,2$
Caturra	43	$0,9 \pm 1,3$	$9,6 \pm 2,0$	$7,0 \pm 1,2$	$1,0 \pm 1,2$	$4,2 \pm 1,3$
	45	$1,1 \pm 1,1$	$16,1 \pm 2,6$	$12,3 \pm 2,0$	$1,3 \pm 1,5$	$5,0 \pm 1,4$
	47	$1,1 \pm 1,4$	$13,0 \pm 2,2$	$10,3 \pm 2,1$	$1,4 \pm 1,5$	$4,7 \pm 1,1$



**Figura 2.** Medianas de los estados inmaduros de la broca del café para los diferentes tratamientos

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La mayor cantidad de huevos de broca en los granos de la variedad Typica se encontró a los 15 DDB, con 26,7 huevos/grano en las bandejas de 45% de humedad inicial (tabla 1), a diferencia de lo señalado por Moreno (2001), quien observó la mayor cantidad de huevos de broca a los 10 DDB y en menor cantidad 8,1 huevos/grano. Se encontró igual comportamiento para la variedad Caturra pero con una menor cantidad de huevos por grano para cada una de las humedades.

Con respecto a las larvas de broca de primer instar para la variedad Typica los resultados coinciden con los de Moreno (2001), quien observó la presencia de dicha fase a los 10 DDB.

A los 20 DDB se encontró la mayor cantidad de larvas de broca de primer instar para las tres humedades, mientras Bustillos *et al.* (1996) encontraron el valor máximo de larvas de primer instar a los 22 días después de la infestación en estudio realizado manteniendo una temperatura de 23,7 °C y 79 % de humedad relativa. Moreno (2001), encontró la mayor cantidad de larvas de primer instar a los 25 DDB.

El comportamiento de la variedad Caturra fue muy similar al de la variedad Typica pero se encontró menor cantidad de larvas de broca de primer instar en todos los tratamientos.

La aparición de larvas de segundo instar, tanto para la variedad Typica y Caturra, ocurrió a los 15 DDB, coincidiendo con los resultados de Moreno (2001), a

diferencia de lo señalado por Bustillos *et al.* (1996) quien señala la aparición de larvas de segundo instar a los 20 DDB.

Para ambas variedades, las primeras pupas de broca en los granos de café pergamino, se observaron a partir de los 25 DDB, coincidiendo con los resultados de Moreno (2001), mientras que Bustillo *et al.* (1996) las observaron a los 24 días. Se encontró menor número de pupas en la variedad Caturra.

En cuanto a la cantidad de adultos para ambas variedades hay una mayor proporción que la observada en los resultados de Moreno (2001), quien encontró un valor máximo de 2,7 adultos promedio/grano.

En la variedad Caturra se incrementó el número de adultos vivos en cada muestreo, pero los valores fueron menores a los de la variedad Typica. El incremento de adultos a los 30 DDB para ambas variedades se explica por la emergencia de la nueva generación.

## CONCLUSIONES

La mayor cantidad de estados inmaduros (huevos, larvas, pupas), de la broca del café se obtuvo con la humedad inicial del café pergamino de 45%, tanto para la variedad Typica como Caturra.

En cuanto a la variedad de café a utilizar para la cría de la broca en laboratorio la variedad Typica resultó ser la mejor al encontrarse en esta la mayor cantidad de estados biológicos.

## AGRADECIMIENTO

Al Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira por el apoyo brindado al Laboratorio de Investigación en Entomopatógenos y Parasitoides (L.I.E.P) para llevar a cabo esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENAVIDES, M. y PORTILLA, M. Uso del café pergamino para la cría de *Hypothenemus hampei* y de su parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* en Colombia. *Cenicafé*. 41 (4): 114-116. 1990.
- BUSTILLOS, A.; OROZCO, J.; BENAVIDES, P.; PORTILLA, M. Producción masiva y uso de parasitoides para el control de la Broca del Café en Colombia. *Cenicafé*. 47 (4):215-230. 1996.
- BUSTILLOS, A. El papel del control biológico en el manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 29 (110): 55-68. 2005.
- BUSTILLOS, A. El control biológico como un componente en un programa de manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* en Colombia. *Memorias del Simposio Broca del Cafeto, XX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN)*. Cali, Colombia. pp. 159-164. 1993.
- BUSTILLOS, A.; CARDENAS, R.; VILLALBA, D.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. *Centro Nacional de Investigaciones de Café*. Chinchiná, Colombia, 134 p. 1998.
- CÁRDENAS, M. Estudio de la biología, fluctuación poblacional y distribución vertical de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae), en Bramón. Estado Táchira. Venezuela. Tesis de maestría en Entomología. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 88p. 2008.
- FAO. Determinación de la humedad del grano, manual de manejo poscosecha a nivel rural. 1993. En: [www.fao.org/docrep/X5027S/x5027S02.htm](http://www.fao.org/docrep/X5027S/x5027S02.htm) Fecha de consulta: 16/5/2006.
- MORENO, R. Evaluación de diferentes tipos de bandejas para la multiplicación de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari en pruebas de laboratorio. Trabajo de grado Ing. Agr. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, Venezuela. 73 p. 2001.
- OROZCO, J. Parasitoides de origen africano para el control de la broca del café. *Centro Nacional de Investigaciones de Café. Memorias del curso internacional teórico-práctico sobre entomopatógenos, parasitoides y otros enemigos de la broca del café*. Chinchiná, Colombia. pp. 71-79. 2002.



# CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICO QUÍMICA DEL FERMENTO UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DEL PAN ANDINO EN VENEZUELA

(Microbiological and physic chemical characterization of the ferment used in the elaboration of the Andean Bread in Venezuela)

<sup>1</sup>Vonasek, S.; <sup>2</sup>Zambrano, M.

<sup>1</sup>Decanato de Postgrado. <sup>2</sup> Decanato de Investigación,  
Universidad Nacional Experimental del Táchira, (UNET)  
San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela,

Correos Electrónicos: [susanavonasek@hotmail.com](mailto:susanavonasek@hotmail.com); [mezambra@unet.edu.ve](mailto:mezambra@unet.edu.ve)

## RESUMEN

En la elaboración del pan andino se emplea un fermento, al cual se cree, se debe en parte sus características organolépticas, por lo que se realizó la caracterización microbiológica y físico-química del fermento utilizado en la fermentación de masas del pan andino elaborado en Venezuela, recolectándose dos muestras de fermento y dos muestras de harina en dos establecimientos (A y B) durante dos semanas, para un total de 16 muestras. Se efectuó el recuento en placas de Petri de aerobios totales en agar triptona glucosa extracto de levadura, levaduras y mohos en agar papa dextrosa con cloramfenicol y bacterias ácido lácticas (BAL) en agar De Man Rogosa y Sharpe. Se identificaron levaduras y BAL en base a la morfología, características de cultivo, pruebas fisiológicas y fermentación de carbohidratos. Los recuentos de aerobios mesófilos, mohos, levaduras y BAL fueron elevados en las muestras de fermento de los establecimientos A ( $>300 \times 10^5$  a  $13 \times 10^6$ ;  $2 \times 10^4$  a  $1 \times 10^6$ ;  $>100 \times 10^5$  a  $55 \times 10^6$ ;  $>150 \times 10^5$  a  $>150 \times 10^6$  UFC/ml, respectivamente) y B ( $>300 \times 10^5$  a  $58 \times 10^6$ ;  $1 \times 10^4$  a  $3 \times 10^6$ ;  $>100 \times 10^5$  a  $46 \times 10^6$ ;  $>150 \times 10^5$  a  $>150 \times 10^6$  UFC/ml, respectivamente), en el primer y segundo muestreo. Del fermento en ambos establecimientos se identificaron cepas de los géneros *Lactobacillus*, *Streptococcus* y *Saccharomyces*. También se evaluó el pH, el porcentaje de acidez, sólidos solubles y alcohol, comprobándose la acidez del fermento, la presencia de azúcares y alcohol.

**Palabras Clave:** Pan andino, fermentación, bacterias ácido lácticas, levaduras.

## ABSTRACT

In the elaboration of the Andean Bread a ferment is employed, to which is believed is the cause of its organoleptic characteristics, for which the microbiological and physic chemical characterization of the ferment used to ferment the masses of the Andean Bread in Venezuela was carried out, and two samples of ferment and two samples of flour in two establishments (A and B) were collected during two weeks, for a total of 16 samples. The count in plate of Petri of mesophylic aerobes total in of agar triptone glucose extract of yeasts agar was performed, yeasts and molds in potato dextrose agar with cloramfenicol and acid lactic bacteria (BAL) in De Man Rogosa and Sharpe agar. Yeasts and BAL were identified based on the morphology, crop characteristics, physiological and fermentation of carbohydrates tests. The counts of mesophylic aerobes, molds, yeasts and BAL were put high in the samples of ferment of the establishments A ( $> 300 \times 10^5$  to  $13 \times 10^6$ ;  $2 \times 10^4$  to  $1 \times 10^6$ ;  $> 100 \times 10^5$  to  $55 \times 10^6$ ;  $> 150 \times 10^5$  to  $> 150 \times 10^6$  UFC/ml, respectively) and B ( $> 300 \times 10^5$  to  $58 \times 10^6$ ;  $1 \times 10^4$  to  $3 \times 10^6$ ;  $> 100 \times 10^5$  to  $46 \times 10^6$ ;  $> 150 \times 10^5$  to  $> 150 \times 10^6$  UFC/ml, respectively), in the first and second sampling. From the ferment in both establishments stumps of the kinds were identified *Lactobacillus*, *Streptococcus* and *Saccharomyces*. Also the pH was evaluated, the percentage of acidity, soluble solids and alcohol, being verified the acidity of the ferment, the presence of sugars and alcohol.

**Key Words:** Andean bread, fermentation, acid lactic bacteria and yeasts.

## INTRODUCCIÓN

En la elaboración del pan andino de la ciudad de San Cristóbal, estado Táchira, se utiliza el “guarapo” como un agente especial de fermentación, y el mismo es el resultado de la mezcla de harina de trigo, panela o azúcar, agua, levadura comercial para panificación y otros ingredientes que varían de acuerdo con la receta de cada establecimiento y se emplea como inóculo madre. Tal como señala Coelho (2003), al afirmar que este fermento, no controlado biológicamente y también llamado comúnmente “pipa” o “talvina” se usa en muchas panaderías de los Andes, y es preparado la noche anterior para ser usado como “levadura madre” a la mañana siguiente.

Del mismo no se ha realizado estudios de su perfil microbiológico. Por lo que se planteó este trabajo cuyo objetivo fue la caracterización microbiológica y fisico-química del fermento utilizado en la fermentación de masas del pan andino elaborado en algunas panaderías de San Cristóbal, estado Táchira, que permita contribuir con la normalización del mismo.

Desde tiempos remotos distintos pueblos han utilizado diversos fermentos para levar masas de pan. Según Biocity (2002), existe constancia de la fabricación de pan y de la utilización de levaduras desde el año 2300 A. C., en que los egipcios descubrieron de forma casual el proceso de la fermentación.

Quizás el trabajo más significativo sobre el estudio de flora microbiana involucrada en la elaboración de pan, es el aislamiento y caracterización de las especies bacterianas no descritas responsables de la actividad ácida del pan de masa ácida de San Francisco, realizado por Kline y Sugihara, citado por el National Center for Biotechnology Information (2002).

Al respecto, Salandha (2002), señala que se han realizado varios estudios sobre la flora microbiana natural de las masas ácidas alrededor del mundo y en términos de entender las bases de la simbiosis entre la levadura y el lactobacilo, el estudio más exitoso ha sido el de Sugihara y sus colegas, quienes demostraron que a pesar de la existencia de diversas variedades de levaduras y lactobacilos, la levadura dominante era una variedad no formadora de esporas de *Saccharomyces exiguus*, llamada *Torulopsis holmii* y ahora reclasificada como *Candida milleri* sp. nov. y el lactobacilo dominante era una nueva especie bautizada como *Lactobacillus sanfrancisco* sp. nov. Así mismo, Board (1988) afirma: "*Lactobacillus sanfrancisco*, *S. exiguus* y *S. inisitatus* son responsables de la fermentación de los carbohidratos de la masa ácida de pan".

De igual forma, Kavanagh (2002), señala que todos los iniciadores estables de masas ácidas son una mezcla simbiótica de levaduras y bacterias que mediante ese gusto mutuo por los sub - productos del otro mantienen la mezcla estable en el tiempo sin ser relativamente afectada por otras levaduras salvajes y bacterias que podrían instalarse en la mezcla.

En el caso de la “masa ácida de San Francisco” el protagonista se ha identificado como *Lactobacillus sanfrancisco* (la bacteria) y *Saccharomyces exiguus* (la levadura). Estos dos actores al parecer son comunes en el aire del área de la bahía de San Francisco, y por lo tanto los iniciadores contienen estos microorganismos en abundancia.

También es importante mencionar la caracterización microbiológica del pan ácido de centeno Alemán, realizado por Spicher, citado por Salandha (2002). Spicher encontró que las especies de levadura predominantes era *Candida krusei*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia saitoi* y *Candida milleri*. Los lactobacilos incluyen *L. brevis*, *L. casei*, *L. fermenti*, *L. pastorianus*, *L. buchneri*, *L. delbrueckii*, *L. leichmannii*, *L. acidophilus*, *L. farciminis*, *L. alimentarius*, *L. brevis* var. *lindneri*, *L. fermentum*, *L. fructivorans* y *L. Pediococcus L. acidilactici*.

## MÉTODO

### Muestreo y métodos de siembra para recuento de microorganismos

La toma de muestras se realizó en dos establecimientos denominados panaderías (A y B) del municipio San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela. En cada panadería se recolectó un total de 4 muestras de guarapo o fermento y 4 muestras de harina de trigo, en un día específico de dos semanas, para un total de 16 muestras. Las muestras debidamente identificadas se trasladaron al Laboratorio de Investigaciones Microbiológicas de la Universidad Nacional Experimental del Táchira y se procedió a realizar la homogenización de las muestras, preparación de las diluciones desde  $10^{-1}$  a  $10^{-6}$  y siembra en placas de Petri para el recuento de aerobios totales en agar triptoná glucosa extracto de levadura (TYE) (COVENIN 902, 1987); levaduras y mohos en agar papa dextrosa con cloramfenicol(PDA) (COVENIN 1337, 1990) y bacterias ácido lácticas (BAL) en agar De Man Rogosa y Sharpe (MRS) (Roberts *et al.*, 2000 y MERCK, 1990).

Las placas se incubaron a 32°C durante 48 horas, para recuento de aerobios mesófilos y bacterias ácido lácticas; y a temperatura ambiente por 5 días para mohos y levaduras. Finalizado el tiempo de incubación, se procedió al recuento estándar en placas de las colonias, y los resultados se expresaron multiplicando el número de colonias por la dilución, obteniéndose las unidades formadoras de colonia por mililitro (UFC/ ml).

### **Aislamiento e identificación de bacterias ácido lácticas**

Como lo indican Buchanan y Gibbons (1974), Fenton (1987) y Tjandraatmadja *et al.* (1990), a partir de las placas con agar MRS, utilizadas para el recuento de bacterias ácido lácticas se seleccionaron quince colonias o cepas para realizar una serie de pruebas para la identificación, las cuales se describen a continuación:

Empleando los términos descriptivos de las colonias en el manual Bergey de Bacteriología Determinativa (Holt *et al.*, 1994) tales como: color, opacidad, forma, elevación y características de los bordes, se estudio la apariencia de las colonias aisladas y se transfirieron a tubos de ensayo inclinados con agar MRS para obtener sub-cultivos puros.

Posteriormente, se aplicó la técnica de tinción de Gram a los sub- cultivos para observar la morfología, agrupación y pureza. A continuación, se realizaron pruebas bioquímicas a los cultivos que presentaron la morfología de bacilos o cocos Gram positivos, catalasa negativos, se ensayó con las siguientes pruebas:

**Pruebas fisiológicas:** Para estas pruebas se aplicó la metodología sugerida por Tjandraatmadja *et al.* (1990), determinándose la habilidad para crecer en medio MRS a 10°C y 45°C, en presencia de NaCL al 6,5 % y NaCL al 18 %, a pH 4,4 y pH 9,6; con teepool al 0,4 %, producción de NH<sub>3</sub> a partir de la arginina e hidrólisis de la esculina. A tal efecto, se sembró cada uno de los medios con una ansada o inóculo de un cultivo de 18 horas del microorganismo problema, incubándose por 24-48 horas y los tubos positivos se confirmaron por la presencia de turbidez. La producción de NH<sub>3</sub> a partir del medio MRS con arginina al 3 % se determinó al adicionar una gota del reactivo Nessler al tubo de ensayo con el cultivo.

Un color amarillo demostró la presencia de amonio libre y la consecuente desaminación de la arginina. Para la hidrólisis de la esculina se uso el medio basal con cloruro férrico amónico al 0,05 % y esculina al 0,5 %. La hidrólisis de la esculina se consideró positiva por la aparición de un color negro indicando la reducción del cloruro férrico amónico.

**Fermentación de carbohidratos:** Siguiendo la metodología de Harrigan y McCance (1968) y Mac Faddin (1980), para esta prueba se usaron 90 ml de medio MRS base con rojo de fenol al 0,04 %, se esterilizó en el autoclave y se dividieron en cinco porciones; posteriormente se agregó a cada una de éstas, 5% de carbohidrato: glucosa, maltosa, lactosa, sacarosa y manitol, esterilizados por filtración Millipore, cada solución de carbohidrato se distribuyó asépticamente en tubos de ensayo a razón de 5 ml, posteriormente se inoculó cada tubo con la suspensión bacteriana 0,04 ml del cultivo en caldo MRS, utilizando para ello una micropipeta, y se incubaron a 37°C por 48 horas. La fermentación del carbohidrato se consideró positiva por un viraje del indicador rojo de fenol a amarillo indicando la producción de ácido.

Los resultados obtenidos para cada una de las cepas ensayadas, se compararon con las tablas de diferenciación para lactobacilos reportadas por Castillo (2004); Roos, *et al.* (2000); y por Naylor y Sharpe, (1958); Sharpe (1962), citados por Harrigan y McCance (1968). Mientras que las cepas con morfología de cocos Gram positivos se identificaron con las tablas sugeridas por García *et al.* (1993).

### **Aislamiento e identificación de levaduras**

Para la identificación de las levaduras se seleccionaron varias colonias que crecieron en las placas con agar PDA utilizadas para el recuento de mohos y levaduras, las cuales se transfirieron a placas de Petri con agar PDA con cloranfenicol y se incubaron a 20 – 25 °C por 3 a 5 días. Luego se evaluaron las características de las colonias, tales como: forma, borde, consistencia y color; morfología de las células mediante frotis teñidos con los colorantes de Gram. Así como, microcultivo y pruebas de fermentación de carbohidratos. En este sentido, el microcultivo (también conocido como cultivo en portaobjeto) se preparó mediante el método recomendado por Pellizzari (2004), Casas (1989) y Harrigan y McCance (1968). Mientras, que la fermentación de carbohidratos se llevó a cabo con la metodología recomendada por MERCK (1990) y Mac Faddin (1980), empleándose caldo Saboraud rojo de fenol con 2% de cada uno de los siguientes carbohidratos: glucosa, sacarosa, lactosa y maltosa. Los mismos se sembraron con una ansada proveniente de un cultivo en caldo Saboraud de la cepa problema (mantenida a 20 - 25°C por 3 – 5 días), incubándose a 25°C por 48 horas. La prueba se consideró positiva por el viraje del indicador rojo de fenol a amarillo, indicando la fermentación del carbohidrato con producción de ácido. Los resultados se compararon con

las claves de identificación para levaduras reportadas por Harrigan y McCance (1968).

### Análisis físico-químicos

Los análisis físico-químicos del guarapo o fermento se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos y de Introducción a la Tecnología de Alimentos del Instituto Universitario de Tecnología Región Los Andes, ubicado en la ciudad de San Cristóbal, estado Táchira. A tal efecto, la acidez iónica o pH del guarapo o fermento se midió con un pH-metro, utilizando el método descrito en la norma venezolana COVENIN 1315 (1979) y la acidez titulable se determinó mediante el método de titulación ácido base, empleando como reactivo base la solución de NaOH al 0,1N y fenolftaleína como indicador (COVENIN 1151, 1977). Por otro lado, el porcentaje de sólidos solubles se midió con un refractómetro y los resultados se expresaron en grados Brix (COVENIN 924, 1983).

Mientras que el porcentaje de alcohol se determinó con una destilación utilizando el método de Kirk *et al.* (2000) para determinar el porcentaje de alcohol en vinos.

### Análisis estadístico

Se aplicaron métodos estadísticos descriptivos, involucrando medidas de tendencia central como la media. También, se utilizaron tablas y gráficos para la presentación de los resultados de los recuentos microbianos y pruebas bioquímicas para la identificación.

## RESULTADOS

### I. Recuentos de microorganismos en muestras de guarapo o fermento y en la harina de trigo

Los resultados obtenidos se pueden observar en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Resultados del recuento de aerobios mesófilos, mohos, levaduras y bacterias ácido lácticas en muestras de guarapo de los establecimientos A y B en San Cristóbal, estado Táchira. 2005

Establecimiento	A				B			
Muestreo	Primer muestreo		Segundo muestreo		Primer muestreo		Segundo muestreo	
Código de la muestra	AG1 (ufc/ml)	AG2 (ufc/ml)	BG1 (ufc/ml)	BG2 (ufc/ml)	BG1 (ufc/ml)	BG2 (ufc/ml)	BG1 (ufc/ml)	BG2 (ufc/ml)
Aerobios mesófilos	>300x10 <sup>5</sup>	>300x10 <sup>5</sup>	165x10 <sup>6</sup>	13x10 <sup>6</sup>	280x10 <sup>5</sup>	>300x10 <sup>5</sup>	58 x 10 <sup>6</sup>	76 x 10 <sup>6</sup>
Mohos	3 x 10 <sup>5</sup>	2 x 10 <sup>4</sup>	1 x 10 <sup>6</sup>	<1 x 10 <sup>4</sup>	1 x 10 <sup>4</sup>	1 x 10 <sup>4</sup>	<1 x 10 <sup>6</sup>	3 x 10 <sup>6</sup>
Levaduras	>100x10 <sup>5</sup>	>100x10 <sup>5</sup>	55x10 <sup>6</sup>	79x10 <sup>6</sup>	>100x10 <sup>5</sup>	>100x10 <sup>5</sup>	46 x 10 <sup>6</sup>	11 x 10 <sup>6</sup>
Bacterias ácido lácticas	>150x10 <sup>5</sup>	>150x10 <sup>5</sup>	>150x10 <sup>6</sup>	10x10 <sup>6</sup>	>150x10 <sup>5</sup>	>150x10 <sup>5</sup>	123x10 <sup>6</sup>	>150x10 <sup>6</sup>

N= 2

**Tabla 2.** Resultados del recuento de aerobios mesófilos, mohos, levaduras y bacterias ácido lácticas en muestras de harina de los establecimientos A y B en San Cristóbal, estado Táchira. 2005

Establecimiento	A				B			
Muestreo	Primer muestreo		Segundo muestreo		Primer muestreo		Segundo muestreo	
Código de la muestra	AH1 (ufc/g)	AH2 (ufc/g)	BH1 (ufc/g)	BH2 (ufc/g)	BH1 (ufc/g)	BH2 (ufc/g)	BH1 (ufc/g)	BH2 (ufc/g)
Aerobios mesofilos	13x10 <sup>2</sup>	20x10 <sup>2</sup>	29 x 10 <sup>2</sup>	31x10 <sup>1</sup>	14 x 10 <sup>2</sup>	6 x 10 <sup>2</sup>	58 x 10 <sup>2</sup>	45 x 10 <sup>2</sup>
Mohos	12x10 <sup>1</sup>	9 x 10 <sup>1</sup>	8 x 10 <sup>1</sup>	6 x 10 <sup>1</sup>	19 x 10 <sup>1</sup>	18x10 <sup>1</sup>	33 x 10 <sup>3</sup>	30 x 10 <sup>2</sup>
Levaduras	2 x 10 <sup>1</sup>	1 x 10 <sup>1</sup>	10 x 10 <sup>1</sup>	4 x 10 <sup>1</sup>	1 x 10 <sup>3</sup>	4 x 10 <sup>1</sup>	15 x 10 <sup>3</sup>	22 x 10 <sup>2</sup>
Bacterias ácido lácticas	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	34 x 10 <sup>2</sup>	43x10 <sup>2</sup>	>150x10 <sup>5</sup>	57x10 <sup>2</sup>	69 x 10 <sup>3</sup>	86 x 10 <sup>2</sup>

N= 2



## II. Aislamiento e identificación de las bacterias ácido lácticas en el guarapo y la harina

**Tabla 3.** Resultados de las pruebas fisiológicas y fermentación de carbohidratos para bacterias lácticas aisladas del guarapo en establecimiento A en San Cristóbal, estado Táchira. 2005

Pruebas bioquímicas	Cepas de BAL						
Pruebas fisiológicas	1	2	3	4	5	6	7
Cultivo a 10 °C	-	-	-	-	-	-	*
Cultivo a 45 °C	-	-	-	-	-	-	*
Cultivo en presencia de NaCl 6,5%	-	-	-	-	-	-	*
Cultivo en presencia de NaCl 18 %	-	-	-	-	-	-	*
Cultivo a pH 4,4	+	+	+	+(120h)	+	+	*
Cultivo a pH 9,6	-	-	-	-	-	-	*
Cultivo en presencia de Teepool 0,4%	-	-	-	-	-	-	*
Producción de NH <sub>3</sub> (arginina)	+(72 h)	+	+	+	+	+	*
Hidrólisis de la esculina	-	-	-	-	+ 120 h	+	*
<b>Fermentación de CHOS<sup>3</sup></b>							
Glucosa	+ <sup>1</sup>	+ <sup>1</sup>	+ <sup>2</sup>	+ <sup>2</sup>	+ <sup>2</sup>	+ <sup>2</sup>	*
Maltosa	+	+	+	+	+	+	*
Lactosa	-	-	+	+	+	+	*
Sacarosa	+	+	+	+	+	+	*
Manitol	-	+(72h)	+	+	+	+	*
<b>Género</b>	Strep.	Strep.	Lact.	Lact.	Lact.	Lact.	Lact.

<sup>1</sup>= con gas <sup>2</sup>=sin gas Strep.=*Streptococcus* Lact.=*Lactobacillus* <sup>3</sup>=carbohidratos

\*= No se observó crecimiento en los cultivos posteriores en caldo MRS para la pruebas bioquímicas. Son bacilos Gram positivos, catalasa negativa ubicándose en el género *Lactobacillus*.

**Tabla 4.** Resultados de las pruebas fisiológicas y fermentación de carbohidratos para bacterias lácticas aisladas del guarapo en establecimiento B en San Cristóbal, estado Táchira. 2005

Pruebas fisiológicas	Cepas de BAL						
	8	9	10	11	12	13	14
Cultivo a 10 °C	-	-	-	-	-	-	-
Cultivo a 45 °C	-	-	-	-	-	-	-
Cultivo en presencia de NaCl 6,5%	-	-	-	-	-	-	-
Cultivo en presencia de NaCl 18 %	-	-	-	-	-	-	-
Cultivo a pH 4,4	-	+(120h)	+(72h)	+(120h)	+	+(120h)	+(120h)
Cultivo a pH 9,6	-	-	-	-	-	-	-
Cultivo en presencia de Teepool 0,4%	-	-	-	-	-	-	-
Producción de NH <sub>3</sub> (arginina)	+	+	+	-	+(72h)	+(72h)	-
Hidrólisis de la esculina	-	+(72h)	+(72h)	-	-	+(72h)	-
<b>Fermentación de CHOS</b>							
Glucosa	+ <sup>1</sup>	+ <sup>1</sup>	+ <sup>1</sup>	+ <sup>1</sup>	+ <sup>2</sup> (120h)	+ <sup>1</sup>	+ <sup>1</sup> (120h)
Maltosa	+	+	+	+	+	+	+(120h)
Lactosa	+	+	+	-	-	+	-
Sacarosa	+	+	+	+	+	+	+(120h)
Manitol	+	+	+	-	-	+	-
<b>Género</b>	Lact <sup>3</sup> .	Lact.	Lact.	Strep <sup>4</sup> .	Strep.	Lact.	Lact.
<b>Especie</b>						<i>L. casei</i>	<i>L. acidophilus</i>

<sup>1</sup>= sin gas <sup>2</sup>= con gas a 120h Lact<sup>3</sup>=*Lactobacillus* Strep<sup>4</sup>=*Streptococcus* CHOS=carbohidratos

### III. Aislamiento e identificación de cepas de levaduras aisladas del medio PDA provenientes de muestras de guarapo y harina de los establecimientos A y B

**Tabla 5.** Resultados de las características microscópicas, de cultivo y pruebas de fermentación de carbohidratos de cepas de levaduras aisladas de muestras de guarapo y harina de los establecimientos A y B en San Cristóbal, estado Táchira. 2005

Cepa	Características	Lactosa	Glucosa	Maltosa	Sacarosa	Género
1G	Células Gram + ovaladas, asporógenas.	-	+	+	+	<i>Saccharomyces</i>
2G		-	+	-	+	
3G		-	+	+	+	
4G		-	+	+	+	
5 H	Colonias circulares, blancas o color crema, consistencia oleosa.	-	+	+	+	
6G		-	+	+	+	
7G		-	+	+	+	
8G		-	+	+	+	
9G		-	+	+	+	
10G		-	+	-	+	

G = guarapo H = Harina - = negativo + = positivo

\* No se aislaron cepas de levaduras de muestras de harina del establecimiento B

### IV. Resultados de los análisis físico-químicos del fermento.

**Tabla 6.** Resultados de las pruebas físico químicas del fermento

Establecimiento	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2
	pH	pH	% sólidos solubles	% sólidos solubles	% Acidez titulable	% Acidez titulable
A	2,7	3,52	4,75	5,0	0,54	0,53
B	3,0	4,12	34,0	33,5	0,61	0,70

Se obtuvo 2,5 % de alcohol en las muestras de guarapo de ambos establecimientos.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### I. Recuentos de microorganismos en muestras de guarapo o fermento y en la harina de trigo

En la tabla 1, se observa que los recuentos de aerobios mesófilos, mohos, levaduras y BAL fueron elevados en las muestras del guarapo o fermento de los establecimientos A ( $>300 \times 10^5$  a  $13 \times 10^6$ ;  $2 \times 10^4$  a  $1 \times 10^6$ ;  $>100 \times 10^5$  a  $55 \times 10^6$ ;  $>150 \times 10^5$  a  $>150 \times 10^6$  UFC/ml, respectivamente) y B ( $>300 \times 10^5$  a  $58 \times 10^6$ ;  $1 \times 10^4$  a  $3 \times 10^6$ ;  $>100 \times 10^5$  a  $46 \times 10^6$ ;  $>150 \times 10^5$  a  $>150 \times 10^6$  UFC/ml, respectivamente), en el primer y segundo muestreo. Estos resultados indican que en el guarapo se lleva a cabo un proceso de fermentación no controlado donde la fuente de estos microorganismos es la misma materia prima (harina, azúcar y/o panela), aire, equipos y utensilios donde se prepara el guarapo y el inóculo madre, que no es más que una porción del mismo guarapo de la preparación del día anterior. Además, otra

fuerza de BAL la constituyen los productos lácteos como leche, suero, quesos y otros, empleados en la elaboración de panes. Donde las levaduras son los microorganismos responsables de la fermentación alcohólica en el guarapo y las bacterias ácido lácticas de la fermentación ácido láctica.

En las muestras de harina (tabla 2), los recuentos de microorganismos aerobios mesófilos, se ubicaron en el rango de  $31 \times 10^1$  a  $29 \times 10^2$  en el establecimiento A, y de  $6 \times 10^2$  a  $58 \times 10^2$  en el establecimiento B. Con respecto al recuento de mohos en las muestras de harina se ubicaron en los rangos de  $6 \times 10^1$  a  $12 \times 10^1$  en el establecimiento A y de  $18 \times 10^1$  a  $33 \times 10^3$  en el establecimiento B. Así mismo las levaduras se ubicaron en los rangos de  $1 \times 10^1$  a  $10 \times 10^1$  en el establecimiento A y  $4 \times 10^1$  a  $15 \times 10^3$  en el B. En cuanto a los recuentos de bacterias ácido lácticas en las muestras de harina del establecimientos A, los rangos se ubicaron de  $<1 \times 10^1$  a  $43 \times 10^2$  y con rangos de  $57 \times 10^2$  a  $>150 \times 10^5$  en el B, constituyendo igualmente una fuente de dichos microorganismos para el guarapo.

## II. Aislamiento e identificación de las bacterias ácido lácticas en el guarapo y la harina

En las tablas 3 y 4 se muestran las cepas seleccionadas y los resultados de las pruebas fisiológicas y de fermentación de carbohidratos para la identificación de bacterias ácido lácticas, luego de efectuadas y observadas las características de cultivo, tinción de Gram y prueba de la catalasa en colonias aisladas en agar MRS en muestras de guarapo de los establecimientos A y B. Como se desprende de las tablas 3 y 4, las cepas seleccionadas, coinciden con la descripción de bacterias lácticas, dado que son Gram positivas, catalasa negativas y presentan formas bacilares y cocáceas; además de acuerdo a las características de cultivo, la mayoría son colonias pequeñas, circulares y convexas de color crema. Estos resultados son similares con lo que afirman, Roberts *et al.* (2000); Salminen (1998); Harrigan y McCance (1968) al mencionar que los *Lactobacillus* son formas alargadas Gram-positivas, que no forman esporas y que se dividen en un solo plano por lo que con frecuencia aparecen en parejas o en cadenas, especialmente en medios líquidos. Con unas cuantas excepciones, no son móviles y son catalasa-negativos.

## III. Aislamiento e identificación de cepas de levaduras aisladas del medio PDA provenientes de muestras de guarapo y harina de los establecimientos A y B

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 5, se deduce que en su mayoría las cepas de levaduras aisladas del guarapo y harina de trigo, de acuerdo a sus características morfológicas, reproductivas y de fermentación de carbohidratos, corresponden a levaduras del género *Saccharomyces*. Lo cual confirma su procedencia a partir de la levadura comercial (*Saccharomyces cerevisiae*) para panificación, que es inoculada al guarapo destinado como fermento para la elaboración del pan andino. Por otro lado, se observó que solo la cepa 2 (establecimiento A) y la cepa 10 (establecimiento B) son diferentes de las demás en cuanto a las pruebas de fermentación efectuadas, aunque iguales entre si, y según lo reportado en el trabajo de Kline y Sigihara, citado por el Nacional Center for Biotechnology Information (2002) pudiera corresponder a una variedad de levadura identificada como *Saccharomyces exiguus*, que no es capaz de fermentar la maltosa, pero sí otros azúcares. Esta especie de levadura ha sido aislada de masas ácidas utilizadas para la elaboración del pan ácido de San Francisco en Estados Unidos de Norteamérica.

## IV. Análisis físico-químicos del fermento

En la tabla 6, se observa que el porcentaje de sólidos solubles de las muestras del establecimiento B, fue muy superior al de las muestras del establecimiento A, sugiriendo que el guarapo B posee más sustrato para llevar a cabo fermentaciones y por ende mayor potencial para producir más alcohol y ácido. Igualmente, los valores de pH en las muestras de guarapo en ambos establecimientos están en la escala de lo ácido y el porcentaje de acidez titulable muestra la presencia de ácidos orgánicos, relacionados con la actividad metabólica de las bacterias ácido lácticas. Por otro lado, la presencia de alcohol comprueba la fermentación alcohólica llevada a cabo por las levaduras.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos pudieron evidenciar recuentos elevados de aerobios mesófilos, mohos, levaduras y bacterias ácido lácticas en el guarapo o fermento utilizado para la elaboración del pan dulce andino, de la ciudad de San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela, indicando que se lleva a cabo un proceso de fermentación no controlado donde existe una elevada carga de bacterias y mohos contaminantes provenientes de la misma materia prima (harina, agua, azúcar y/o panela), aire, equipos y utensilios donde se prepara el guarapo y del inóculo madre proveniente del mismo guarapo de la preparación del día anterior.

En los guarapos o fermentos de los establecimientos A y B se aislaron e identificaron 14 cepas de BAL, de las cuales diez correspondieron al género *Lactobacillus* (71,42%) y cuatro al género *Streptococcus* (28,57%). Mientras que en las muestras de harina sólo se aisló una cepa de *Lactobacillus* en el establecimiento B, corroborando que no es una fuente importante de BAL, y que su procedencia en el guarapo son los productos lácteos utilizados como ingredientes para la elaboración del pan andino. Además se aislaron e identificaron 9 cepas de levaduras provenientes del guarapo de los establecimientos A y B, encontrándose un predominio del género *Saccharomyces*. Así mismo, el pH bajo y la presencia de ácidos orgánicos comprueba la fermentación realizada por las bacterias ácido lácticas. Mientras, que el porcentaje de alcohol demuestra la fermentación alcohólica llevada a cabo por las levaduras. Contribuyendo con las características sensoriales del pan andino.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIOCITY. El pan. (Documento en línea). Disponible: <http://www.biocity.iespana.es/biocity/> (Fecha de consulta: 5/11/2002).
- BOARD, R. Introducción a la microbiología moderna de los alimentos. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A. 1988.
- BUCHANAN, R. y GIBBONS, N. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Baltimore, U.S.A. Williams & Wilkins Co. pp. 576-598. 1974.
- CASAS, R. Guillermo. Micología general. Universidad Central de Venezuela. Ediciones de la biblioteca. Caracas, Venezuela. 1989.
- CASTILLO, J. Lactobacilos. Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos15/lactobacilos/lactobacilos.html>. (Consulta: 2005, Febrero 3). 2004.
- COELHO, Y. El pan andino. Historia y secretos. Millenium. Edición 23. p. 12. 22. San Cristóbal, estado Táchira. Agosto 2003.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) 1151. Norma venezolana. Frutas y Productos Derivados. Determinación de la Acidez. FONDONORMA. Caracas, Venezuela. 1977.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) 1315. Norma Venezolana. Alimentos. Determinación de pH. (Acidez Iónica). FONDONORMA. Caracas, Venezuela. 1979.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) 924. Norma venezolana. Frutas y productos derivados. Determinación de sólidos solubles por refractometría. FONDONORMA. Caracas, Venezuela. 1983.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) 902. Norma Venezolana. Alimentos. Método para recuento de colonias de bacterias aerobias en placas de petri. FONDONORMA. Caracas, Venezuela. 1987.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) 1337. Norma Venezolana. Alimentos. Método para recuento de mohos y levaduras. FONDONORMA. Caracas, Venezuela. 1990.
- FENTON, M. An investigation into the sources of lactic acid bacteria in grass silage. *Journal of applied bacteriology* 62:181-188. 1987.
- GARCÍA, M.; RAMÍREZ, R.; LÓPEZ, A. y CANALES, M. *Biología alimentaria*. México. Editorial Limusa. 1993.
- HARRIGAN, W. y MCCANCE, M. *Métodos de laboratorio en microbiología*. España. Editorial Academia León. 1968.
- HOLT, J.; KRIEG, N.; SNEATH, P.; STALEY, J. y WILLIAMS, S. *Bergey's manual of determinative bacteriology*. Ninth Edition. Williams & Wilkins. Baltimore, U.S.A. 1994.
- KAVANAGH, G; SOURDOUGH, QA. Disponible: <http://www.nyx.net/~dgreenw/sourdoughqa.html> (Fecha de consulta: 5/11/2002).
- KIRK, R.; SAWYER, R. y EGAN, H. Composición y análisis de alimentos de Pearson. México D.F. Compañía editorial continental S.A. 2000.
- MAC FADDIN, T. Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica. Editorial médica panamericana. México. 1980.
- NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. (Documento en línea). Disponible: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/taxonomy/browser/wwwtax.cgi?id=1578> (Consulta: 2002, Noviembre 16). 2002.
- MERCK. Manual de Medios de Cultivos. copyright Editorial Darmstadt. 1990.
- PELLIZZARI, E. *Microbiología general e industrial*. Facultad de (UNNE). Federación de Agroindustrias de la Universidad Nacional del Nordeste de Argentina. Disponible: [http://fai.unne.edu.ar/biologia/micologia/13\\_micologia.htm](http://fai.unne.edu.ar/biologia/micologia/13_micologia.htm). (Consulta: 2005, Abril 7). 2004.
- ROBERTS, D.; HOOPER, W. y GREENWOOD, M. *Microbiología práctica de los alimentos*. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A. 2000.
- ROOS, S.; KARNER, F; AXELSSON, L. y JONSSON, H. *Lactobacillus mucosae* sp. nov., a new species with in Vitro mucus-binding activity isolated from pig intestine. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 50: 251-258. 2000.
- SALANDHA, R. Sourdough QA. Disponible: <http://www.nyx.net/~dgreenw/sourdoughqa.html> (Consulta: 2002, Octubre 5). 2002.
- SALMINEN, S. *Lactic acid bacteria: Microbiology and functional aspects*. New York. Editorial Dekker. 1998.
- TJANDRAATMADJA, M.; NORTON, B. y MAC, R. numerical taxonomic study of lactic acid bacteria from tropical silage. *Journal of applied bacteriology*. 68:543-553. 1990.



# EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ORGÁNICA EN EL RENDIMIENTO DE MORA (*Rubus glaucus Benth*)

(Effect of chemical and organic fertilization in the yield of blackberry (*Rubus glaucus Benth*))

<sup>1</sup>Briceño, W.; <sup>2</sup>Omaña, R.

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agronómica, Decanato de Investigación, Universidad Nacional Experimental del Táchira, (UNET)  
San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela,  
Correos Electrónicos: <sup>1</sup>wbrice@UNET.edu.ve; <sup>2</sup>ronyoswaldo7@hotmail.com

## RESUMEN

Con el fin de evaluar el efecto sobre el rendimiento de la mora (*Rubus glaucus Benth*) de un plan de fertilización, se aplicaron dosis de nitrógeno, potasio, magnesio y abono orgánico. El ensayo se ubicó en la aldea “Los Loros” del municipio Michelena estado Táchira. El diseño fue unifactorial de siete niveles con distribución en campo al azar, los tratamientos constaban de la combinación de dosis de nitrógeno (80 Kg ha<sup>-1</sup> y 120 Kg ha<sup>-1</sup>), potasio (100 Kg ha<sup>-1</sup> y 150 Kg ha<sup>-1</sup>), magnesio (110 Kg ha<sup>-1</sup>, 85 Kg ha<sup>-1</sup>, 52 Kg ha<sup>-1</sup> y 31 Kg ha<sup>-1</sup>) y la aplicación de manera separada de abono orgánico (3 t ha<sup>-1</sup> y 6 t ha<sup>-1</sup>), se realizó tres repeticiones por tratamiento, las cuales constaban de cuatro plantas. Se determinó el peso total acumulado de frutos por parcela. El mejor resultado se obtuvo con la aplicación de 110 Kg ha<sup>-1</sup> de MgO, en el cual se observó un incremento en el rendimiento de un 74% respecto al testigo, el valor de rendimiento obtenido fue de 7.765,12 Kg ha<sup>-1</sup> en el cual se aplicó adicionalmente 120 Kg ha<sup>-1</sup> de N y 100 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, y hubo diferencia estadísticamente significativa (p<0,05). En cuanto al abono orgánico se observó la mejor respuesta con la dosis de 6 t ha<sup>-1</sup> con un rendimiento de 5.497,46 Kg ha<sup>-1</sup>. Así mismo la menor dosis de abono orgánico (3 t ha<sup>-1</sup>) presentó el menor de los rendimientos. Se demostró una alta respuesta a la fertilización química y en especial a la aplicación de fuentes que contengan magnesio, debido a la deficiencia de este elemento en el suelo, así como, la importancia de la nutrición balanceada para el éxito del cultivo.

**Palabras Clave:** Magnesio, nitrógeno, potasio, mora.

## ABSTRACT

With the purpose of establishing fertilization program was carried out a research on the effect of the application of different levels of nitrogen, potassium, magnesium and manure in blackberry Andean (*Rubus glaucus*). The assay was located in “Los Loros” Michelena municipality Táchira state. The design was unifactorial distributed in field in an aleatory way with seven levels, which vary in nitrogen level (80 Kg ha<sup>-1</sup> and 120 Kg ha<sup>-1</sup>), potassium (100 Kg ha<sup>-1</sup> and 150 Kg ha<sup>-1</sup>), magnesium (110 Kg ha<sup>-1</sup>, 85 Kg ha<sup>-1</sup>, 52 Kg ha<sup>-1</sup> and 31 Kg ha<sup>-1</sup>) and manure (3 t ha<sup>-1</sup> and 6 t ha<sup>-1</sup>), applied in two proportions of 50%, and three repetitions for treatment for a total of twenty-one parcels, which consisted of four blackberry Andean plants, sowed at a distance of 3 x 1,5 m. The weight of fruits was determined by parcel. The best results were obtained with the biggest magnesium level (110 Kg ha<sup>-1</sup>) in which the yield was of 7.765,12 Kg ha<sup>-1</sup> with 120 Kg ha<sup>-1</sup> of N and 100 Kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O with p value <0.05 in the test of Duncan. As for the organic matter the best answer was observed with the dose of 6 t ha<sup>-1</sup> with a yield of 5.497,46 Kg ha<sup>-1</sup>. On the other hand, the smallest dose of organic matter (3 t ha<sup>-1</sup>) it presented the smaller than the yields. Even when the nutritional requirements in the blackberry crop are not clearly defined, the present work demonstrated that the fertilization plan bigger yields can be obtained in the cultivation that allows to the producer to obtain bigger revenues diminishing the production costs.

**Key Words:** Magnesium, nitrogen, potassium, blackberry.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de mora representa una alternativa de diversificación agrícola para los pequeños productores. En el actual proceso de apertura comercial y globalización de la economía, este cultivo representa un elemento importante de desarrollo económico ya que en muchas ocasiones con la venta de esta fruta el agricultor es capaz de cubrir las necesidades básicas de su familia. A pesar del gran potencial que presenta su explotación se realiza de manera empírica.

Para el año 1997, según el censo agrícola, el cultivo de mora ocupaba en el estado Táchira una superficie aproximada de 756 ha, con un rendimiento promedio de 7 Kg planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con 11 a 13 t ha<sup>-1</sup>, lo cual es considerablemente bajo respecto a las 30 t ha<sup>-1</sup> obtenidas en Colombia (González y Gómez, 1997).

Los nutrimentos más demandados durante la fase de crecimiento vegetativo son el nitrógeno y el potasio con valores de 7.800 y 3.100 mg por planta de N y K respectivamente. Cercano a la fase de floración la tasa de extracción de estos se incrementa de manera pronunciada (Torres y Visconti, 2002).

Por otra parte Castaño *et al.* (2004), reportan que uno de los elementos que más limita debido a su presencia o no para el desarrollo de la planta fue el calcio. Su ausencia generó sobreproducción de frutos pequeños que no se desarrollaron, achaparramiento de la planta y en términos generales pobre crecimiento y desarrollo. En ausencia del nitrógeno hubo amarillamiento de los limbos foliares, así como un crecimiento nulo de las ramas y para el caso del potasio los síntomas más frecuentes fueron acortamiento de los entrenudos y enrollamiento de las hojas por los bordes con posterior necrosis. El magnesio por su parte generó caída de hojas viejas y en las nuevas reducción del área foliar y mayor susceptibilidad a enfermedades fungosas.

En lo que se refiere a la cantidad a ser suministrada para cubrir las necesidades del cultivo, Rincón y Salas (1983) recomiendan la aplicación de nitrógeno en 50 y 100 Kg ha<sup>-1</sup> en tres dosis al año, recomendando esta práctica debido a que los resultados de rendimiento por hectárea superan ampliamente a los obtenidos en plantaciones comerciales existentes, así mismo, recomiendan la aplicación de fósforo y potasio en dosis de 50 Kg ha<sup>-1</sup> cada uno. Por otra parte, Cabezas *et al.* (2002) destacan que los altos niveles de fertilizantes no son una alternativa viable para los productores, pero que es fundamental fertilizar los cultivos para asegurar el éxito, y recomiendan la aplicación de 100 Kg ha<sup>-1</sup> de fósforo para obtener buenos resultados.

Adicionalmente Franco *et al.* (2000), después de analizar la respuesta de la mora a la fertilización, concluyó que es altamente positiva a dosis elevadas de nitrógeno y potasio. La respuesta a la aplicación de materia orgánica es mayor cuando se aplican altas dosis de nitrógeno y potasio. Por lo anterior sugiere la aplicación de 120 Kg ha<sup>-1</sup> N y 120 Kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O ya que obtuvieron con este tratamiento una producción 3,7 Kg planta<sup>-1</sup> y un promedio de 12,49 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, seguido por la aplicación de 120 Kg ha<sup>-1</sup> N, 40 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0 Kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O con una producción de 10,61 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

En consideración de los bajos rendimientos obtenidos por gran parte de los productores de las zonas altas del estado, se propuso evaluar un plan de fertilización, en el cual se determinó el efecto del nitrógeno, potasio y magnesio, así como la fertilización orgánica sobre el rendimiento del cultivo, de manera de poder establecer recomendaciones que contribuyan al incremento de la producción del rubro.

## MÉTODO

El ensayo se realizó en la aldea Los Loros del municipio Michelena estado Táchira, en una de las unidades de producción de la zona, la cual tiene las siguientes características climáticas: temperatura promedio 20°C, precipitación anual 1520 mm, evaporación anual 1451 mm, zona de vida: Bosque húmedo premontano (B-Hpm), presenta área de relieve con pendientes largas y empinadas mayor a 50%. En cuanto a las características del suelo presenta pH de 4,2, bajo porcentaje de materia orgánica y concentración de Mg, y alta presencia de potasio, con textura Franco Arcillosa.

El diseño fue unifactorial, con distribución al azar de los 7 tratamientos los cuales varían en dosis de nitrógeno, potasio y fertilizante orgánico (Tabla 1). Las unidades experimentales, constaban de cuatro plantas de mora sembradas a una distancia de 3 x 1,5 m. con tres repeticiones por tratamiento para un total de veintiuna parcelas. Se evaluó el rendimiento por parcela.

Antes de la primera fertilización se realizó un muestreo foliar para el respectivo análisis del lote de manera general, tomando como muestra 15 hojas ubicadas en la parte basal del racimo floral con flores en anthesis. Quince días después de realizadas las dos aplicaciones de fertilizantes se realizaron nuevamente muestreos foliares, tomando un promedio de 10 hojas por tratamiento, para determinar el comportamiento de los nutrimentos en el contenido foliar.

**Tabla 1.** Tratamientos de fertilización empleados para la evaluación de la fertilización de mora en la aldea Los Loros, municipio Michelena. Táchira, Venezuela. 2008

Trat	N Kg ha <sup>-1</sup>	K <sub>2</sub> O Kg ha <sup>-1</sup>	FO t ha <sup>-1</sup>
T1	Manejo tradicional del productor		
T2	80	100	
T3	80	150	
T4	120	100	
T5	120	150	
T6			3
T7			6

Trat: tratamiento, FO: fertilización orgánica

## RESULTADOS

Los tratamientos con fertilización química presentaron los más altos valores de rendimiento (Tabla 2), así mismo, se encontró mediante la realización del ANOVA (Tabla 3) un efecto estadístico altamente significativo ( $p < 0,01$ ) de los niveles de fertilización sobre el rendimiento.

Los tratamientos en los cuales se obtuvo el más alto rendimiento según la prueba de medias de Duncan (Tabla 2) fueron el T4 con un rendimiento estimado de

7.765,12 Kg ha<sup>-1</sup> lo cual se logró con la aplicación de 120 Kg ha<sup>-1</sup> de N, 100 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, y 110 Kg ha<sup>-1</sup> de MgO seguido del T5 con un rendimiento de 6.983,39 Kg ha<sup>-1</sup> con la aplicación de 120 Kg ha<sup>-1</sup> de N y 150 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O y 81 Kg ha<sup>-1</sup> de MgO. Los tratamientos 1 y 6 obtuvieron los rendimientos más bajos 4400 y 4500 Kg ha<sup>-1</sup>.

Los tratamientos con las distintas dosis de materia orgánica no mostraron altos rendimientos, sin embargo se observó una diferencia significativa entre las distintas dosis de materia orgánica 3 t ha<sup>-1</sup> y 6 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 2.** Promedios de rendimiento por tratamiento a distintas dosis de N – K<sub>2</sub>O y materia orgánica en el rendimiento del cultivo de mora, en la aldea Los Loros, municipio Michelena. Táchira, Venezuela. 2008.

Trat	Rendimiento (Kg ha <sup>-1</sup> )
4	7765,12 a*
5	6983,39a
2	5662,90b
7	5497,46bc
3	5482,38bc
6	4505,75c
1	4437,65c

\*Tratamientos seguidos con la misma letra no difieren significativamente a un nivel de confianza del 95% de acuerdo a la prueba de Duncan.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Analizada la respuesta del cultivo a la fertilización química y orgánica se evidenció que el nutrimento que

tuvo mayor influencia en el rendimiento fue el Mg. En la figura 1, se aprecia el comportamiento del rendimiento que presentó el cultivo a la aplicación de magnesio y se observó que en el T4 el cual tenía la mayor dosis de

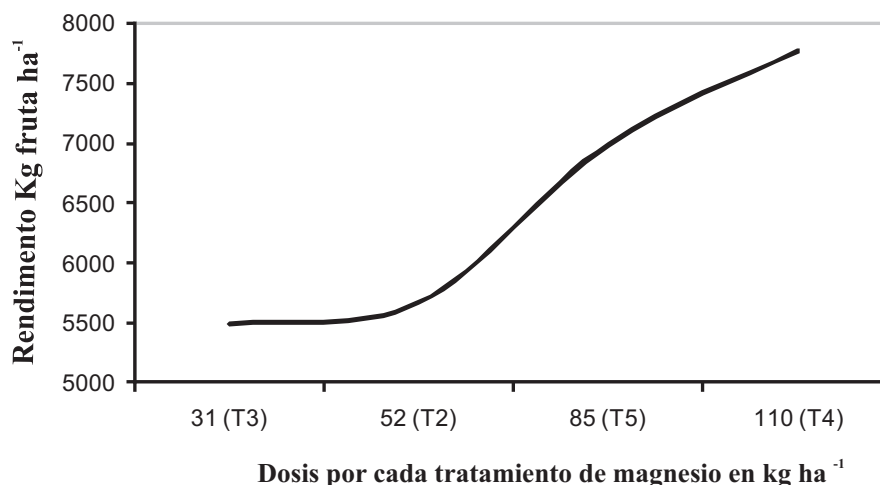
magnesio ( $110 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) se presentó la respuesta más alta, y a medida que disminuyó la cantidad de Mg aplicado el rendimiento también decreció. Adicionalmente se observó que en los tratamientos en los cuales se tiene la mayor dosis de nitrógeno  $120 \text{ Kg ha}^{-1}$  y de potasio  $150 \text{ Kg ha}^{-1}$  también hubo reducción del rendimiento cuando se disminuyó la dosis de magnesio, lo cual indica que el

nutrimento que se encontraba en menor proporción en referencia a los requerimientos del cultivo era el Mg, por tanto limitó la respuesta del cultivo. Por otra parte en el análisis de suelo realizado luego del ensayo, se notó una mejora en la fertilidad, elevando los contenidos de Mg y a su vez estableciendo una relación óptima de Ca/Mg.

**Tabla 3.** Análisis de varianza para rendimiento en  $\text{Kg ha}^{-1}$  de mora bajo distintas dosis de nitrógeno, potasio, magnesio y fertilización orgánica, en la aldea Los Loros, municipio Michelena. 2008

Fuente	Sumas de cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	$2,69831 \times 10^7$	6	$4,49719 \times 10^6$	13,76	0,0000
Intra grupos	$4,57658 \times 10^6$	14	326899,0		
Total (Corr.)	$3,15597 \times 10^7$	20			

Nivel de significancia al 95%. gl grados de libertad



**Figura 1.** Respuesta del rendimiento del cultivo de mora a dosis creciente de magnesio en el municipio Michelena. Táchira. Venezuela



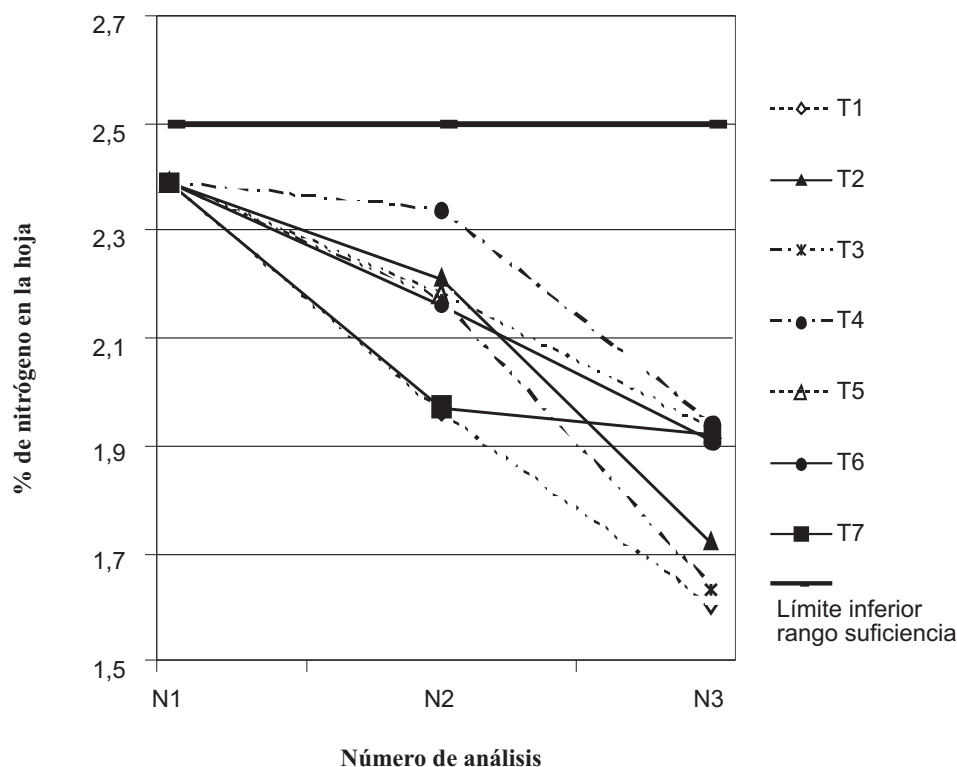
Estos resultados verifican lo obtenido por Torres y Visconti (2002), quienes determinaron la cantidad de absorción de los elementos por parte la planta de mora y establecieron que los nutrientes que son más demandados en orden decreciente son  $N > K > Ca > Mg$ , ratificando alta extracción de Mg y su aporte para el normal desarrollo del cultivo.

Por otra parte los análisis foliares permitieron determinar la absorción que tuvo el cultivo de los elementos suministrados.

En la figura 2 se aprecia el comportamiento de la concentración de nitrógeno en el tejido foliar después de cada fertilización. Se observó que después de la primera fertilización hubo una reducción respecto a la concen-

tración obtenida en el primer muestreo, sin embargo, el nivel más alto de nitrógeno se presentó en el tratamiento con la mayor dosis de nitrógeno ( $120 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) y ese comportamiento se mantiene hasta después de aplicado el total del fertilizante.

El tratamiento que presentó la menor concentración fue el testigo. Se pudo determinar que la cantidad de nitrógeno aplicado en cada uno de los tratamientos fue poco aprovechado por el cultivo, sin embargo, esta reducción se debe quizás a la continua remoción de material vegetal por la práctica de poda en el cultivo y a la extracción en cosecha, que genera una rápida dinámica de este elemento en el manejo de la nutrición.



**Figura 2.** Concentración de nitrógeno en los tratamientos. N1: Análisis antes de fertilización, N2: Análisis después de 1<sup>era</sup> fertilización, N3: Análisis después de 2<sup>da</sup> fertilización. T1: Manejo tradicional, T2:  $80-100-52 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ N, K}_2\text{O y MgO}$ , T3:  $80-150-31 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ N, K}_2\text{O y MgO}$ , T4:  $120-100-110 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ N, K}_2\text{O y MgO}$ , T5:  $120-150-85 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ N, K}_2\text{O y MgO}$ , T6:  $3 \text{ t ha}^{-1} \text{ M.O.}$ , T7:  $6 \text{ t ha}^{-1} \text{ M.O.}$

En la figura 3, se muestra la fluctuación de la concentración de potasio durante el desarrollo del ensayo, nótese como los niveles de potasio en la planta aumentaron en su totalidad en cada uno de los tratamientos después de aplicada la primera fertilización y este incremento fue mayor en los tratamientos en los cuales se aplicó la menor dosis de potasio, sin embargo, esta concentración disminuyó después de la segunda fertilización.

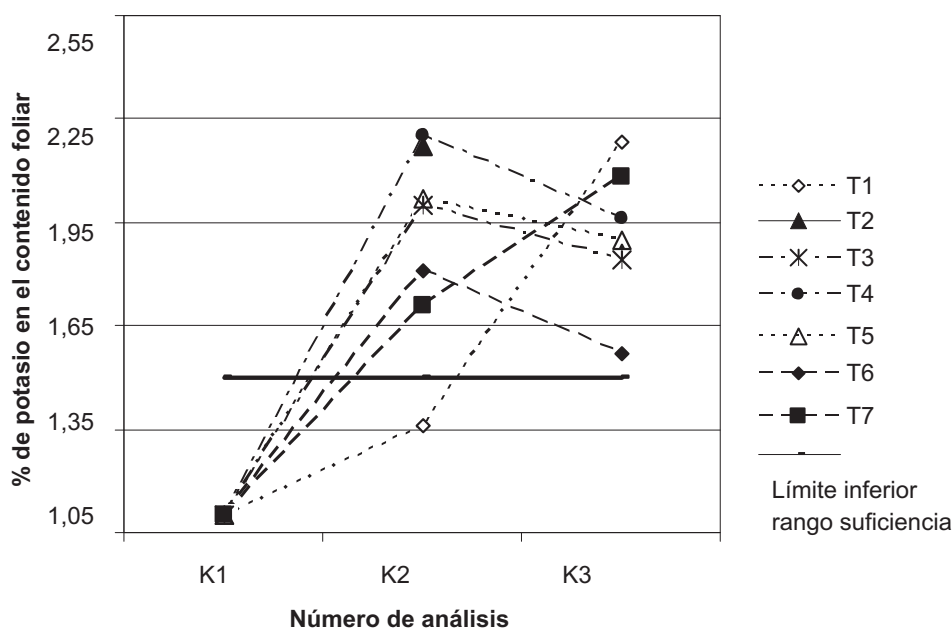
Para la segunda aplicación en aquellos tratamientos en los cuales se adicionó más potasio la concentración foliar del elemento disminuyó, sin embargo en el tratamiento T7 con 6 ton  $\text{ha}^{-1}$  de materia orgánica la concentración del elemento se incrementó notoriamente, esto concuerda con lo observado por Castaño *et al.*, (2004) en el cual los mejores contenidos de potasio lo presentan los tratamientos sin aplicación de magnesio.

A pesar de la disminución que ocurrió en la concentración de potasio después de la segunda fertilización, por efecto del aumento de la dosis de magnesio lo cual generó un efecto antagónico, los

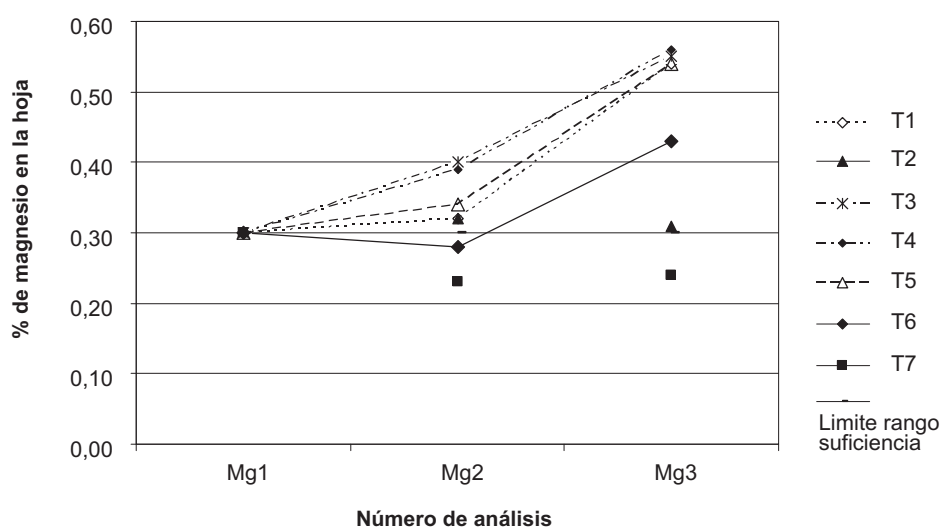
niveles estuvieron dentro del rango de suficiencia de la especie de referencia (*Rubus idaeus*) (Jones *et al.*, 1991).

En la figura 4, se observa el comportamiento del magnesio. Luego de aplicada la primera fertilización, el magnesio no tuvo una variación considerable, después de aplicado el total de la dosis aumentó el nivel de magnesio en los tratamientos en los cuales se aplicó la mayor dosis de magnesio ( $110 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) y ( $85 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) lo cual significa que la planta respondió efectivamente al incremento en la dosis de magnesio, lo cual concuerda con lo señalado por Castaño *et al.*, (2004) que al aumentar las dosis de magnesio existe traslocación de este elemento por el potasio.

Al observar el comportamiento del elemento en los distintos tratamientos se aprecia que aquellos que tuvieron fertilización química, la concentración de magnesio en la planta fue superior a diferencia de los tratamientos con fertilización orgánica.



**Figura 3.** Concentración de potasio en los tratamientos. K1: Análisis antes de fertilización, K2: Análisis después de 1<sup>era</sup> fertilización, K3: Análisis después de 2<sup>da</sup> fertilización. T1: Manejo tradicional, T2: 80-100-52  $\text{Kg ha}^{-1}$  N,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{MgO}$ , T3: 80-150-31  $\text{Kg ha}^{-1}$  N,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{MgO}$ , T4: 120-100-110  $\text{Kg ha}^{-1}$  N,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{MgO}$ , T5: 120-150-85  $\text{Kg ha}^{-1}$  N,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{MgO}$ , T6: 3 t  $\text{ha}^{-1}$  M.O, T7: 6 t  $\text{ha}^{-1}$  M.O. El valor del límite de suficiencia corresponde a *Rubus idaeus* (Jones *et al.*, 1991)



**Figura 4.** Concentración de magnesio en los tratamientos. Mg1: Análisis antes de fertilización, Mg2: Análisis después de 1<sup>ra</sup> fertilización, Mg3: Análisis después de 2<sup>da</sup> fertilización. T1: Manejo tradicional, T2: 80-100-52 Kg ha<sup>-1</sup> N, K<sub>2</sub>O y MgO, T3: 80-150-31 Kg ha<sup>-1</sup> N, K<sub>2</sub>O y MgO, T4: 120-100-110 Kg ha<sup>-1</sup> N, K<sub>2</sub>O y MgO, T5: 120-150-85 Kg ha<sup>-1</sup> N, K<sub>2</sub>O y MgO, T6: 3 t ha<sup>-1</sup> M.O, T7: 6 t ha<sup>-1</sup> M.O. El valor del límite de suficiencia corresponde a *Rubus idaeus* (Jones *et al.*, 1991)

## CONCLUSIONES

Se determinó una respuesta estadísticamente significativa del cultivo de mora ante la fertilización nitrogenada en dosis de 120 Kg ha<sup>-1</sup> ya que los mayores rendimientos se obtuvieron en los tratamientos T4 y T5 con 7.765,12 Kg ha<sup>-1</sup> y 6.983,39 Kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, siendo ésta una dosis apropiada para su aplicación en campo.

Respecto a las dos dosis de potasio evaluadas 100 Kg ha<sup>-1</sup> y 150 Kg ha<sup>-1</sup> se presentó un mayor rendimiento con la dosis de 100 Kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. Con la dosis de 150 Kg ha<sup>-1</sup> hubo una reducción del rendimiento con la aplicación de la mayor dosis, por tanto, en cultivos con alta disponibilidad del elemento en el suelo las dosis no debería sobrepasar los 100 Kg ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>, incluso debieran ser menores.

Al evaluar la respuesta de la mora ante las dosis de fertilizante orgánico 3 t ha<sup>-1</sup> y 6 t ha<sup>-1</sup>, se obtuvo que el mayor rendimiento de estas fue con la dosis de 6 t ha<sup>-1</sup> aunque no fue el mejor tratamiento (T7), es de esperar que al aumentar la dosificación el cultivo pueda expresar su potencial. Además, por la lenta liberación de algunos nutrientes por parte de la materia orgánica es probable que su respuesta en el tiempo se incremente.

Se observó el efecto del plan de fertilización diseñado en el cultivo, ya que los rendimientos obtenidos fueron superiores al testigo, afirmando que se puede mejorar la productividad en la mora por medio de un plan de fertilización adecuado para la zona que le permita al producto obtener mayores ingresos disminuyendo los costo de producción.

Al observar el análisis foliar se pudo comparar el comportamiento de los elementos en la planta después de la primera y segunda fertilización, en el nitrógeno hubo una reducción en la primera y aún mayor en la segunda aplicación respecto a la concentración obtenida en el primer muestreo este comportamiento se debe a la continua poda que se realiza en el cultivo por lo cual hay absorción elevada del nitrógeno en el cultivo.

En el comportamiento del potasio se apreció el aumento de la concentración del elemento en todos los tratamientos después de la primera fertilización la cual fue mayor en los tratamientos T4 y T2 los cuales tenían la menor dosis 100 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, al aplicar la segunda fertilización disminuyó la concentración de todos los tratamientos a excepción del testigo T1 y T7 (6 t ha<sup>-1</sup>) lo cual indica que el suelo poseía la concentración adecuada de potasio y adiciones del nutrimento causan un efecto negativo en el rendimiento del cultivo.

## AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto fue financiado por la Coordinación de Investigación Agropecuaria del Decanato de Investigación de la UNET.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CABEZAS, M.; GALVIS, J. y OCHOA, C. Eficiencia agronómica y económica de la aplicación de gallinaza y fósforo, en mora de castilla (*Rubus glaucus*) para la zona fría de Boyacá. 4<sup>to</sup> seminario nacional frutales de clima frío moderado. Medellín centro de desarrollo tecnológico de frutales. pp. 189–194. 2002.
- CASTAÑO, C.; MORALES, C. y OBANDO, F. Evaluación de niveles de extracción de nutrientes en el cultivo de la mora (*Rubus glaucus*) en condiciones controladas para bosque montano bajo. 5<sup>to</sup> Seminario Nacional e Internacional de frutales. CORPOICA. pp. 28–43. 2004.
- FRANCO, G.; GALLEGU, J.; TAMAYO, A.; HEREDIA, L. y MEDINA, G. Fertilización de la mora de castilla (*Rubus glaucus*) en zonas del departamento de Caldas. 3er seminario de frutales de climas frío moderado. Manizales centro de desarrollo tecnológico de frutales. pp. 81 – 87. 2000.
- GONZÁLEZ, E. y GÓMEZ, I. La producción de mora de castilla en el Táchira [en línea] Dirección URL:<<http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd56/mora.htm>. Fecha de consulta: 19/4/2007.
- JONES, J.; BENTON, B.; WOLF, y MILLS, H. Plant analysis handbook. I. Methods of plant analysis and interpretation. Micro-Macro Publishing, Inc. p. 275. 1991.
- RINCÓN, T. y SALAS, M. Influencia de los niveles de N, P, K sobre el rendimiento de la mora de castilla (*Rubus glaucus*). Revista Informativa. p. 28. 1983.
- TORRES, C. y VISCONTI, E. Determinación de la extracción de nutrientes en plantas de mora durante la fase de crecimiento vegetativo. Trabajo de Grado Ing. Agr. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal. pp. 30–47. 2002.



# MODELADO Y SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE PEM PARA USO AUTOMOTRIZ

(Modeling and simulation of the performance of a fuel cell for  
automotive use)

<sup>1</sup>Posso, F; <sup>2</sup>Duque, W.

Departamento de Ciencias,

<sup>1</sup>Universidad de Los Andes, Táchira, Venezuela;

<sup>2</sup>UNELLEZ Núcleo Santa Bárbara, Barinas, Venezuela,

Correos Electrónicos: <sup>1</sup>[fausto@ula.ve](mailto:fausto@ula.ve), <sup>2</sup>[wladimirduque@gmail.com](mailto:wladimirduque@gmail.com)

## RESUMEN

Se estudia el comportamiento de una celda de combustible de membrana de intercambio protónico, PEM, para uso automotriz mediante el desarrollo de un modelo matemático semiempírico basado en la aproximación de Lee de la relación voltaje/densidad de corriente en la celda. El modelo no lineal resultante se resuelve para diferentes condiciones de operación y tipo de alimentación, obteniéndose que el comportamiento de la celda depende fundamentalmente del voltaje de la celda, de la corriente generada y de la temperatura de operación. Para una temperatura de 39 °C se obtiene un punto de operación para el cual la potencia generada es máxima, correspondiendo este al punto de diseño de la celda. La eficiencia de la conversión energética promedia el 50 %, superior a la de cualquier sistema convencional de conversión de energía. Con el fin de mejorar el desempeño del modelo y superar ciertos inconvenientes numéricos en la etapa de simulación, se propone una modificación a la aproximación de Lee consistente en una reformulación de la expresión matemática del parámetro  $m$ . Los resultados del modelo mejorado se ajustan adecuadamente a los reportados en la bibliografía.

**Palabras Clave:** Celdas PEM, modelos matemáticos, simulación

## ABSTRACT

The behavior of a membrane of proton exchange cell fuel, PEM, is studied for automotive use through the development of a semi empirical mathematical model based on the Lee Approach and the relationship voltage/density of the current in the cell. The non linear model resultant is solved for different operating conditions and feeding type, being obtained that the behavior of the cell depends fundamentally on the voltage of the cell, of the generated current and of the operating temperature. For a temperature of 39 °C an operation point is obtained for which the generated power is maximum, corresponding this to the point of design of the cell. The efficiency of the energy conversion averages the 50%, superior to that of any conventional system of energy conversion. With the purpose of improving the development of the model and to overcome certain numeric inconveniences in the simulation stage, a modification to Lee's approach is aimed consisting of a reformulation of the mathematical expression of the parameter  $m$ . The results of the improved model are adjusted appropriately to those reported in the bibliography.

**Key Word:** PEM cell, mathematical models, simulation

Recibido: 27/10/09  
Aprobado: 31/05/10  
Versión Final: 25/06/10

## INTRODUCCIÓN

Los nocivos efectos ambientales derivados de la continua y creciente explotación de las fuentes primarias de energía de origen fósil, la certeza de su agotamiento en el mediano plazo y los crecientes conflictos geopolíticos derivados de su desigual distribución geográfica, son los principales inconvenientes del actual sistema energético de alcance mundial. Por tanto, el desarrollo de otras fuentes energéticas que superen en gran parte estas dificultades, se ha convertido en una necesidad impostergable, (Cassedy y Grossman, 2000). Tales fuentes, conocidas como energías alternativas, incluyen la energía solar en sus diferentes formas, la energía nuclear, de las mareas y geotérmica, entre otras. Sin embargo, para que estas energías tengan una presencia importante en el balance energético mundial se requiere de un intenso desarrollo tecnológico que las hagan viables económicamente permitiendo así su utilización masiva en los diferentes sectores de la sociedad.

Dentro de las diversas tecnologías de uso final que se han propuesto con este propósito, las celdas de combustible, CC, podrían aprovechar ciertos nichos del mercado energético con perspectivas claras de éxito: el transporte automotor en vehículos híbridos y eléctricos, y la generación distribuida y autónoma de electricidad en sitios remotos o aislados. Al respecto, las proyecciones optimistas señalan que las CC podrían cubrir el 50 % del mercado mundial de la energía eléctrica distribuida en el año 2020, (Bauen *et al.*, 2003), mientras que en el caso automotriz se prevé que en los próximos cinco años se dará la comercialización progresiva de los vehículos mencionados, (Varigonda y Kamatb, 2006).

No obstante, para que estas proyecciones se cumplan, es necesario superar varias barreras tecnológicas y económicas. Por tanto, las actividades de investigación y desarrollo sobre CC son intensas y a las cuales se dedica un gran esfuerzo humano y económico, siendo el modelado matemático una de las herramientas más utilizadas en dichas actividades. Este tiene grandes ventajas, entre las que se pueden mencionar: universalidad, lenguaje preciso y facilidad de manipulación, (Meerschaert, 2007). De hecho, en la literatura especializada sobre el tema se reportan una gran variedad de modelos matemáticos desarrollados con el fin de explicar los fenómenos químicos, físicos y eléctricos involucrados en la operación de las CC y predecir su comportamiento, técnico y económico.

En este contexto se ubica este artículo cuyo principal propósito es desarrollar un modelo matemático del comportamiento de una CC de intercambio protónico, PEM, con vista a su uso automotriz. En cuanto a su dimensionalidad, el modelo es de orden cero, considerado suficiente para diseñar arreglos de CC para aplicaciones automotrices y adecuado para estudios iniciales de optimización de la operación de tales arreglos, (Sousa y González, 2005). Este tipo de modelo se basa en la Ecuación de Polarización, la cual describe la relación entre las principales variables de la operación de la celda: densidad de corriente y el voltaje generado. De las diferentes formulaciones matemáticas utilizadas para explicar esta relación se utiliza la propuesta por Lee (1995), en virtud de su sencillez, precisión y reproducibilidad. Sin embargo, presenta ciertas dificultades en su solución y posterior simulación, en gran parte debidas a su formulación matemática. Por todo esto, el segundo propósito de este artículo es proponer una modificación a la aproximación de Lee que salve en gran parte tales dificultades sin sacrificar precisión y nivel de representatividad. Los resultados del modelo mejorado se validan mediante su comparación con los obtenidos en la simulación del modelo original.

## Fundamentos de las celdas de combustible

De manera general, una CC es un dispositivo en el cual la energía química contenida en un combustible, casi siempre el  $H_2$ , se convierte directamente a energía eléctrica y calor como resultado de una reacción electroquímica heterogénea. Las principales ventajas de las CC son: alta eficiencia de conversión energética, muy bajo nivel de contaminación ambiental y operación silenciosa, al no tener partes móviles.

La unidad física básica de las CC es una celda electroquímica conformada por dos electrodos separados por un medio iónico conductor. Cuando la celda está en operación, el  $H_2$  entra por el ánodo mientras que el  $O_2$  lo hace por el cátodo. Al darse la reacción, el  $H_2$  se rompe por la acción del catalizador produciendo iones  $H^+$  que atraviesan el electrolito llegando al cátodo, mientras que los electrones circulan a través de un circuito externo generando potencia aprovechable y llegando finalmente al cátodo donde se combinan nuevamente con el  $O_2$  obteniéndose  $H_2O$  y calor como subproductos. La forma más conocida de clasificar las CC es según el tipo de electrolito utilizado. De ésta manera, se distinguen las celdas: alcalinas; poliméricas

o de intercambio protónico, PEM por sus siglas en inglés; de ácido fosfórico; de carbonato fundido y de óxidos sólidos (Sheriff *et al.*, 2005). La selección de un tipo de celda para una aplicación específica dependerá en gran parte de las condiciones de operación, de la naturaleza de la aplicación y de la potencia de salida requerida (Sames y Boersma, 2000). En el caso de aplicaciones móviles, las celdas PEM, despiertan como las más adecuadas (Wee, 2007) y por tanto, son las seleccionadas para este estudio.

### El modelado matemático de las celdas de combustible

Considerando el nivel de detalle de los fenómenos presentes en las CC, se pueden distinguir tres tipos de modelos matemáticos:

1. Los teóricos o mecanísticos, fundamentados en las leyes de la fluidodinámica, termodinámica y electroquímica
2. Los modelos empíricos, basados en representaciones matemáticas obtenidas, por lo general, por procedimientos de regresión no lineal de datos experimentales y condiciones de operación de un caso particular.
3. Los modelos semiempíricos, resultantes de la incorporación de un cierto conocimiento fenomenológico a los modelos empíricos, mejorando su predictibilidad, pero sin la complejidad de los modelos teóricos (Haraldsson y Wipke, 2004). Dentro de los modelos semiempíricos se ubican los modelos de orden cero y la aproximación de Lee, la cual se trata a continuación.

### El modelo de Lee

Es una representación matemática de la relación voltaje/densidad de corriente para una celda PEM típica. En dicho modelo, además de los términos que representan las irreversibilidades por activación y resistencia eléctrica, se incorporan dos términos, un término exponencial y uno logarítmico, que sirven para representar las irreversibilidades por concentración y transporte, respectivamente. Su expresión es de la forma:

$$V_c = V_o - b \ln i - Ri - m \exp(ni) - b \ln\left(\frac{P}{P_o}\right) \quad (1)$$

Donde los términos  $b$ ,  $R$ ,  $m$  y  $n$  son coeficientes empíricos, particulares para cada condición de operación y sus expresiones o valores se muestran en la tabla 1. Para el parámetro  $m$ , Lee establece una variación

con la temperatura de operación, según:

Para  $T < 39^\circ\text{C}$ :

$$m = 3,3 \cdot 10^{-3} - 8,2 \cdot 10^{-5} T \quad (2)$$

Mientras que para  $T \geq 39^\circ\text{C}$

$$m = 1,1 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-6} T \quad (3)$$

Estas expresiones originan, a su vez, dos formas de la ecuación de polarización:

Para  $T < 39^\circ\text{C}$

$$V_c = 1,05 - (4 \cdot 10^{-2} - 1,4 \cdot 10^{-4} T) \ln(i) - (4,77 \cdot 10^{-4} - 3,32 \cdot 10^{-6} T) i - (3,3 \cdot 10^{-3} - 8,2 \cdot 10^{-5} T) e^{0,008 i} + (4,01 \cdot 10^{-2} - 1,4 \cdot 10^{-4} T) \ln \frac{P}{P_o} \quad (4)$$

Y para  $T \geq 39^\circ\text{C}$

$$V_c = 1,05 - (4 \cdot 10^{-2} - 1,4 \cdot 10^{-4} T) \ln(i) - (4,77 \cdot 10^{-4} - 3,32 \cdot 10^{-6} T) i - (3,3 \cdot 10^{-3} - 8,2 \cdot 10^{-5} T) e^{0,008 i} + (4,01 \cdot 10^{-2} - 1,4 \cdot 10^{-4} T) \ln \frac{P}{P_o} \quad (5)$$

La potencia teórica generada se obtiene de:

$$P_T = V_c i \quad (6)$$

Donde la expresión para  $V_c$  puede ser la ecuación (4) o (5) dependiendo de la temperatura de operación.

Por otra parte, en el diseño de vehículos híbridos y eléctricos es importante conocer la eficiencia energética para la máxima potencia alcanzable. Esta se calcula de (Barbir y Gómez, 1995):

$$\eta = \frac{V_{P_{\max}}}{1,05} \quad (7)$$

Donde  $V_{P_{\max}}$  corresponde el valor del voltaje para la máxima potencia obtenible según la temperatura de operación. Mientras que el valor de 1,05 V corresponde al potencial real generada en la celda, menor que la ideal, principalmente debido a la formación de peróxido de hidrógeno como una etapa intermedia en la reducción del oxígeno en el cátodo, (Laurencelle, *et al.*, 2001; Kordesch y Simader, 1996). A este potencial se le denomina Potencial de Reposo (DOE, 2004). En resumen, el modelo del funcionamiento está representado por las ecuaciones (1) a (7).

Solución del modelo y su análisis

El modelo desarrollado se resuelve utilizando la aplicación computacional MAPLE® para las condiciones de operación y valores de los parámetros de la ecuación (1) que se indican en la tabla 1. En términos

funcionales, las variables de entrada del modelo son la densidad de corriente y la temperatura de operación, mientras que las principales variables de salida son el voltaje generado, la potencia máxima y la eficiencia del arreglo de celdas.

Tabla 1. Condiciones de operación y valores de los parámetros del modelo

PARÁMETRO	VALOR
Presión del ánodo	3 atm. de H <sub>2</sub>
Presión del cátodo	3 atm. de aire o de O <sub>2</sub> puro
$V_0$ (V)	1.05
$b$ (V)	$4.01 \cdot 10^{-2} - 1.40 \cdot 10^{-4} T$
$R$ (kΩ cm <sup>2</sup> )	$4.77 \cdot 10^{-4} - 3.32 \cdot 10^{-6} T$
$n$ (cm <sup>2</sup> mA <sup>-1</sup> )	$6.0 \cdot 10^{-3}$

A continuación se presentan y analizan los principales resultados obtenidos de la simulación del modelo de funcionamiento. En la figura 1 se muestra la familia de curvas de polarización de la celda PEM para diferentes temperaturas de operación. Dichas curvas tienen el comportamiento esperado teóricamente, mostrando claramente los diferentes tipos de irreversibilidades que se dan en la operación de la celda. Además, se observa que a medida que aumenta la temperatura, para un valor fijo de la densidad de corriente, el voltaje generado en la celda aumenta, de lo cual se infiere que la celda debería operar a la mayor temperatura posible.

La variación de la potencia generada con la densidad de corriente, para una temperatura de operación de 24 °C, se presenta en la figura 2. En ella se observa que la potencia aumenta hasta un valor máximo para luego disminuir con el incremento en la densidad de corriente. Este punto de máxima potencia se identifica como el punto de diseño del sistema, y para el caso de estudio corresponde a un valor de 2500 W y de 2.700 W para aire y O<sub>2</sub> puro, respectivamente siendo la densidad de corriente cercana a los 500 mA/cm<sup>2</sup>.

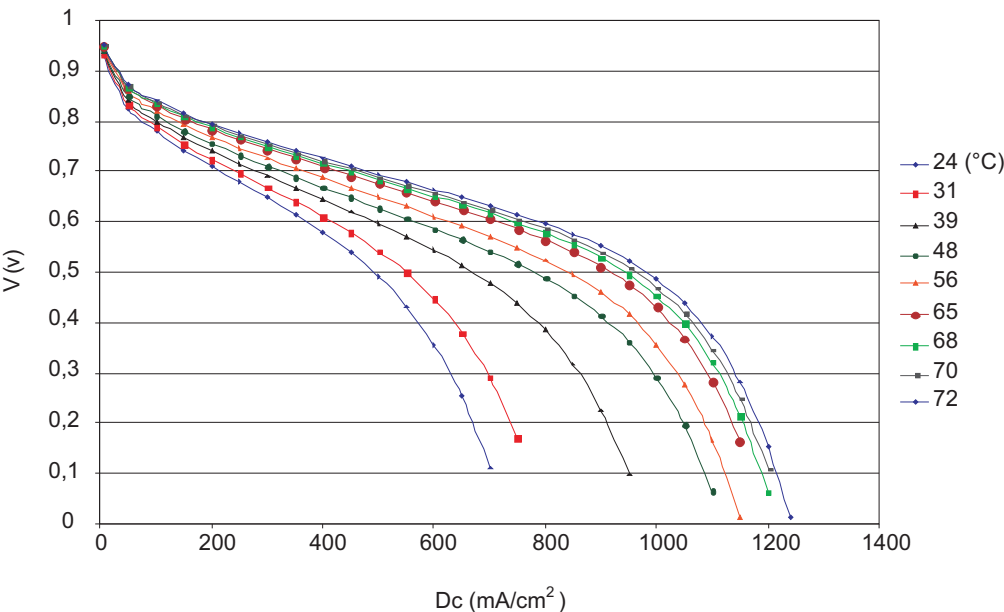
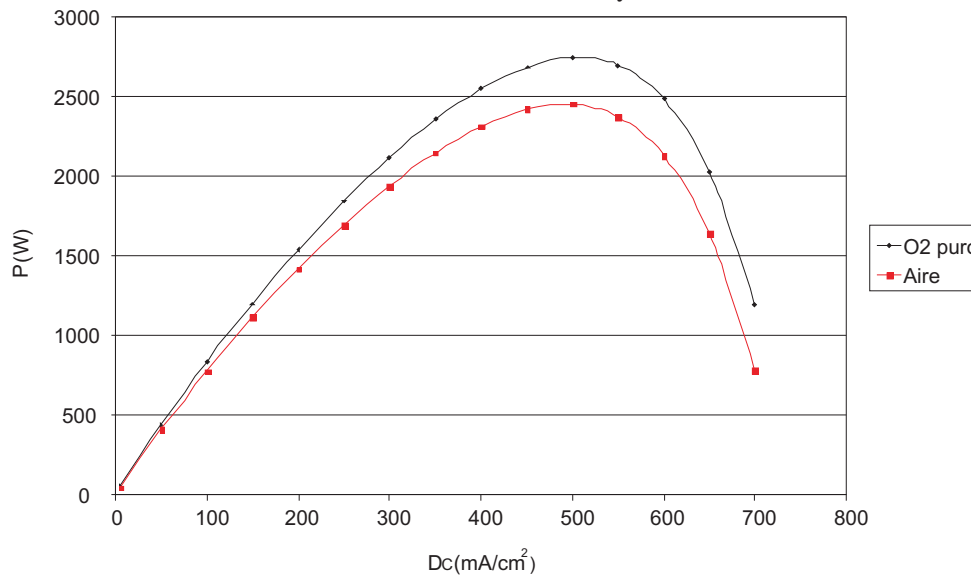


Figura 1. Curvas de polarización de una celda PEM según la temperatura



**Figura 2.** Potencia de la celda según la densidad de corriente

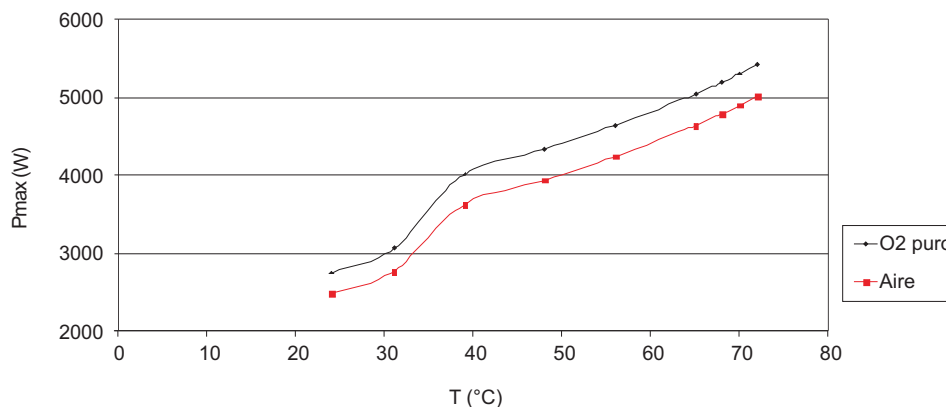
Si ahora se estudia el efecto de la temperatura en el punto de diseño, figura 3, se obtiene, como era de esperarse, que la potencia máxima aumenta con la temperatura, siendo su límite, el valor de 72 °C, ya que a partir de esa temperatura la membrana de intercambio de la celda comienza a perder humedad haciendo que las pérdidas óhmicas se eleven, saturando la celda y por tanto disminuyendo su eficiencia (Solomon y Banerjee, 2006).

La variación de la densidad de corriente en el punto de diseño de la celda, para diferentes temperaturas se muestra en la figura 4. La densidad de corriente aumenta rápidamente a medida que se incrementa la temperatura, la única limitación es física, ya que la membrana debe mantenerse húmeda y, a medida que la temperatura aumenta, el agua líquida contenida en la membrana comienza a evaporarse, perdiendo su

permeabilidad y en consecuencia una disminución de la densidad de corriente generada (Djilali, 2007).

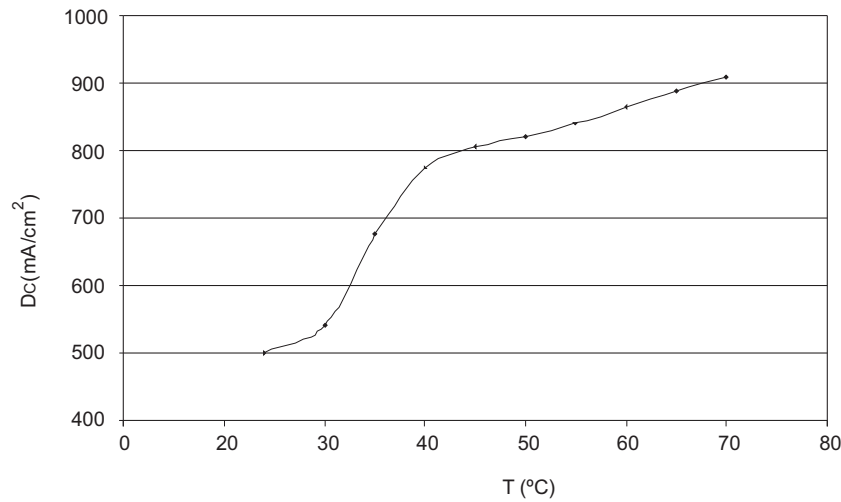
### La propuesta de mejora del modelo de Lee

Aunque de los resultados obtenidos se puede concluir que el modelo de funcionamiento, basado en el modelo de Lee de la curva de polarización, representa adecuadamente el comportamiento de la celda PEM, en algunos de sus resultados se observa un comportamiento poco acorde con el suceso físico estudiado y que podría deberse a limitaciones del modelo de Lee. Específicamente, cuando se considera la variación de la densidad de corriente con la temperatura de operación para la potencia máxima, figura 4, se observa que en el intervalo de temperatura entre 32 a 42 °C, se presentan unos fuertes cambios en la pendiente de la gráfica.



**Figura 3.** Variación de la potencia máxima con la temperatura





**Figura 4.** Densidad de corriente con la temperatura en el punto de diseño

Estas variaciones pueden atribuirse a la forma de las expresiones matemáticas propuestas en el modelo de Lee para el parámetro  $m$ . En efecto, la funcionalidad de  $m$  corresponde a la de una función definida por partes, las cuales están claramente indicadas en la tabla 1, y que presenta condiciones de no derivabilidad en los alrededores de  $T = 39^\circ\text{C}$ . Esta forma de representación de  $m$ , además de generar las variaciones señaladas en el comportamiento de la densidad de corriente, dificulta la solución numérica del modelo en los puntos cercanos a dicha temperatura. Ambas situaciones se pretenden corregir mediante una redefinición de la funcionalidad de  $m$  que permita mejorar el comportamiento de las variables de interés del proceso y optimizar el esfuerzo computacional en la etapa de solución numérica del modelo. Para ambos propósitos se hará uso de la función sigmoidea, comúnmente utilizada en Teoría de Control y de Señales (Raffel y Bettem, 2006). En efecto, esta función debidamente desplazada, permite acoplar apropiadamente las “partes” de la funcionalidad establecida para  $m$ . En este caso, luego de un proceso de ensayo y ajuste, se obtiene una expresión para  $m$  que mejor se adapta al comportamiento deseado, la cual es:

$$m = \left( \frac{1}{1 + e^{20(T-40)}} \right) * (3,3 * 10^{-3} - 8,2 * 10^{-5} T) + \left( \frac{1}{1 + e^{-4(T-38)}} \right) * (1,1 * 10^{-4} - 1,2 * 10^{-6} T) \quad (8)$$

Donde las expresiones (T-40) y (T-38) representan los desplazamientos en la temperatura de operación en los límites del intervalo donde se presentan los cambios bruscos de pendiente. Nótese que al usar una única expresión para  $m$ , es posible salvar en gran parte las dificultades en la etapa de la solución numérica del modelo, sin degradar el comportamiento de este parámetro. Por tanto, ésta será la funcionalidad de  $m$  a incorporar en la propuesta de mejora del modelo de funcionamiento. En este caso, las expresiones para las ecuaciones de polarización (Ec.1 y 2) y de la potencia (Ec. 4) son, respectivamente:

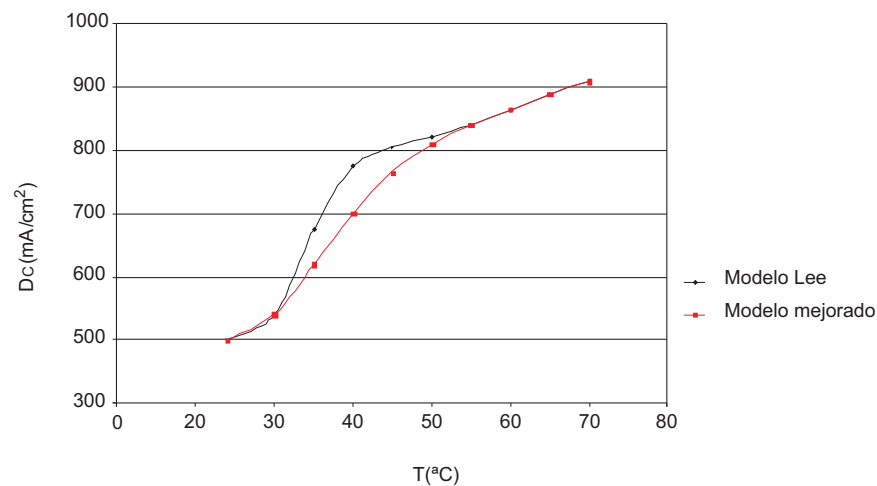
$$V_c = 9,85 * 10^{-1} - (4,01 * 10^{-2} - 1,4 * 10^{-4} T) \ln(i) - \left( \frac{3,3 * 10^{-3} - 8,2 * 10^{-5} T}{1 + e^{(20T-800)}} \right) + \frac{1,1 * 10^{-4} - 1,2 * 10^{-6} T}{1 + e^{(-4T+152)}} e^{0,008i} - (4,77 * 10^{-4} - 3,32 * 10^{-6} T) i + 2,25 * 10^{-5} T \quad (9)$$

$$P_r = 10 * [9,85 * 10^{-1} - (4,01 * 10^{-2} - 1,4 * 10^{-4} T) \ln(i) - \left( \frac{3,3 * 10^{-3} - 8,2 * 10^{-5} T}{1 + e^{(20T-800)}} + \frac{1,1 * 10^{-4} - 1,2 * 10^{-6} T}{1 + e^{(-4T+152)}} \right) e^{0,008i} - (4,77 * 10^{-4} - 3,32 * 10^{-6} T) i + 2,25 * 10^{-5} T] * i \quad (10)$$

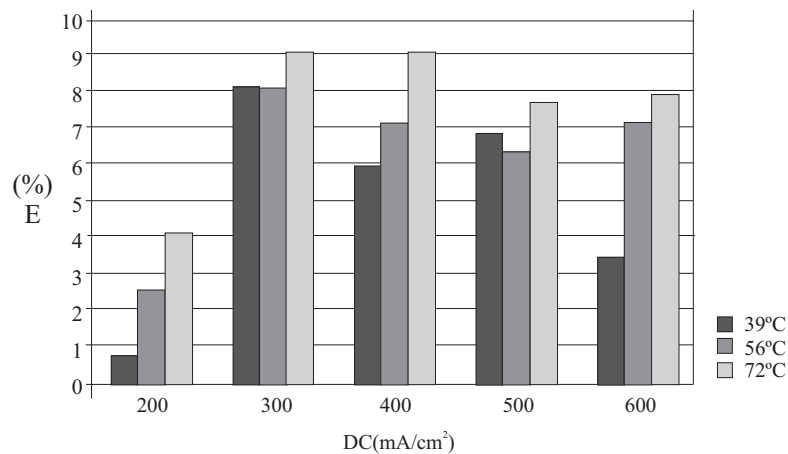
### Simulación modelo mejorado

En la figura 5 se presentan los resultados de ambos modelos, el original y el mejorado, para la densidad de corriente observándose una evolución más suave de dicha variable.

Si ahora se comparan los resultados del modelo mejorado respecto a los resultados de la bibliografía se observa que el error porcentual obtenido es menor al 9 %, lo cual permite afirmar que el modelo mejorado tiene un comportamiento satisfactorio, figura 6.



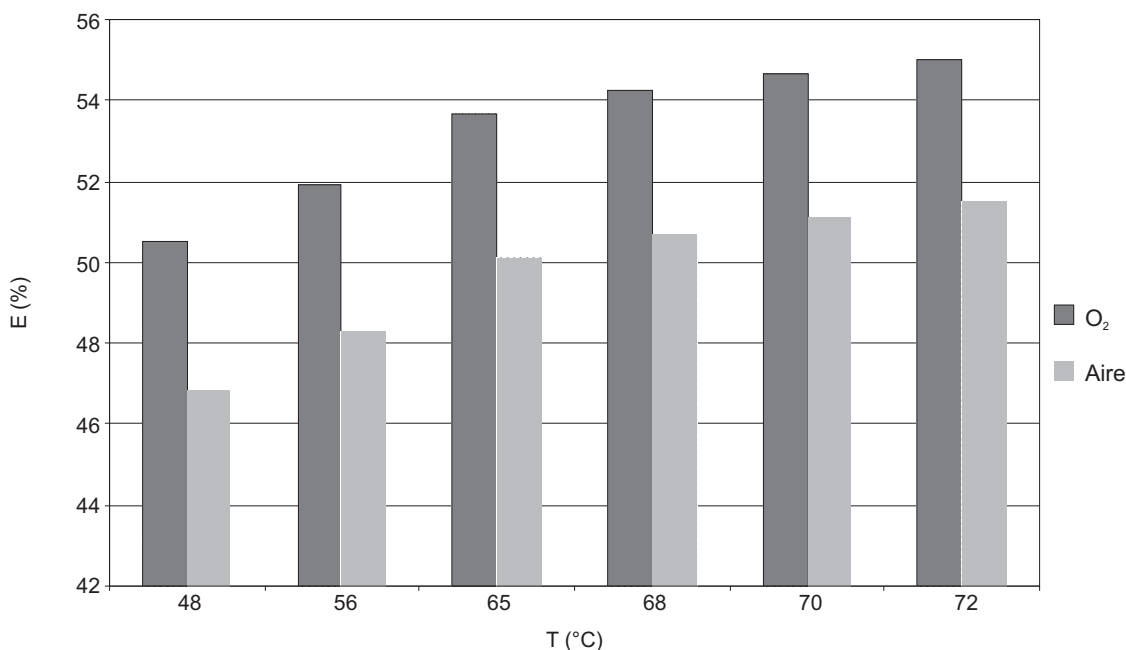
**Figura 5.** Comparación de los resultados de la densidad de corriente del modelo mejorado



**Figura 6.** Error porcentual de la densidad de corriente del modelo mejorado respecto a los resultados de la bibliografía

Finalmente, en la figura 7 se muestra la variación de la eficiencia en el punto de diseño con respecto a la temperatura de operación y según el tipo de entrada. Se observa que la eficiencia aumenta a medida que lo hace la temperatura, distribuyéndose en un rango de valores entre 45% y 55%, mientras que la máxima eficiencia de

conversión energética de un motor de combustión interna se encuentra muy cercana a 25% (Barbir y Gómez, 1995). Además, la eficiencia es mayor para el caso de  $O_2$  puro debido a un mayor progreso de la reacción electroquímica.



**Figura 7.** Eficiencia de la celda PEM según la temperatura y tipo de alimentación

## CONCLUSIONES

Se ha estudiado el comportamiento de una celda de combustible tipo PEM, mediante la manipulación de un modelo matemático que interpreta los principales procesos de conversión y transporte de energía que se llevan a cabo en la operación de la pila PEM. El modelo se basa en la aproximación de Lee de la ecuación de polarización, matemáticamente es no lineal, y se resuelve para diferentes condiciones de operación y concentraciones de  $O_2$  en la corriente de entrada, mediante la ayuda computacional comercial MAPLE®.

Se obtiene que el desempeño de la pila PEM puede representarse adecuadamente relacionando tres variables: voltaje aplicado, corriente generada y

temperatura de operación. Para una temperatura de 39 °C, se obtiene un punto de operación con una densidad de corriente de 500 mA/cm<sup>2</sup>, un voltaje de 0,5 V, la potencia generada es máxima e igual a 3.75 kW, correspondiendo por tanto al punto de diseño de la pila. Esta potencia máxima varía directamente con la temperatura, lo cual teóricamente significa que se debería operar a la mayor temperatura posible, sin embargo, en la operación real se trabaja a temperaturas menores a 72 °C, debido a limitaciones de la membrana de intercambio de la celda.

Con el fin de mejorar el desempeño del modelo de Lee y optimizar el esfuerzo computacional en la etapa de su solución numérica, se propone una modificación al mismo que consiste en la redefinición de la

funcionalidad del parámetro  $m$ , relacionado con el sobrepotencial por difusión. Esta reformulación se basa en la utilización de la función sigmoidea para representar al parámetro  $m$  con una sola expresión, lo cual conlleva aun mejor desempeño del modelo. Los resultados de este modelo mejorado son comparables con los resultados indicados en la bibliografía.

## NOMENCLATURA

$i$ :	Densidad de corriente, mA/cm <sup>2</sup>
$\eta$ :	Eficiencia de la celda, adim.
$P$ :	presión parcial del H <sub>2</sub> (atm)
$P_o$ :	presión de operación de la celda (atm)
$P_T$ :	Potencia teórica generada, W
$P_{MAX}$ :	Potencia máxima generada, W
$R$ :	Resistencia eléctrica, Ohm
$T$ :	Temperatura de operación, °C
$V_c$ :	Voltaje de la celda, V
$V_o$ :	Voltaje reversible teórico, V

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBIR, F. y GÓMEZ, T. Efficiency and economics of proton exchange membrane (PEM) fuel cells. *Int. J. Hydrogen Energy* 22(8):1027-1037. 1995.
- BAUEN, A.; HART, D.; CHASE, A. Fuel cells for distributed generation in developing countries-an analysis. *Int. J. Hydrogen Energy* 28(6):695-701. 2003.
- CASSEDY, E. y GROSSMAN, P. *Prospects for Sustainable Energy*. Cambridge, University Press. 364p. 2000.
- DJILALI, N. Computational modelling of polymer electrolyte membrane (PEM) fuel cells: Challenges and opportunities, *Energy*, 32(3): 269–280. 2007.
- DJILALI, N. *Fuel cell handbook* (Seventh Edition) U.S. Department of energy, office of fossil energy, National Energy Technology Laboratory. pp. 1-390. 2004.
- DOE. *Hydrogen, fuel cells and infrastructure*. New York DOE-Press. pp. 479. 2004.
- HARALDSSON, K. y WIPKE, K. Evaluating PEM fuel cell system models, *J. of Power Sources*, 126(1):88-97. 2004.
- KORDESCH, K. y SIMADE, G. *Fuel cells and their applications*, Wiley-VCH, Weinheim. pp. 1-225. 1996.
- LAURENCELLE, F.; CHAHINE, R.; HAMELIN, J.; AGBOSSOU, K.; FOURNIER, M.; BOSE, T. y LAPERRI, A. Characterization of a Ballard MK5-E Proton exchange membrane fuel cell stack. *Fuel cells*, 1(1):66-71. 2001.
- LEE, S.; KIM, J. y CHAMBERLAIN, C. Modelling of proton exchange fuel cell performance with an empirical equation, *J. Electrochemical Society* 142(12):2670-2674. 1995.
- MEERSCHAERT, M. *Mathematical modeling*. New Jersey, Prentice Hall; 221. 2007.
- RAFFEL, B. y BETTEM, B. *Process dynamics and control*, chichester, John Wiley&Sons, 397p. 2006.
- SAMES, N. y BOERSMA, R. Small-scale fuels for residential applications, *J. Power Sources*. 86(1): 98-110. 2000.
- SHERIF, S.; BARBIR, F.; VEZIROGLU, T. Wind energy and the hydrogen economy: review of the technology. *Solar Energy*. 78(6): 647-660. 2005.
- SOLOMON, B. y BANERJEE, A. A global survey of hydrogen energy research, development and policy, *Energy Policy*, 34(8):781-792. 2006
- SOUSA, R. y GONZÁLEZ, E. Mathematical modeling of polymer electrolyte fuel cells, *J. Power Sources* 147(1): 32-45. 2005.
- VARIGONDA, S. KAMATB, M. Control of stationary and transportation fuel cell systems: Progress and opportunities. *Computers and Chem. Eng.* 30(14):1735-1748. 2006.
- WEE, J. Applications of proton exchange membrane fuel cells systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11(12):1720-1738. 2007.

# PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LOS MÉTODOS DE TRABAJO EN LA PYME

(Proposal to the evaluation and improvement of the work methods in the sme)

<sup>1</sup>Márquez, M.;<sup>2</sup>Pérez, F.

<sup>1</sup>Programa Calidad y Productividad Organizacional,  
Decanato de Investigación,  
Universidad Nacional Experimental del Táchira, (UNET)  
San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela.  
Correos Electrónicos : <sup>1</sup>[mervyn@unet.edu.ve](mailto:mervyn@unet.edu.ve); <sup>2</sup>[fperez@unet.edu.ve](mailto:fperez@unet.edu.ve)

## RESUMEN

Si bien el mejoramiento de los métodos de trabajo constituye una de las fuentes para generar cambios significativos en la productividad de una empresa, en la práctica poco interés se le presta, en especial en el sector de la Pequeña y Mediana Empresa (PyME). Se planteó como objetivo de esta investigación diseñar un sistema de gestión para la evaluación y mejoramiento de los métodos de trabajo en la PyME metalmecánica del municipio San Cristóbal del estado Táchira. El estudio corresponde a un nivel descriptivo, diseño de campo, y para la recopilación de la información se empleó la técnica de la encuesta, mediante la aplicación de cuestionarios. Entre las conclusiones, destacan la identificación de ciertas debilidades en torno al mejoramiento de los métodos de trabajo, como la ausencia de objetivos, de análisis crítico del trabajo, y de una concepción sistemática y continua del proceso de mejoramiento. Se propone la configuración de un sistema de gestión conformado tanto por aspectos relacionados al proceso de mejora, como de la gestión del sistema, acompañado de un instrumento práctico que además de valorar la situación actual, plantea un conjunto de sugerencias para orientar a los empresarios en el fortalecimiento de la gestión interna.

**Palabras Clave:** PyME, métodos de trabajo, mejoramiento continuo, sistema de gestión.

## ABSTRACT

Although the improvement of the work methods constitutes one of the sources to generate significant changes in the productivity of a enterprise, in the practice it is not made, especially in the sector of the Small and Medium Enterprises (SME). The objective of this investigation was design a management system for the evaluation and improvement of the work methods in the metal mechanical SME of the municipality San Cristóbal in the Táchira State. The study corresponds at a descriptive level with a field design, and to gather information was used the survey technique, by means of the application of questionnaires. Among the main conclusions was the identification of some weaknesses around the improvement of the work methods, as the absence of objectives, of critical analysis of the work, and of a systematic and continuous conception of the improvement process. Was proposed the configuration of a management system conformed so much by aspects related to the improvement process, as of the management system, provided by a practical instrument to evaluate the current situation and to outlines suggestions to guide the managers in the growth of the internal administration.

**Key Words:** SME, work methods, continuous improvement, management system.



## INTRODUCCIÓN

La importancia que se le atribuye al sector de la Pequeña y Mediana Empresa (PyME) ha sido explicada y justificada por distintos autores e instituciones, desde diferentes puntos de vista: por la cantidad de establecimientos que representa, por su aporte al producto interno bruto manufacturero, por su papel para desarrollar tareas que las grandes empresas no pueden, por su potencialidad de crecimiento, ó sencillamente por la cantidad de empleos que genera. En este sentido, el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España (s.f.), menciona la implicación de las personas en la empresa y la flexibilidad, como las dos grandes características que le ha permitido a este sector alcanzar tal nivel de importancia.

Sin embargo, aunado a estas grandes oportunidades, el sector de las pequeñas y medianas empresas también presenta ciertas debilidades como son: una mayor siniestralidad, demora en la acción preventiva y limitación en los recursos; este último desde el punto de vista de la dificultad para extraer recursos de los procesos productivos y dedicarlos a funciones que no se entienden como primordiales, según lo plantea el mencionado Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. En otras palabras, en este sector suele presentarse carencia de estrategias adecuadas que les permita aprovechar sus potencialidades y mejorar sus sistemas de gestión, y una de estas potencialidades se encuentra representado en sus métodos de trabajo.

Andriani, *et al.* (2004) mencionan que en la mayoría de PyMEs, es frecuente conseguir muchas actividades que no agregan ningún valor a los procesos, y por el contrario generan enormes desperdicios; además, que en estas empresas, no se conoce ni mucho menos se aplica una metodología adecuada que les permita resolver los problemas que se van presentando. Así mismo, es importante resaltar la ausencia de algún tipo de mecanismo que le permita a la PyME evaluar sus métodos de trabajo, así como de instrumentos que le sirvan de guía a la hora de que se desee emprender un proceso de mejoramiento de los mismos.

Con el propósito de que las PyMEs de la región, dispongan de mecanismos adecuados y científicos, que contribuyan al mejoramiento de su gestión en lo que respecta a métodos de trabajo, resulta conveniente el diseño y validación de instrumentos que, por un lado les permitan revisarse y evaluarse constantemente, y por otro, faciliten y guíen tanto al supervisor, como a los operarios, en el procedimiento adecuado para llevar a cabo el análisis de las prácticas actuales de trabajo.

En Venezuela, y específicamente en el municipio San Cristóbal del estado Táchira, el sector metalmeccánico constituye uno de los sectores más importantes dentro del ámbito empresarial de la PyME, tanto por la proporción de establecimientos, como por su trayectoria y el papel que ha desempeñado dentro del desarrollo regional.

La variabilidad de los productos y procesos que caracteriza a la industria metalmeccánica, se convierte en razón especial, para que los métodos de trabajo y el mejoramiento de los procesos de este importante sector sean estudiados. Por tal motivo, con la finalidad de que los supervisores o gerentes de las pequeñas y medianas empresas metalmeccánicas dispongan de herramientas o medios que les oriente en el mejoramiento de sus formas de trabajo actuales, se plantea como objetivo general de esta investigación diseñar un sistema de gestión para la evaluación y mejoramiento de sus métodos de trabajo.

De esta manera, se tienen como objetivos específicos: describir las prácticas actuales en cuanto a la gestión de los métodos de trabajo de la PyME metalmeccánica del municipio San Cristóbal del estado Táchira; identificar los factores claves a tomar en cuenta en el mejoramiento de sus métodos de trabajo; diseñar un instrumento que permita la evaluación de los métodos de trabajo en la PyME en estudio; y finalmente, diseñar un sistema para el mejoramiento de los métodos de trabajo.

Desde el punto de vista práctico, el estudio va a constituir una alternativa que facilitará a la PyME el desarrollo de un proceso de mejoramiento de sus métodos de trabajo, partiendo desde la revisión y análisis de las tareas llevadas a cabo en el día a día, la secuencia en que se deben ir ejecutando las distintas acciones de mejora, hasta el control y seguimiento necesario para asegurar resultados satisfactorios.

Este proceso debe convertirse en una actividad permanente que cuente, no sólo con el compromiso de los gerentes y/o dueños de las empresas, sino que además se debe motivar y comprometer a todas las personas responsables de ejecutar las operaciones que constituyen su proceso productivo, a fin de que también formen parte de este quehacer rutinario. Asimismo, este proyecto servirá de base para la construcción de instrumentos destinados a la evaluación y mejoramiento de otras áreas diferentes a la de métodos de trabajo, que igualmente forman parte importante de cualquier empresa y aún no han sido consideradas adecuadamente dentro de las prácticas gerenciales de la PyME.

## MÉTODO

La investigación se enmarcó inicialmente dentro del nivel descriptivo, partiendo de que ésta pretendió detallar los elementos o variables claves que intervienen en el mejoramiento de los métodos de trabajo de una empresa, que como lo señala Hernández, *et. al* (1998) los estudios de este nivel poseen mayor profundidad que el exploratorio, dado que “buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis... Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar”. Al final, la investigación fue predominantemente de aplicación, considerada por algunos autores como de investigación y desarrollo, en vista de que precisamente a partir de la fase de indagación e investigación se crea el instrumento para la evaluación y mejoramiento de los métodos de trabajo, el cual representa una importante herramienta para ser desarrollada y aplicada en las empresas.

El estudio tiene un diseño de campo, dado que se realizó el diagnóstico y análisis de la realidad actual de la pequeña y mediana empresa metalmecánica del estado Táchira; correspondiendo con la definición de la UPEL (2003), la cual señala que la investigación de Campo es “... el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos o predecir su ocurrencia...”; los datos de interés para el estudio son recogidos directamente de la realidad, sin manipulación intencional de variables, correspondiendo a un estudio no experimental.

Igualmente, es importante señalar que el estudio se enmarca bajo la modalidad de proyecto factible orientado a la toma de decisiones, el cual “consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales” (UPEL; 2003, pp.16), ya que precisamente lo que se persiguió con el diseño del sistema de gestión planteado es dar respuesta a la necesidad de la pequeña y mediana empresa metalmecánica de evaluar y mejorar de forma continua sus métodos de trabajo y con ello su productividad. No obstante, según la citada Universidad, los proyectos factibles pueden llegar sólo

hasta la fase de conclusiones sobre su viabilidad, ó hasta la ejecución de la propuesta y su evaluación.

La población de la investigación estuvo representada por todas las pequeñas y medianas empresas pertenecientes al rubro metalmecánico, ubicadas en el municipio San Cristóbal del estado Táchira, que, según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2005), totalizan 24 establecimientos.

Es importante señalar que la definición dada a la Pequeña y Mediana Empresa (PyME) varía de un país a otro, no hay una definición estándar para este sector, incluso los criterios utilizados para definirla difieren también en algunos casos. Para efectos de la investigación, se definió a la PyME en función del empleo, comprendida en el rango de 5 a 20 trabajadores; así mismo, se consideraron para el estudio las empresas de tipo manufacturero.

Por su parte, se hizo referencia dentro del sector metalmecánico a aquellas empresas que se dediquen a la fabricación de bienes cuyo componente básico sea metal; definido, para efectos de esta investigación, según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) como categoría de tabulación D: Industrias manufactureras, y dentro de ésta a las divisiones 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 y 34, según lo expresado en United Nations Statistics Division (2004). A efectos de la presente investigación, se decidió estudiar al total de empresas que conforman la población de la misma; aunque sólo en 13 establecimientos se efectuó la encuesta, ya que en el resto de empresas contempladas en el listado inicial no suministraron la información solicitada, bien porque no disponían de tiempo o debido a políticas internas establecidas en las mismas.

A fin de dar respuesta a los objetivos de la investigación, la recolección de datos se basó en fuentes primarias representadas por las pequeñas y medianas empresas en estudio, para lo cual se empleó básicamente la técnica de la encuesta, a través de un cuestionario como instrumento para la recolección de los datos, el cual fue diseñado por el autor y validado por expertos en el área.

Luego de aplicado el cuestionario, se procesó y analizó la información, se identificaron los factores claves relacionados con el mejoramiento de los métodos de trabajo, diferenciando fortalezas y debilidades, finalmente se diseñó un instrumento de evaluación y se configuró un sistema de gestión a partir de la información analizada, y en concordancia con las recomendaciones de distintos autores en la materia.

## RESULTADOS

Una vez realizada la encuesta en las empresas en estudio, se obtuvo que 9 (69%) pertenecen al sector de las pequeñas empresas y las 4 restantes (31%) son medianas; ubicadas principalmente en las zonas industriales de Paramillo, Puente Real y Las Lomas; y la edad promedio de las mismas es de 16 años.

En cuanto al nivel educativo de los gerentes o supervisores de producción de estas empresas, se puede señalar que 10 (77%) son profesionales universitarios, 2 (15%) son bachilleres y 1 (8%) es técnico medio. En relación a los trabajadores del área de producción encuestados (44 en total) de las empresas estudiadas, 23 (52%) son bachilleres, 12 (27%) no han completado el bachillerato, 3 (7%) son técnicos medios y 3 (7%) son técnicos superiores; lo que representa un buen indicio para proponer una herramienta de mejoramiento de auto aplicación por el personal de las mismas empresas. Así mismo, 33 (75%) trabajadores desempeñan un trabajo de tipo individual, y 11 (25%) de tipo colectivo; en diversidad de cargos, entre los que se incluyen: troquelador, soldador, tornero, doblador, ensamblador, matricero, galvanizador y embobinador.

A partir de los resultados obtenidos, se puede inferir que en la mayoría de las PyMEs estudiadas se tienen procedimientos establecidos para sus principales tareas, lo cual fue aseverado por el 84,6% de los supervisores y el 88,6% de los trabajadores de la muestra; adicionalmente, el 77,3% de los trabajadores manifestaron que reciben el adiestramiento pertinente para su trabajo a través de la demostración directa en la práctica o mediante instrucciones verbales; un 31,8% de los trabajadores dijeron no conocer el proceso completo de sus empresas.

En cuanto a las funciones fundamentales que deben regir la gestión o administración de los métodos de trabajo, desde el punto de vista de su mejoramiento permanente, se puede deducir que en cerca de la mitad (46,2 %) de las PyMEs no se diseñan planes de mejora de sus métodos de trabajo, según lo reflejaron los supervisores o gerentes de producción de la muestra; en un 53,8% de los casos no se fijan ni siquiera objetivos claros dirigidos a mejorar sus formas de trabajo. Cabe destacar que según los datos recolectados, en algunas empresas se fijan objetivos pero no se realiza planes para su consecución, y en otros casos, no se fijan objetivos pero aún así se diseñan planes de mejora, lo cual resulta llamativo, ya que la planeación determina precisamente a dónde se va a dirigir la organización y cómo se va a llegar allí, para lo cual resulta indispensable el establecimiento de objetivos. Lo anterior hace

suponer que en algunas empresas se diseñan planes sin algún norte o curso de acción que permita realmente proyectar las mejoras a futuro en estas organizaciones. En este sentido, se encontró que sólo 4 (30,8%) de las empresas de la muestra fijan objetivos y diseñan los planes respectivos para su logro, en cuanto a mejoramiento de métodos de trabajo se refiere.

Por otro lado, se puede destacar que en cuanto a la función de dirección, resalta como aspecto positivo la disposición que existe para el trabajo en equipo, así lo mencionaron más del 80% de supervisores y trabajadores encuestados, lo cual resulta propicio para el mejoramiento del trabajo; sin embargo, como un aspecto deficiente sobresale la ausencia de mecanismos de comunicación establecidos por medio de los cuales los trabajadores puedan aportar sus ideas o sugerencias de mejora de sus trabajos y de la empresa en general, así lo reconocieron cerca del 70% de los supervisores de la muestra; lo cual puede constituir una desventaja a la hora de generar nuevos métodos de trabajo más productivos, ya que muchas veces son los mismos empleados, quienes realizan directamente el trabajo, los que tienen las mejores ideas.

Por otro lado, se consiguió que las formas más usuales para recompensar al personal por su participación en la mejora de sus trabajos, es el dinero y las palabras de felicitación de sus superiores, aunque un 18,2% de los trabajadores consideraron que no existe reconocimiento. Con respecto al control o evaluación de resultados, la mayoría de los supervisores que plantearon diseñar planes de mejora (5 de 7), revelaron que en sus empresas se establecen los procedimientos de control a seguir y se toman las acciones correctivas necesarias; sin embargo, sólo 4 señalaron que comparan las actividades reales con las contempladas inicialmente en el plan, y sólo en 3 casos se llevan medianamente registros de los resultados obtenidos, donde se indiquen tanto los aspectos positivos como negativos, y que pueda constituir la memoria de la empresa.

Así mismo, se obtuvo que la mayoría de trabajos de las PyMEs están marcados por un grado de repetición alto (56,8% de los casos), y por el empleo de máquinas semiautomáticas en el desarrollo del trabajo (68,2%). Así mismo, a partir de los resultados del estudio se puede deducir que el tipo de trabajos preferidos a la hora de generar e implantar mejoras son aquellos que representan riesgos de accidentes o aquellos que retrasan el resto de la producción; y como técnica para identificar oportunidades de mejora se emplea la tormenta de ideas, aunque el 46,2% de los supervisores respondieron no conocer este tipo de técnicas.

Destaca también que en el 84,6% de las empresas en estudio existe documentación de los procesos, aunque existe muy poco empleo de diagramas de procesos, de hecho sólo 1 supervisor aseveró que en su empresa se documentan los procesos a través de esta herramienta; incluso un 53,8% de los supervisores revelaron ni siquiera conocerlos. Otro dato importante reseña que en el 38,5% de las empresas no se analizan y mejoran las formas de trabajo empleadas para llevar a cabo sus procesos. En aquellas que sí lo hacen, los aspectos que comúnmente son objetos de cambios son las condiciones de trabajo, las herramientas y la maquinaria; sólo en un 15,4% de los casos son examinados los materiales, el manejo de materiales y el personal. Destaca que un 72,7% de los trabajadores encuestados desconocen la forma como es realizado sus trabajos en otras empresas similares, e incluso un 30,1% de los supervisores así también lo manifestaron.

Resaltan como los principales responsables de llevar a cabo dentro de las empresas las actividades relacionadas a la búsqueda de mejoras, implantación y seguimiento de los cambios, los jefes de producción; consiguiéndose además que en un 25% de los casos no se les consulta a los trabajadores sobre cambios en las formas de hacer sus trabajos. Según opinión del 75% de los supervisores, el período de implantación de las mejoras es menos de un mes; y la razón principal por la que en algunos casos no se implementan las alternativas de solución, es por lo costosa de la misma.

Finalmente, se puede analizar a partir de los resultados del estudio, que tan sólo en dos empresas del total estudiado (15,4%) se establecen objetivos, se

diseñan planes y se analizan y mejoran realmente sus métodos de trabajo, por lo que se puede deducir que en el resto de las empresas existen deficiencias bien sea en la gestión o en el proceso de mejoramiento propiamente dicho. Igualmente, es importante señalar que no se consiguieron diferencias significativas entre las pequeñas y las medianas empresas, sino por el contrario se puede observar un comportamiento similar en cuanto a la gestión y mejoramiento de sus formas de trabajo.

Lo anteriormente expuesto se puede sintetizar en la tabla 1, donde se muestran las principales debilidades encontradas en el sector en estudio hacia los métodos de trabajo, así como sus principales fortalezas, las cuales, de aprovecharse adecuadamente pueden revertir dichas debilidades. Una vez conocidas las características generales relacionadas a la forma como se efectúa y gestiona el mejoramiento de los métodos de trabajo en la PyME metalmecánica del municipio San Cristóbal del estado Táchira, se configuró un sistema de gestión con la finalidad de permitirles a los supervisores de dichas empresas emprender un proceso de mejoramiento continuo en el campo de los métodos de trabajo, y por consiguiente orientarles en la toma de decisiones y acciones tanto a nivel operativo como a nivel gerencial, necesarios para conseguir mejoras significativas en sus procesos. Las primeras tienen relación con la evaluación y mejoramiento periódico propiamente dicho; mientras que las decisiones y acciones a nivel gerencial ó estratégicas se vinculan a la gestión o administración de las anteriores, a través de las funciones de planeación, organización, dirección y control.

**Tabla 1.** Fortalezas y debilidades del sector de la PyME metalmecánica hacia el mejoramiento de los métodos de trabajo

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimientos establecidos para las principales tareas y documentación de los mismos</li> <li>• Adiestramiento pertinente de los trabajadores</li> <li>• Disposición para el trabajo en equipo</li> <li>• Recompensa al personal por su participación en la mejora del trabajo</li> <li>• Responsabilidad para la búsqueda, implantación y seguimiento de mejoras por parte de los jefes de producción</li> <li>• Implantación de las mejoras generalmente en menos de un mes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausencia de objetivos claros en relación al mejoramiento de los métodos de trabajo</li> <li>• Ausencia de planes de mejora</li> <li>• Inexistencia de mecanismos de comunicación para que los trabajadores aporten sus ideas de mejora</li> <li>• Desconocimiento de técnicas para la detección, registro y análisis de oportunidades de mejora</li> <li>• Inexistencia de análisis y mejoras del trabajo en algunas empresas</li> <li>• Desconocimiento del proceso productivo completo por parte de algunos trabajadores</li> <li>• Ausencia de registros de resultados</li> </ul>



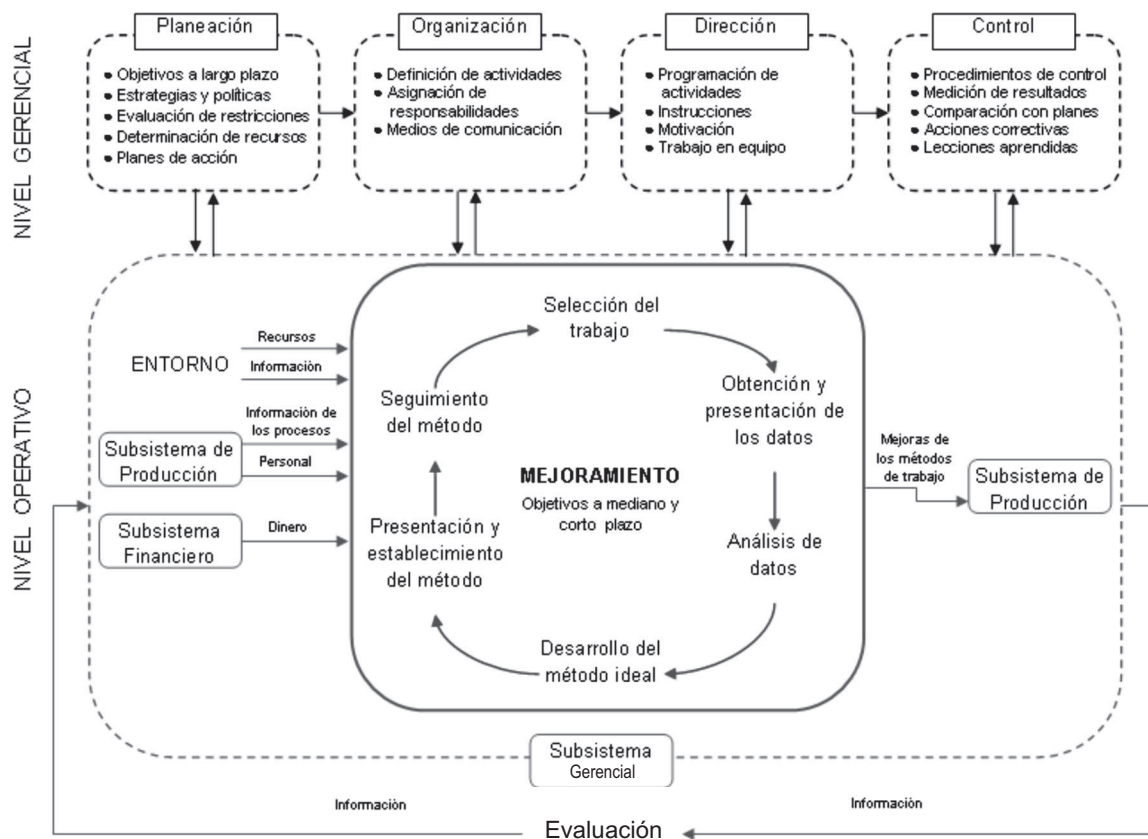


Figura 1. Sistema de gestión para el mejoramiento de los métodos de trabajo

Es importante señalar, que el sistema que se propone se basa en la autogestión; es decir, la gestión directa llevada a cabo por la misma organización, por su personal, y no por la intervención de terceros. Con ello se pretende crear realmente el compromiso por parte del personal de la empresa, en sus diferentes niveles jerárquicos, lo que implica que las diferentes tareas a realizar serán llevadas a cabo por las personas directamente afectadas, promoviendo así los principios de creatividad y cooperación en el trabajo.

En la figura 1 se plantea de forma esquemática los elementos del sistema de gestión propuesto y su interrelación con otros sistemas de la organización, como es el caso del sistema de producción, sistema financiero y el sistema gerencial. Adicionalmente, se puede observar el proceso sistemático y cíclico de mejoramiento de los métodos de trabajo, y su retroalimentación, representada por la información que se obtiene como consecuencia de su evaluación periódica. Se puede resaltar la importancia de la información, no

sólo aquella procedente de la actividad propia de la empresa sino del entorno, específicamente lo que se vincula a la aparición de nuevas tecnologías y teorías. Como complemento al sistema de gestión desarrollado, se diseñó un instrumento de evaluación y mejoramiento de los métodos de trabajo en la modalidad de auto aplicación, estructurado en dos grandes niveles: gerencial y operativo. A su vez, cada uno de estos niveles se dividió en sus áreas fundamentales; así, el nivel gerencial se dividió en: planeación, organización, dirección y control, mientras que el nivel operativo se dividió en: selección y registro del trabajo a mejorar, análisis y desarrollo del nuevo método, e implantación y seguimiento. Dentro de cada área de análisis se establecieron un conjunto de planteamientos que permitirán la evaluación del área y del nivel en general. En la tabla 2 se presenta un extracto del instrumento diseñado, detallando solamente la división de planeación del nivel gerencial, a manera demostrativa.



**Tabla 2.** Extracto del instrumento de evaluación del sistema de mejoramiento

<b>Nivel Gerencial</b>		Puntaje base	Puntaje obtenido
La empresa lleva a cabo las funciones de planeación, organización, dirección y control de sus métodos de trabajo, que permiten orientar las decisiones y acciones a largo plazo.		<b>60</b>	
<b>Planeación</b>			
<b>E1</b>	Se determina hacia dónde debe ir la organización en relación a sus métodos de trabajo y cómo debe llegarse allí	<b>14</b>	
	<b>a.</b> ¿Se establecen objetivos en relación al mejoramiento de los métodos de trabajo de la empresa?	4	
	<b>b.</b> ¿Se diseñan planes escritos relacionados al mejoramiento de los métodos de trabajo?	4	
	<b>c.</b> ¿Se programan las diversas actividades relacionadas al mejoramiento de los métodos de trabajo, estableciendo claramente plazos y responsables?	3	
	<b>d.</b> Una vez que se han implantado las alternativas de mejora generadas, ¿Se establecen nuevos objetivos o estándares a ser alcanzados?	3	
<b>Organización</b>			
<b>E2</b>	Se define quién hace qué, en relación a los métodos de trabajo, y se establecen los mecanismos adecuados para tal fin	<b>16</b>	
<b>Dirección</b>			
<b>E3</b>	Se propicia que todos trabajen en estrecha colaboración brindando lo mejor de sus capacidades	<b>14</b>	
<b>Control</b>			
<b>E4</b>	Se monitorean los resultados obtenidos, se comparan con los planes y, cuando es necesario, se toman las medidas correctivas	<b>16</b>	
<b>Nivel Operativo</b>		Puntaje base	Puntaje obtenido
La empresa desarrolla permanentemente un proceso sistemático de mejoramiento de sus métodos de trabajo, que permite orientar las decisiones y acciones a mediano y corto plazo, en concordancia con los objetivos establecidos a nivel gerencial.		<b>40</b>	
<b>Selección y registro del trabajo a mejorar</b>			
<b>O1</b>	Se identifican y jerarquizan aquellos trabajos del proceso que representan una oportunidad potencial de mejora y se registran todos los datos concernientes al mismo	<b>8</b>	
<b>Análisis y desarrollo del nuevo método</b>			
<b>O2</b>	Se examina de forma crítica y sistemática el método de trabajo seleccionado con el propósito de descubrir sus debilidades, y se generan nuevas formas de llevar a cabo la operación	<b>20</b>	
<b>Implantación y seguimiento del nuevo método</b>			
<b>O3</b>	Se pone en práctica el nuevo método desarrollado y se certifica que los cambios se ejecutan según lo previsto, además se verifican los resultados obtenidos	<b>12</b>	
Puntaje total general			

**Tabla 3.** Extracto de la sección “Pautas para la mejora” del instrumento de evaluación.

**E1a. ¿Se establecen objetivos en relación al mejoramiento de los métodos de trabajo de la empresa?.**

**¿Por qué?**

Los objetivos indican el rumbo a seguir dentro de la organización, en cuanto al mejoramiento de los métodos de trabajo se refiere, y constituyen una condición necesaria para el éxito. Para Commarmond y Exiga (2001), el objetivo no es más que una herramienta que permite expresar los resultados que se quieren producir. Los objetivos cumplen tres funciones: indicar claramente la meta, movilizar la energía hacia esa meta, y servir de referencia para la evaluación del resultado.

Ejemplo. Reducir, para finales de 2008, el porcentaje de desechos del área de corte al 2%

**¿Cómo?**

- Proyéctese dentro de seis meses ó un año, para ver los resultados que se desean alcanzar, y asegúrese que los objetivos que se fijen muestren esos resultados.
- Asegúrese que la responsabilidad de los objetivos que se definen, depende totalmente de las acciones de la persona que los asume, o del equipo bajo su dirección, y no de agentes externos a estos.
- Asegúrese que los objetivos sean alcanzables y medibles, e inicialmente no tan ambiciosos, más bien, se debería iniciar por objetivos fáciles de lograr, de tal manera de ir involucrando y motivando a una mayor cantidad de personas de la organización
- Indique en qué plazos deberán lograrse los objetivos, y con qué medios.

Se estableció una puntuación máxima total del instrumento de 100 puntos, incluyendo ambos niveles; los cuales se distribuyeron, con el apoyo de expertos, entre los diferentes planteamientos en función de la importancia relativa de cada uno de ellos. Así mismo, con el propósito de orientar y aclarar a los usuarios del instrumento acerca de las acciones que se deben emprender o las decisiones que se deben tomar en caso de presentarse debilidades en alguna de las áreas de estudio, se ha agregado una sección denominada “pautas para la mejora”, en la cual se indica en primer lugar, las razones que fundamentan cada aspecto contenido en el instrumento (¿Por qué?), y en segundo lugar, algunas medidas o recomendaciones que se pueden adoptar para mejorar dicho planteamiento (¿Cómo?), estas últimas basadas en estándares aceptados en medios y bibliografía profesional del área; en la tabla 3 se presenta un extracto de esta sección del instrumento.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con relación a la etapa de planeación en el proceso de mejoramiento de los métodos de trabajo, se pudo evidenciar que en el sector estudiado no se encuentra desarrollada la función planeación de forma adecuada, donde se establezcan objetivos concretos a ser cumplidos, y que a la vez se diseñen planes de acción al respecto. Poca atención se le da a esta fase, y en muchos casos se van efectuando las mejoras sobre la marcha, según se vayan necesitando los cambios, y enfocados principalmente a fallas en las máquinas o en los productos, pero sin que esto corresponda a metas preestablecidas de mejora.

En este sentido, algunos autores como Longenecker, *et al.* (2001) mencionan que en la mayoría de los pequeños negocios, la cantidad de planeación que sus administradores realizan suele ser muy poca, menos de lo ideal, y la misma tiende a ser fortuita, informal y orientada a asuntos específicos urgentes; aquí los administradores constantemente se encuentran ocupados en el día a día de sus negocios, lo que causa que no exista tiempo para la planeación, y la misma termine siempre relegada a un segundo plano. Estos autores señalan además que este tipo de organizaciones pudieran funcionar mejor e impactar positivamente en sus estructuras de costos si se aumentara la cantidad de planeación formal, y que la misma se efectuara de una manera más sistematizada.

Respecto a la organización para el mejoramiento de los métodos de trabajo, es importante señalar que dado el tamaño de este tipo de empresas, el personal calificado,

específicamente del área de ingeniería industrial, generalmente está dedicado a una gran cantidad de funciones o actividades urgentes dentro de la empresa, lo que origina que las actividades que tienen que ver con el mejoramiento de los métodos de trabajo, no se encuentren establecidas dentro de sus prioridades, y terminen por dejarlas de lado. Inclusive, en algunas empresas no existe personal preparado para desarrollar este tipo de actividades, y por supuesto esto implica que, prácticamente en la totalidad de las empresas, no figure dentro de su estructura organizativa funciones explícitas relacionadas a la organización y métodos, ingeniería industrial u otras afines, encargadas de guiar el mejoramiento del trabajo en la empresa.

Longenecker, *et al.* (2001) consideran que una de las características de los administradores progresistas, es precisamente que buscan la participación y colaboración de los empleados en aquellas decisiones que afectan al personal y a los procesos en general; mencionan además que es fundamental en una organización crear las vías directas de comunicación entre administradores y empleados de manera efectiva, de tal manera que puedan discutir abiertamente los problemas y las ideas o alternativas para su solución. Estos mismos autores preponderan a las sesiones o reuniones periódicas, los tableros de información y los buzones de sugerencias, como técnicas prácticas para el mejoramiento de la comunicación bidireccional en las organizaciones.

Con relación a la fase de ejecución, es importante señalar la poca sistematización del proceso de mejoramiento, no se percibe una clara secuencia de las diferentes fases del mejoramiento, que abarcan desde la identificación y selección del trabajo a ser mejorado, hasta la implantación y seguimiento de las mejoras generadas, sino más bien se perciben algunas de estas etapas pero de manera puntual, y atendiendo a la disponibilidad de tiempo de las personas a cargo y la urgencia del caso.

## CONCLUSIONES

Se conocieron las prácticas operativas y gerenciales actuales del sector de la PyME metalmecánica relacionadas al mejoramiento de los métodos de trabajo, donde si bien, se identificaron algunas fortalezas, también se detectaron ciertas debilidades, lo que indica que en general, el proceso de mejoramiento llevado a cabo no es el adecuado, originando así un conjunto de posibilidades de mejora en dichos procesos.

Se configuró un sistema de gestión orientado al mejoramiento de los métodos de trabajo en la PyME, en el cual, la definición de objetivos concretos, el análisis o revisión crítica del trabajo seleccionado y la concepción sistemática y continua del proceso de mejora, se constituyeron en sus factores claves; basándose además en la autogestión como su pilar fundamental, es decir, que la misma empresa se encargue de implementar y gestionar el sistema de gestión propuesto.

Se diseñó un instrumento de auto evaluación y mejoramiento de los métodos de trabajo, el cual constituye un punto de partida, y en la medida en que se vaya utilizando y aplicando, se podrá ir revisando y afinando, de modo de construir un instrumento más certero y versátil, con la posibilidad de poderse adecuar a otros rubros industriales, e inclusive a otros tamaños de empresas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIANI, C.; BIASCA, R. y RODRÍGUEZ, M. Un nuevo sistema de gestión para lograr PyMEs de clase mundial. 2a edición. México. Norma Ediciones. 2004.
- COMMARMOND, G. y EXIGA, A. Cómo fijar objetivos y evaluar resultados. Edición especial para El Nacional. Colección Gerencia Empresarial. Ediciones Deusto. Bilbao. España. 2001.
- HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. Metodología de la investigación 2a. edición. México. McGraw-Hill Interamericana Editores. P. 60.1998.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Directorio Industrial Táchira 2005. (Información digital). San Cristóbal: INE. 2005.
- LONGENECKER, J.; MOORE, C. y PETTY, J. Administración de pequeñas empresas. 11a. edición. México. International Thomson Editores. 2001.
- MINISTERIO DE TRABAJO y ASUNTOS SOCIALES DE ESPAÑA. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Lista de comprobación ergonómica. Obtenido de Word Wide Web Site <http://www.mtas.es/insht/practice/guias.htm>. s.f. Fecha de consulta: 2006.
- UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. CIU Rev.3. Obtenido de Word Wide Web Site. <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=2&Lg=3>. Fecha de consulta: 2004.
- UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR. Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales. 3a. edición. Caracas. Vicerrectorado de Investigación y Postgrado. 2003.

# DISEÑO DE BLOQUES INCOMPLETOS BALANCEADOS APLICANDO BÚSQUEDA TABÚ

(Design of Incomplete balanced blocks through the Tabu Search)

**Rodríguez, D.**

Departamento de Ingeniería en Informática,  
Universidad Nacional Experimental del Táchira,  
San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela  
Correo electrónico: [drodri@unet.edu.ve](mailto:drodri@unet.edu.ve)

## RESUMEN

El presente artículo describe los resultados obtenidos al aplicar un algoritmo básico para la resolución del problema del diseño de bloques incompletos. A través del uso de la técnica del multi-arranque retornando sobre el camino recorrido se puede mostrar que se obtienen buenos resultados para valores del parámetro  $k$  iguales a 3. La propuesta utiliza el algoritmo de búsqueda local Tabu Search (Búsqueda Tabú) y muestra buenos resultados de acuerdo a las pruebas realizadas. Para probar el algoritmo se utilizó instancias del problema con  $b \cdot v < 450$ .

**Palabras Clave:** Tabu search, búsqueda local, multi-arranque, diseño de bloques incompletos.

## ABSTRACT

This article describes the results obtained when a basic algorithm is applied to solve the incomplete blocks design problem. Through the use of the multi start technique returning over the recurred way good results can be shown for parameter values of  $k$  equals to 3. This work uses the local search algorithm Tabu Search and shows good results according to some applied tests. Problem instances with  $b \cdot v > 450$  were used to prove this algorithm.

**Key Words:** Tabu search, local search, multiple start, incomplete blocks design.

## INTRODUCCIÓN

Gran parte de los problemas del mundo real implican la optimización simultánea de varios objetivos que generalmente presentan conflictos entre ellos; es decir, la mejora en uno conduce a un deterioro en el otro. La presencia de tales tipos de problemas es tan significativa, que consume gran parte de nuestro tiempo cotidiano de decisión. Se trata, por ejemplo, de escoger el medio ideal para llegar al trabajo, establecer el orden de nuestras tareas, elegir el restaurante para el almuerzo, hacer las compras en el supermercado, preparar la cena y la distribución de actividades en el tiempo de ocio restante. También es el mismo tipo de problemas que enfrentan los ingenieros y técnicos a la hora de diseñar e implementar sistemas de todo tipo: existen múltiples objetivos a cumplir y se espera lograrlos todos en la medida de lo posible. El abordaje de estos problemas supone un gran número de combinaciones de posibles soluciones hasta lograr encontrar la solución óptima o al menos llegar a una aproximación de ésta. A este tipo de problemas se les llama problemas de optimización combinatoria y son un tema altamente estudiado hoy en día por los investigadores de la mayoría de las ciencias. Al resolver un problema de optimización combinatoria, podemos decir que hay que considerar dos ámbitos de dificultad en el problema: la búsqueda y la toma de decisiones. El primer aspecto se refiere al proceso de optimización, durante el cual se explora el espacio de soluciones factibles buscando las soluciones óptimas. El segundo aspecto es equivalente a seleccionar un conjunto de soluciones de compromiso que se utilizarán, del conjunto óptimo ya definido.

Las metaheurísticas son estrategias generales para diseñar procedimientos heurísticos con el fin de resolver un problema de optimización mediante un proceso de búsqueda en un cierto espacio de soluciones alternativas. Los procesos de búsqueda heurística están generalmente basados en transformaciones de las alternativas que determinan una estructura de entornos en el espacio de soluciones. Por otro lado los métodos de búsqueda local se basan en la optimización de una función objetivo. Se parte de una asignación inicial, la cual se va mejorando, realizando modificaciones locales hasta llegar a un óptimo. El cómo se buscan las vecindades y cuál vecino se usa en el reemplazo se conoce como la regla del pivoteo, que se puede resumir como:

- Seleccionar el mejor vecino de todos.
- Seleccionar el primer vecino que mejora la solución.

Los algoritmos de búsqueda local han sido aplicados satisfactoriamente en muchos problemas de optimización. Hansen y Jaumard (1990) describen experimentos utilizando búsqueda local para MAX-SAT aplicando Random Walk Startegg y como forma de escapar de los mínimos locales en problemas de satisfactibilidad. Papadimitriou *et al.* (1990), realizan un análisis de la complejidad de la búsqueda local, resaltando el paradigma de optimización local. Hansen (1997) presenta un método Multiobjetivo para resolver problemas combinatorios a través de la Búsqueda Tabú, la propuesta trabaja con un conjunto de soluciones actuales que, con la manipulación de pesos, se optimizan hacia zonas no tratadas. Por su parte Hansen y Mladenović (1997) han propuesto la búsqueda de entorno variable (VNS) que está basada en un principio simple: cambiar sistemáticamente de estructura de entornos dentro de la búsqueda. Finalmente, Glover *et al.* (2000) estudian las implementaciones más recientes del método *Scatter Search* en la resolución de problemas de optimización combinatoria, además de mostrar las conexiones entre este método y el denominado re-encadenamiento de Trayectorias.

En general los algoritmos de búsqueda local encuentran una buena solución, pero no necesariamente la óptima. Además el costo computacional en cuanto al tiempo de ejecución es del orden exponencial, esto se debe a que en la mayoría de los casos el algoritmo se queda atrapado en un mínimo local sin avanzar hacia la cima donde se encuentran los óptimos globales.

El presente trabajo muestra los resultados de aplicar búsqueda local, específicamente *Tabú Search*, para encontrar soluciones al problema del diseño de bloques incompletos para estancias con  $b \cdot v < 450$ . Las pruebas muestran resultados aceptables comparados con métodos de fuerza bruta.

### El diseño de bloques incompletos

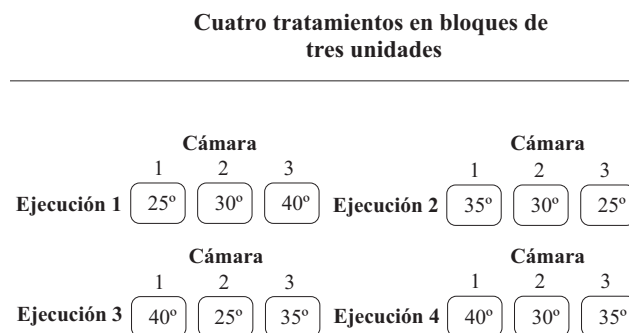
Los diseños de bloques en general, son arreglos que se realizan con la finalidad de tener el control de forma sistemática sobre la variabilidad debida a fuentes externas. Cuando estas fuentes de variabilidad existen, es posible generar diseños por bloques capaces de separar y eliminar esta variación del resto de los efectos de los factores de interés. Fisher (1926) ha sido el pionero en desarrollar y consolidar los principios básicos de diseño y análisis que hasta la fecha son prácticas necesarias para llegar a resultados de investigación válidos. En 1926 publicó el primer resumen completo de sus ideas en el artículo "*The Arrangement of Field Experiments*" (Arreglo de los



experimentos de campo), donde describe los componentes fundamentales de los experimentos en el área de pruebas agrícolas.

El diseño de bloques incompletos balanceados (BIBD = *Balanced Incomplete Block Design*) compara todos los tratamientos con igual precisión y es un arreglo tal que todos los tratamientos tienen igual número de réplicas y cada par de tratamientos se presenta en el mismo bloque un número igual de veces en algún lugar del diseño, el balance obtenido con el mismo número de ocurrencias de todos los pares de tratamientos en el mismo bloque tiene como resultado una precisión igual en todas las comparaciones entre los pares de medias de tratamientos. La figura 1, muestra un experimento donde se desea determinar a que intervalos de

temperatura podía esperarse la inhibición de la germinación de las semillas de tomate, para un grupo de cultivo. Se eligió cuatro temperaturas, para representar un intervalo común para el área de cultivo: 25°, 30°, 35° y 40°. Se utilizaron cámaras de ambiente controladas para aplicar a las semillas las temperaturas señaladas. Se puede apreciar que el bloque completo y la replica del experimento requerían de 4 cámaras, pero debido a la disposición, sólo se emplearon 3. Como el bloque natural de una ejecución tenía menos cámaras (unidades experimentales) que tratamientos, se construyó un diseño de bloques incompletos. Aquí se puede apreciar un diagrama del diseño, en el que se probaron tres temperaturas diferentes en cada una de las cuatro ejecuciones.



**Figura 1.** Diseño de bloques incompletos

Raghavarao (1971), define un BIBD como un arreglo de  $v$  símbolos y  $b$  conjuntos en los que cada uno de los  $k < v$  símbolos, deberán de satisfacer las siguientes condiciones:

- Cada símbolo aparece al menos una vez en cada conjunto.
- Cada símbolo aparece en exactamente  $r$  conjuntos.
- Cada par de símbolos aparecen juntos exactamente en  $\lambda$  conjuntos.

Los parámetros de un BIBD son  $(v, b, r, k, \lambda)$ , donde:

- $v$  es el número de variedades en el diseño.
- $b$  es el número de bloques.
- $r$  es el número de réplicas en cada variedad.
- $k$  es el número de veces que un objeto puede repetirse en un determinado bloque.
- $\lambda$  es el número de conjuntos en donde cada par de símbolos aparece, el cual deberá de satisfacer que  $\lambda(v-1) = r(k-1)$ .

El PBIBD es un tema altamente tratado en áreas como la matemática discreta y la estadística, es por ello que se han construido un gran número de algoritmos para su resolución. Muchas de esas propuestas están dirigidas a la optimización combinatoria, como lo es el algoritmo *Hill-Climbing* aplicado por Stinson (1985), *simulated annealing* usado por Morales (2005). Jhon *et al.* (1993) utilizaron métodos de programación matemática para la búsqueda de un diseño óptimo en una clase binaria y su equivalencia en el diseño de bloques incompletos donde todos los tratamientos tienen igual importancia. Zergaw (1989) consideró el caso de la correlación de errores y presentó un algoritmo secuencial, para la construcción de diseño de bloques óptimos, de igual forma, Tjur (1983) incorpora el uso de procedimientos de intercambio para el desarrollo de un algoritmo, el cual construye diseños de bloques, por medio de la incorporación de unidades experimentales una por una. Flener *et al.* (2001) proponen un modelo matricial para el frenado de las simetrías en filas y

columnas, allí se describe cómo es posible aplicar programación por restricciones para el intercambio de filas y columnas. A través de la incorporación de un número de restricciones demuestran la posibilidad de eliminar las simetrías, esta técnica es aplicada al problema BIBD, utilizando la herramienta ECLIPSE con un ordenamiento lexicográfico de las restricciones. Para Puget (2005) el problema de diseño de bloques incompletos balanceados, puede ser resuelto como un problema de satisfacción de restricciones por medio de un modelo matricial  $\mathbf{v}$  por  $\mathbf{b}$ . Cada variable en la matriz es una variable binaria  $\mathbf{m}[i,j]$  con dominio  $\{0,1\}$ . Puget propone el uso del método SBDD en combinación con STAB. Por su parte Prestwich (2003) propone un modelo de restricciones binario y la aplicación de métodos de búsqueda local como ZSAT y WSAT. Walsh (2003) aborda la resolución del problema BIBD a través de un modelo matricial con el uso de patrones; la propuesta incluye el ordenamiento lexicográfico de las restricciones para el frenado de las simetrías en filas y columnas.

### Tabu search

La búsqueda tabú (*Tabu Search* – TS) procede como cualquier algoritmo de búsqueda: dada una solución  $\mathbf{x}$  se define un entorno o vecindario  $\mathbf{N}(\mathbf{x})$ , se evalúa y se “mueve” a una mejor solución pero, en lugar de considerar todo el entorno o vecindario la búsqueda tabú define el entorno reducido  $\mathbf{N}^*(\mathbf{x})$  como aquellas soluciones disponibles (no tabú) del entorno de  $\mathbf{x}$ .

La búsqueda tabú tiene sus antecedentes en métodos diseñados para cruzar cotas de factibilidad u optimización local tratadas con barreras en procedimientos clásicos, e imponer y eliminar cotas sistemáticamente para permitir la exploración de regiones no consideradas en otro caso, Glover (1977). Según Ware *et al.* (2002) el espacio de búsqueda  $\mathbf{S}$  donde TS puede ser aplicado es considerado como un conjunto de  $i$  movimientos de  $\mathbf{M}=\{\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_i\}$ , tomando un estado  $\mathbf{s}$  de los  $i$  movimientos factibles tal que  $\mathbf{s} \in \mathbf{S}$ , los cuales representan soluciones diferentes de  $\mathbf{M}(\mathbf{s})=\{\mathbf{m}_1(\mathbf{s}), \mathbf{m}_2(\mathbf{s}), \dots, \mathbf{m}_i(\mathbf{s})\}$ . El subconjunto  $\mathbf{N}(\mathbf{s}) \subseteq \mathbf{M}(\mathbf{s})$  de soluciones factibles es conocido como el vecindario de

$\mathbf{s}$ . El método inicia con una solución  $\mathbf{s}_0 \in \mathbf{S}$  y determina una secuencia de soluciones  $\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \dots, \mathbf{s}_i \in \mathbf{S}$ , a través de una serie de movimientos. En cada iteración una solución del vecindario es seleccionada ( $\mathbf{s}_{i+1} \in \mathbf{N}(\mathbf{s}_i)$ ). Para el proceso de selección es necesario determinar el conjunto de los  $\mathbf{s}_i$  movimientos tabú del vecindario  $\mathbf{T}(\mathbf{s}_i) \subseteq \mathbf{N}(\mathbf{s}_i)$  y el conjunto de posibles candidatos del vecindario que no son tabú  $\mathbf{A}(\mathbf{s}_i) \subseteq \mathbf{T}(\mathbf{s}_i)$ . La nueva solución será aquel mejor aspirante o vecino no tabú. El proceso se detiene cuando se obtenga una solución aceptable o cuando se llegue a cumplir el número de iteraciones deseado.

## MÉTODO

El tipo de estudio según el alcance de la propuesta se enfoca en una investigación de tipo aplicada. Las pruebas para verificar el rendimiento del algoritmo se realizaron sobre estancias del problema PBIBD con parámetros  $\mathbf{b} * \mathbf{v} < 450$ , verificando si se obtenía solución al problema o no y considerando el número de evaluaciones de la función objetivo que el algoritmo ejecutaba para llegar a ellas.

Para la representación del problema se empleará un modelo matricial, basándonos en la propuesta realizada por Walsh (2003), para este autor un modelo matricial se basa en la programación con restricciones donde existe una o más matrices de variables de decisiones. Muchos problemas combinatorios pueden ser modelados naturalmente por medio de la programación con restricciones usando modelos matriciales en dos dimensiones. Según Flener *et al.* (2001), el problema del diseño de bloques incompletos balanceados (BIBD) es un problema combinatorio estándar en la teoría del diseño y se describe como: “Un arreglo de  $\mathbf{v}$  objetos distintos colocados en  $\mathbf{b}$  bloques, tal que, cada bloque contiene exactamente  $\mathbf{k}$  objetos diferentes, además de que cada objeto aparece en  $\mathbf{r}$  diferentes bloques y 2 objetos distintos aparecen juntos en exactamente  $\lambda$  bloques. Un ejemplo de esta representación se puede ver en la figura 2.

1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	0	0
0	1	0	0	1	1
0	0	0	1	1	1
1	0	1	0	0	1
1	1	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0
0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0
0	1	1	0	0	1

Figura 2. Ejemplo de solución para BIBD (6,10,5,3,2)

El modelo más directo, planteado como un problema de satisfacción con restricciones, en BIBD, está dado por una matriz binaria donde cada variable  $m_{ij} \in \{1,0\}$ . Según este esquema existen tres tipos de restricciones a saber:

- Para  $v$  existe una  $b_{aria}$  restricción por cada  $r$  unos por fila.
- Para  $b$  existe una  $v_{aria}$  restricción por cada  $k$  unos por columna.
- Para  $v(v-1)/2$  existen  $2b_{aria}$  restricción para cada  $\lambda$  conjuntos de unos en cada par de filas.

Por otra parte, el proceso que permite buscar una solución óptima se llevará a cabo por medio de la ejecución de al menos 150000 evaluaciones de la función objetivo. En el proceso de profundización de la búsqueda es evidente que el algoritmo pueda quedar atrapado en un óptimo local, lo que obligará a reiniciar la búsqueda desde otro punto del espacio de soluciones, se hará volviendo sobre la huella y no iniciando sobre otro punto aleatorio.

### Representación de la solución

Para este problema en particular se considerará que cada una de las matrices de incidencia que corresponden a una posible solución, representan una solución candidata, así en la figura 2 estaría representado un individuo. Para efectos de mayor maniobrabilidad se trabajará con un arreglo de valores enteros para representar cada matriz (individuo). Así por ejemplo, la figura 2 que representa un individuo, quedaría expresada como:

(824,405,47,838,218,737)

Por lo tanto, cada solución candidata está expresada como una matriz tal que:

- Cada fila representa el número de objetos a considerar en cada experimento, en este caso estará representada por  $v$ .
- Cada columna representa el número de bloques en total a considerar, la variable correspondiente esta dada por  $b$ .

Así la matriz resultante tendrá  $b \times v$  dimensiones y el posible valor que puede tomar una variable en cada celda de la matriz esta dado por un valor binario  $\{0,1\}$ . Los demás parámetros como:

- $r$  está contenido en las filas de la matriz, e indica el número de unos que pueden aparecer en cada fila.
- $k$  está contenido en las columnas de la matriz, e indica el número de bloques en los cuales un objeto puede repetirse, es decir, el número de unos que pueden aparecer en cada columna.
- $\lambda$  está representado por el producto escalar entre cualquier par de columnas de la matriz, es decir, el número de veces que un par de unos, de columnas diferentes, pueden repetirse.

### Función de evaluación

La forma en que se determinará cuando una solución candidata (matriz) es mejor que otra se hará por medio de:

- La suma de unos (1's) por cada fila.
- La suma de unos (1's) por cada columna.
- El producto escalar en cada par de columnas de la matriz de incidencia.

Tratando de seleccionar aquellas soluciones candidatas que tengan el menor número de discrepancias. En general se procederá de la siguiente forma, para las discrepancias:

- Para las filas: Se tomará el valor absoluto de la sumatoria de todos los 1's en la fila -  $k$ .
- Para las columnas: Se tomará el valor absoluto de la sumatoria de todos los 1's en la columna -  $r$ .
- Para el parámetro  $\lambda$  las discrepancias se obtiene al realizar el producto escalar entre cada par de columnas -  $\lambda$ .

Así, la función de evaluación nos dará el resultado de sumar todas las discrepancias de filas, columnas y el producto escalar por cada par de columnas. En general se tendría:

$$f(x) = \left| \sum_{i=1, j=1}^{v, b} (M_{ij}) - r \right| + \left| \sum_{j=1, i=1}^{b, v} (M_{ij}) - k \right| + \left| \sum_{j=1, c=j+1, i=1}^{b, v} (M_{ij} * M_{ic}) - \lambda \right|$$

Donde:  $v$  es el número de objetos,  $b$  es el número de bloques a considerar en el diseño,  $r$  es el número de objetos a colocar en cada bloque,  $\lambda$  es el número de repeticiones de cada par de objetos en todos los bloques

y  $k$  es el número de veces que debe repetirse un objeto en todos los bloques.

## RESULTADOS

Para la realización de las pruebas del algoritmo se utilizaron 14 estancias del problema del diseño de bloques incompletos, cada una de las cuales se ejecutó 20 veces y se tabularon los resultados tanto de las

ejecuciones que encontraron un óptimo como para aquellas donde no se logró una solución.

La medida de rendimiento del algoritmo se basó en determinar cuantas evaluaciones de la función objetivo se debía realizar para llegar al óptimo global o quedar atrapado en un óptimo local. Los resultados obtenidos se graficaron en base al porcentaje de ejecuciones donde se obtuvo una solución, esto respecto a las 20 ejecuciones. La figura 3 muestra el porcentaje de soluciones obtenidas al aplicar el algoritmo sobre las instancias atacadas.

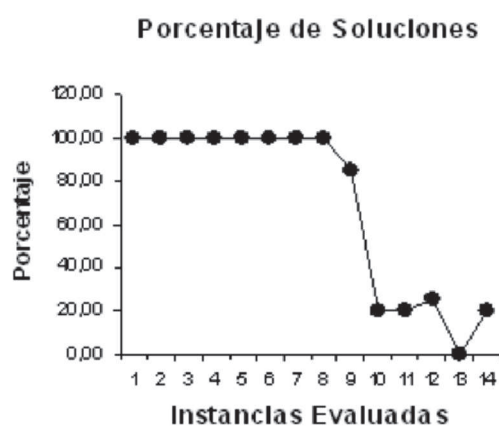


Figura 3. Porcentaje de ejecuciones con solución

El algoritmo fue ejecutado para todas las 14 instancias con un máximo de 150000 evaluaciones de la función objetivo. Esto quiere decir que si se encuentra un óptimo no necesariamente se consume el total de ejecuciones pautadas, pero al no lograr una solución óptima se consume el total de evaluaciones y se desiste de continuar con la búsqueda, con lo cual se considera que se queda atrapado en un óptimo local.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el cuadro de la figura 4, se recogen los resultados expresados en porcentajes de las situaciones en las que el algoritmo encontró una posible solución. Los porcentajes de soluciones son aceptables para la mayoría de las instancias evaluadas. Para la instancia (19,19,9,9,4) el algoritmo no alcanzó una solución en las 150000 evaluaciones de la función objetivo ya que es un caso particular muy duro de resolver, esto puede

explicarse debido al gran tamaño que se genera en el espacio de búsqueda para esta instancia en particular.

Sin embargo, de las 14 instancias estudiadas 13 de ellas obtiene resultados, esto indica que el algoritmo aplicado es aceptable en cuanto a la resolución del problema del diseño de bloques incompletos. Se ha podido notar que para valores de  $k > 3$  el problema se va haciendo más duro de resolver y el algoritmo se queda atrapado en óptimos locales con mayor frecuencia que para los casos donde el valor de  $k$  es igual a 3.

## CONCLUSIONES

Se ha propuesto un algoritmo que permite encontrar posibles soluciones al problema BIBD. El proceso que permite buscar una solución óptima se llevará a cabo por medio de la ejecución de al menos 150000 evaluaciones de la función objetivo. En el proceso de profundización de la búsqueda es evidente

que el algoritmo puede quedar atrapado en un óptimo local, lo que obliga a reiniciar la búsqueda desde otro punto del espacio de estados, en este caso se aplica un

proceso de intensificación que permitirá avanzar a zonas del espacio de búsqueda más prometedoras logrando encontrar una solución de manera más rápida.

v	b	r	k	$\lambda$	$\bar{x}_{Sol}$	$\bar{x}_{Eval.}$	$\mathcal{S}^2_{Sol.}$	$\mathcal{S}^2_{Eval.}$	% Sol.	% No Sol.
6	10	5	3	2	0,00	750,00	0,00	0,00	100,00	0,00
6	20	10	3	4	0,00	6630,00	0,00	880,84	100,00	0,00
6	30	15	3	6	0,00	20520,00	0,00	2721,23	100,00	0,00
7	7	3	3	1	0,00	504,00	0,00	0,00	100,00	0,00
7	14	6	3	2	0,00	3528,00	0,00	298,54	100,00	0,00
7	21	9	3	3	0,00	13570,20	0,00	4821,92	100,00	0,00
9	12	4	3	1	0,00	6004,80	0,00	522,55	100,00	0,00
9	24	8	3	2	0,00	34675,20	0,00	16166,49	100,00	0,00
10	30	9	3	2	0,60	77112,00	1,47	37678,00	85,00	15,00
11	22	10	5	4	4,00	93786,00	2,59	16112,51	20,00	80,00
13	26	8	4	2	3,95	387130,00	1,91	47083,00	20,00	80,00
15	15	7	7	3	10,20	128982,00	6,18	39816,20	25,00	75,00
19	19	9	9	4	43,00	150000,00	4,70	0,00	0,00	100,00
21	21	5	5	1	22,35	145236,00	12,68	14384,68	20,00	80,00

Figura 4. Tabla de resultados para 14 instancias

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FISHER, R. The arrangement of field experiments. Journal of the ministry of agriculture great britain P. 33.1926.
- FLENER, P.; FRISCH, A.; HNIC, B.; KIZILTAN, Z.; MIGUEL, I. y WALSH, T. Matrix modelling. In: Proceedings of the CP'01 workshop on modelling and problem formulation. pp.1-7. 2001.
- GLOVER, F. Heuristics for integer programming using surrogate constraints, decision science. 8:156-166. 1977.
- GLOVER, F.; LAGUNA, M. y MARTI, R. Fundamentals of Scatter Search and Path Relinking. Control and Cybernetics. 29(3):653-684. 2000.
- HANSEN, P. Tabu Search in Multiobjective Optimisation : MOTS. Proceedings of the 13th International Conference on Multiple Criteria Decision Making (MCDM'97). Cape Town, South Africa. 1997.
- HANSEN, J. y JAUMARD, B. Algorithms for the maximun satisfiability problem. Computing, 44:279-303. 1990.
- HANSEN, P. y MLADENOVÍČ, N. Variable neighborhood search for the p-median. Location Science, pp. 207-226.1997.
- JHON, J.; WHITAKER, D. y TRIGGS, C. Construction of cyclic designs using integer programming. Journal of Statistical Planning and Inference. 36:357-366.1993.
- MORALES, B. L. Constructing Cyclic PBIBD(2)s through an Optimization Approach: Thirty Two New Cyclic Designs, Journal of Combinatorial Designs 13(5): 377-387. 2005.
- PAPADIMITRIOU, H.; SCHAFFER, A. y YANNAKAKIS, M. On the complexity of local serach. Communications of the ACM. pp. 438-445. 1990.
- PRESTWICH, S. A local search algorithm for balanced incomplete block designs. In F. Rossi, editor, 9th international conference on principles and practices of constraint programming (CP2003) Springer LNCS. pp. 53-64. 2003.
- PUGET, J. Symmetry breaking revisited. Springer science, business media, Inc. Manufactured in the Netherlands. Constraints.10:23-46. 2005.



- RAGHAVARAO, D. Construction and combinatorial problem in design of experiments. Dover publications Inc. New York. pp.65-76.1971.
- STEINMANN O, STROHMAIER A, STUTZLE T. Tabu Search vs Random Walk. Advances in Artificial Intelligence (KI-97). 1997.
- STINSON D. R., Hill-Climbing, Algorithm for the construction of combinatorial designs, Annals of Discrete Math. 26:321-334.1985.
- TJURT. An algorithm for optimization of block designs. Journal of statistical planning and inference, 36: 277-282. 1983.
- WALSH, T. Constraint patterns. In F. Rossi, editor, 9th International conference on principles and practices of constraint programming (CP2003). Springer LNCS. 53-64. 2003.
- WARE, M.; IAN, D.; ANDREW, W. y CHRISTOPHER J. A tabu search approach to automated map generalization. Geographic information systems: Proceedings of the 10th ACM international symposium on advances in geographic information systems; 08-09 Nov. 2002.
- ZERGAW, D. A sequential method of constructing optimal block designs. Austral J. Statist. 31:333-342. 1989.

# REINGENIERÍA DEL SGAJ PARA SU EJECUCIÓN EN LA GRID

(Reengineering of the SGAJ version to implement in the Grid)

**Castro, J.; Casique, D.; Amaya, J.; López, J.**

Laboratorio de Computación de Alto Rendimiento (LCAR),  
Universidad Nacional Experimental del Táchira, (UNET)  
San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela,

Correos Electrónicos: [castrojenisse@gmail.com](mailto:castrojenisse@gmail.com), [daniel.casique@gmail.com](mailto:daniel.casique@gmail.com), [jedgar@unet.edu.ve](mailto:jedgar@unet.edu.ve), [jlopez@unet.edu.ve](mailto:jlopez@unet.edu.ve).

## RESUMEN

Se desarrolló un proceso de reingeniería a fin de mejorar al SGAJ y permitirle su ejecución en un entorno distribuido tipo Grid bajo una herramienta de dominio público denominada Globus Toolkit. El sistema alineador de secuencias mediante algoritmos genéticos o SGAJ fue desarrollado por López (2002), y consiste en una técnica de exploración evolutiva, que toma como entrada dos secuencias de ADN a fin de detectar zonas de alta similitud, según funciones de aptitud definidas para medir la calidad de los alineamientos. El SGAJ es un prototipo académico que requería mejoras en el desarrollo del algoritmo genético, así como en la documentación y exigencias de técnicas formales de ingeniería del software que garanticen su robustez.

**Palabras Clave:** Algoritmo genético, computación grid, globus.

## ABSTRACT

A process of reengineering was developed to improve the SGAJ and allow its execution in the distributed environment such as Grid under a public domain tool called the Globus Toolkit. The alignment sequence system through the use of genetic algorithms or SGAJ was developed by Lopez and it consists of an evolutionary searching technique which takes as input two sequences of DNA to detect areas of strong similarity according to aptitude functions to measure the quality of the alignments. The SGAJ is an academic prototype that required improvements in the development of genetic algorithm and in the documentation and formal requirements from the software engineering to ensure its robustness.

**Key Words:** Genetic algorithm, grid computing, globus toolkit.

## INTRODUCCIÓN

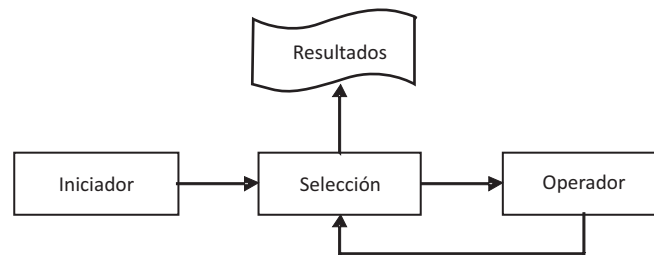
En la actualidad, científicos en el área de la biología analizan y estudian el ADN, empleando técnicas de alineamiento de secuencias para la búsqueda de similitud y homología, lo que requiere gran capacidad de procesamiento de cómputo. De ahí que, el análisis exhaustivo de la información requiere del estudio de diversos aspectos que hace necesario el desarrollo de herramientas computacionales para dar soporte a estas actividades (Salzberg *et al.*, 1998). Bajo esta perspectiva, López (2002), conjuntamente con otros investigadores de la Universidad de Los Andes (ULA), realizaron un estudio en el área de la Bioinformática, cuyo objetivo fue la construcción de un algoritmo genético alineador de secuencias de ADN (denominado SAGAJ por sus siglas en inglés), mediante una técnica de exploración evolutiva, en donde se opera la entrada de dos secuencias de ADN a fin de detectar zonas de alta similitud, según funciones de aptitud definidas para medir la calidad de los alineamientos. En particular, el SAGAJ se desarrolló en Java y se ejecuta sobre la plataforma de simulación (Dávila *et al.*, 2007), explotando sus facilidades estadísticas. El SAGAJ implementa operadores dedicados al cruzamiento, mutación e inserción de *gaps*. La aptitud de cada alineamiento es medida determinando el número de pares alineados y penalizando tal número, según sea el tipo y cantidad de *gaps* insertados (López, 2002) (Kumar y Filipinski, 2007). Los alineamientos implican generalmente múltiples secuencias de longitud muy variada, necesitando altos requerimientos computacionales (Thompson *et al.*, 1994) (Liu y Zhao, 2009). Por ello, resulta natural mejorar las estrategias de alineamiento, a fin de reducir los tiempos de búsqueda de posibles soluciones. Sin embargo, SAGAJ presentaba escasa documentación y pocas técnicas formales que garanticen su escalabilidad, útiles para futuros análisis y mejoras del sistema alineador de secuencias. El SAGAJ actualmente cuenta con una serie de adelantos realizados a través del tiempo en pro de la mejora de su rendimiento. Sin embargo, carece de la documentación apropiada útil para su entendimiento y otros problemas que afectan el óptimo desenvolvimiento del mismo. Se planteó entonces desarrollar un proceso de reingeniería del software aplicado al SAGAJ a fin de obtener una nueva versión que implemente la funcionalidad del sistema existente y añada además nuevas funciones y/o mejoras que le permitan ejecutarse en la Grid. Es por ello que el presente trabajo se enmarca en el estudio y análisis del algoritmo, mediante la aplicación de un proceso de

reingeniería del software, con el propósito de desarrollar una versión formalmente documentada en busca de mejorar los tiempos de respuesta ofrecidos por el sistema de alineación de secuencias. Por otra parte, los mecanismos de computación Grid fueron implementados a través del software de código abierto Globus Toolkit versión 3 (Globus, 2009), y por ende es la plataforma que ofrece al algoritmo genético un ambiente de computación robusto, a fin de asignar de manera dinámica los recursos necesarios para su ejecución. La instalación y puesta a punto de Globus Toolkit, permitió resolver apropiadamente los problemas descritos anteriormente. Para ello se realizó una instalación local, a fin de proveer un escenario de prueba necesario para la investigación, en el cual se incluyeron recursos ordinarios de computación como son las estaciones de trabajo.

### SAGAJ: Sistema Alineador de Secuencias de ADN

El sistema alineador de secuencias está inspirado en la estructura general que atienden todos los algoritmos genéticos, en el cual, una población inicial es evolucionada mediante selección para mejorar alguna característica particular de los individuos que la definen. En particular, las características que se desean evolucionar en el SAGAJ, es el alineamiento de un par secuencias portadas por cada individuo. Entonces, se busca la adecuada inserción, mutación e intercambio, a través de cruzamiento, a fin de hallar una secuencia consenso con las zonas de mayor similitud y el valor de similitud asociado a tal secuencia (López, 2002).

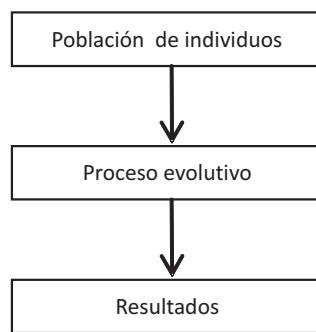
El algoritmo genético (Sivanandam y Deepa, 2008) se encuentra completamente desarrollado en Java y está compuesto por tres nodos de una red de simulación de eventos discretos gestionado por el simulador Galatea (Dávila *et al.*, 2007). La red se activa en el nodo iniciador para proceder a generar una población inicial. Luego el nodo seleccionador se encarga de determinar si algún individuo alcanza el umbral de similitud buscado, de ser así el proceso finaliza. En caso contrario, se determina la aptitud global para asignar probabilidades de selección a cada individuo y si no se ha agotado el número de generaciones especificadas por el usuario el nodo de selección elige una nueva población, a su vez, establece los alineamientos portados por cada individuo, así como también el nivel de similitud inherente a cada uno de ellos. Finalmente el nodo operador expone al grupo seleccionado al conjunto de operadores genéticos: inserción de *gaps*, ajuste, cruzamiento y mutación. En la figura 1 se muestra la estructura lógica del programa SAGAJ.



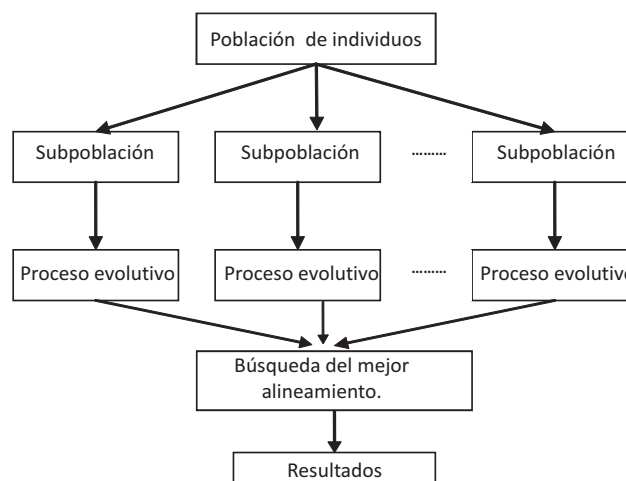
**Figura 1.** Organización de los nodos de algoritmo genético. (Mora y Palma, 2003)

El SAGAJ funciona bajo dos modos: secuencial y paralelo, tal y como se muestra en la figura 2 y 3. En el modo secuencial, se incluye solo un proceso evolutivo. El modo paralelo (Tajima, 1993) permite la definición de múltiples poblaciones para incorporar nuevos

espacios de búsqueda del problema. En particular, el paralelismo implementado está basado en los sistemas multiarranque (Gomes *et al.*, 2008), en lugar del modelo basado en islas, en el que definen políticas de migración de individuos entre los nodos.



**Figura 2.** El SAGAJ en modo secuencial

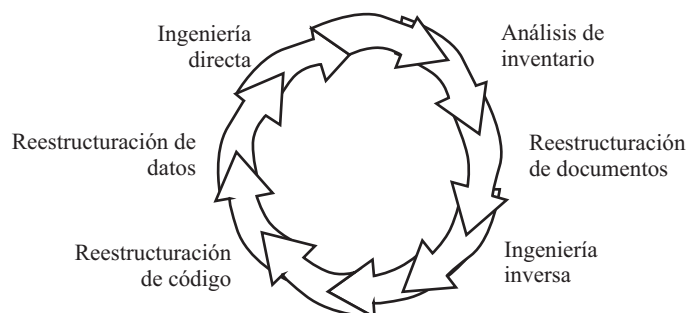


**Figura 3.** El SAGAJ en modo paralelo con multiarranque sin intercambio de individuos entre los nodos

### Proceso de reingeniería del software

La metodología de desarrollo de la presente investigación se fundamenta en el proceso de reingeniería del software presentado por Pressman (2000), en el cual se define seis (6) actividades como son: el análisis de inventario, reestructuración de documentos, ingeniería inversa, reestructuración de código, reestructuración de datos e ingeniería directa.

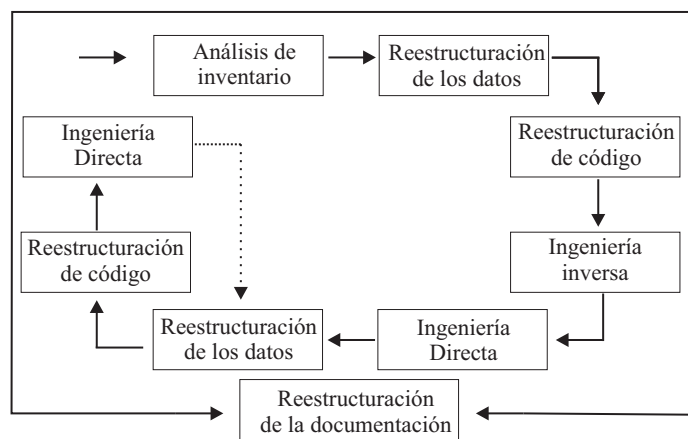
En la figura 4 se muestra el modelo lógico de reingeniería propuesto por Pressman (2000). El paradigma de la reingeniería es un modelo cíclico, i.e., que cada una de las actividades presentadas como parte del paradigma puede repetirse en otras ocasiones, para un ciclo en particular el proceso puede terminar después cualquiera de estas actividades.



**Figura 4.** Modelo de proceso de reingeniería del software (Pressman, 2000)

Dado que el proceso de reingeniería del software es un proceso cíclico y en el cual las actividades pueden repetirse en cualquier momento, se ha planteado el

proceso de reingeniería aplicado al SAGAJ como se ilustra en la figura 5 y que se describe en las siguientes secciones.



**Figura 5.** Proceso de reingeniería aplicado al SAGAJ. Cada uno de los rectángulos corresponde a una etapa del proceso de reingeniería respectivo

### Desarrollo de la metodología

En la fase de inventario se realizó una revisión bibliográfica a fin de obtener las especificaciones de las clases del SAGAJ, el registro de control de cambios

efectuados al algoritmo genético y la identificación y descripción de las herramientas del Java CoG Kit<sup>1</sup> (Laszewski *et al.*, 2001) necesarias para la ejecución del SAGAJ en la Grid. Luego en las fases de



reestructuración de datos y reestructuración de código, se estudió el algoritmo genético a fin de comprender su funcionamiento y se revisó cada una de las líneas de código para determinar sentencias innecesarias o redundantes, definiciones de datos incorrectas, nombres de variables y métodos no relacionados con su función.

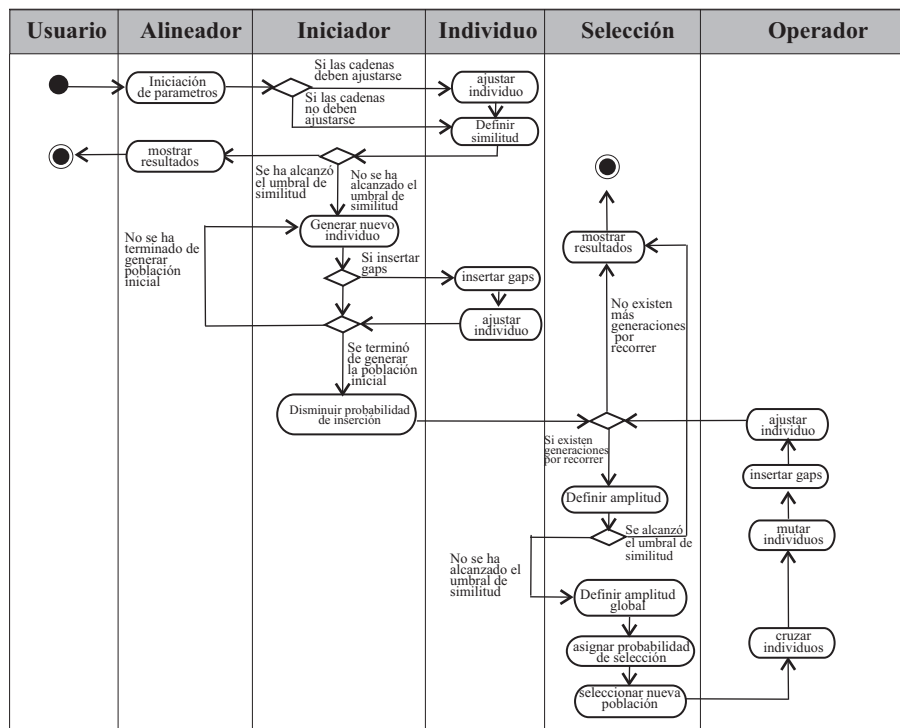
Se realizaron las modificaciones pertinentes en el código añadiendo nuevas características como la inicialización dinámica de parámetros. Además, se compiló y se probó la nueva versión mediante una prueba realizada bajo condiciones idénticas, tal y como se muestra en la tabla 1. Se obtuvo un tiempo de

ejecución menor al tiempo de ejecución de la versión original, con una mejora estimada del 6%.

Posteriormente, se realizó la fase ingeniería inversa en donde se utilizó la herramienta *Rational Rose®* para obtener una primera vista conceptual SAGAJ. Con la información obtenida en las fases anteriores se logró describir el modelo conceptual del SAGAJ a través de los diagramas de clases, diagrama de actividades, diagrama de secuencia, diagrama de colaboración, diagrama de paquetes y diagrama de casos de uso. En la figura 6 se describe el diagrama de actividades del SAGAJ.

**Tabla 1.** Comparación del tiempo de ejecución del SAGAJ para la versión original y modificada

Características del equipo:	Parámetros iniciales:
Procesador Intel Pentium IV 1.60GHz	Aplicación: NetBeans IDE 4.1
Tarjeta Madre Intel 845	Tamaño de la población: 2000
Disco duro de 40 GB IDE	Número de generaciones: 20
Memoria RAM 757 MB	Un mismo par de secuencia a alinear para ambas versiones
<b>Versión original</b>	<b>Versión modificada</b>
Perteneciente a la generación: 11	Perteneciente a la generación: 11
Similitud: 0.8680801	Similitud: 0.8680801
Numero de pares: 741	Numero de pares: 741
Tiempo requerido: 1 minutos 50 segundos	Tiempo requerido: 1 minuto 44 segundos

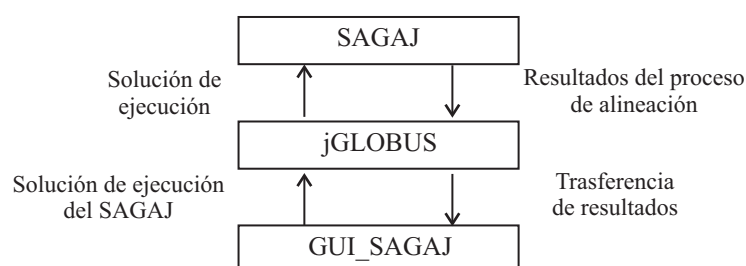


**Figura 6.** Diagrama de actividades del SAGAJ en la versión modificada. Cada una de las columnas corresponden a cada uno de los nodos constitutivos del SAGAJ

<sup>1</sup> Los CoG (por sus siglas en inglés de *Commodity Grid*) son programa para administrar la Grid en un nivel lógico superior. Permiten el desarrollo fácil y rápido de aplicaciones Grid. Promueven la reutilización del código y evitan la duplicación de esfuerzos entre los entornos Grid.

En la siguiente fase, i.e. ingeniería directa, se definió el diseño lógico de la nueva versión del SAGAJ que permite al algoritmo alineador disponer de una interfaz gráfica de usuario para la inicialización de parámetros, selección del modo de ejecución (secuencial o paralelo) y despliegue en pantalla de los resultados obtenidos. La arquitectura del software se trató como una estructura de

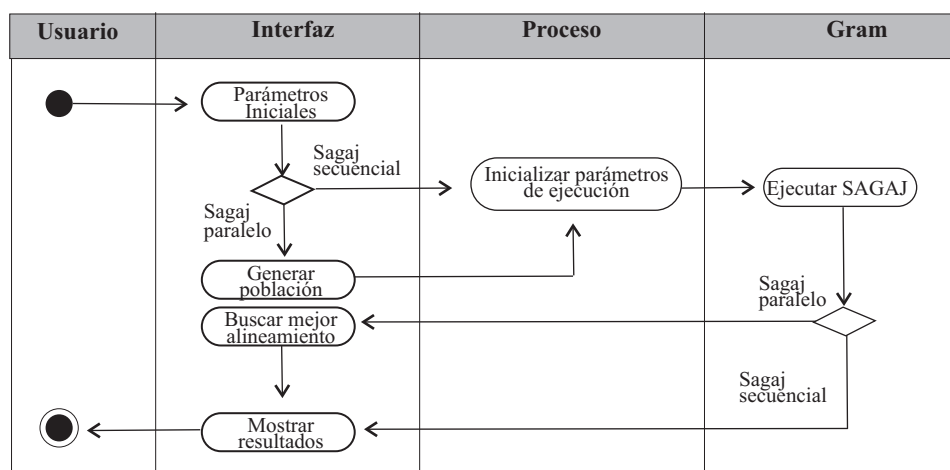
capas independientes entre si y que se comunican a través de mensajes, a fin de permitir modificaciones futuras de las capas pero manteniendo los mensajes de comunicación entre las capas. En la figura 7, se muestra el diagrama de capas como fue concebida la nueva versión del SAGAJ, i.e., SAGAJ, jGLOBUS y GUI\_SAGAJ.



**Figura 7.** Arquitectura del SAGAJ propuesta para su ejecución en Globus

La capa SAGAJ contiene el sistema alineador de secuencias de ADN modificado. La capa *jGLOBUS* es la API<sup>2</sup> de Globus Toolkit que permite la comunicación de la aplicación con la Grid. La *GUI\_SAGAJ* es la capa de interfaz gráfica del usuario, la cual tiene como objetivo desplegar una pantalla una interfaz que permita al usuario la personalización de los parámetros iniciales, la selección del modo de ejecución: secuencial o paralelo, los métodos necesarios para la comunicación con la

capa *jGLOBUS* y la interfaz de visualización de resultados. La fase de ingeniería directa se concluyó con la descripción del modelo conceptual del SAGAJ a través de los siguientes diagramas: clases, secuencias, colaboración, actividades, paquetes y caso de usos. En la figura 8, se muestra el diagrama de secuencia propuesto para la nueva versión del SAGAJ.



**Figura 8.** Diagrama de actividades del SAGAJ en la versión modificada para su ejecución en GRID. Cada columna corresponde a actividades de cada capa en el modelo

<sup>2</sup> La interfaz de programación de aplicaciones o API (siglas en inglés de *Application Programming Interface*) corresponde a un conjunto de funciones y procedimientos/métodos de una biblioteca de programas.

Luego de aplicada la fase de ingeniería directa, se llevó a cabo nuevamente las fases de reestructuración de datos y reestructuración de código, las cuales fueron efectuadas simultáneamente debido a la interdependencia entre ellas. Se desarrolló todo el código necesario para materializar el diseño lógico obtenido en la fase anterior –ingeniería indirecta–, programando las clases que permiten ejecutar el SAGAJ en la Grid a través de Globus Toolkit, i.e., implementando las clases *GridProxy*, *Copy* y *GRAM*.

La clase *GridProxy* permite obtener un nuevo *proxy* necesario para la transferencia de archivos y ejecución de trabajos en los diferentes nodos de la Grid.

El método *crearProxy()* habilita un nuevo proxy a partir de un nuevo certificado de autorización, utilizando la clave privada local (*private key*) en la Grid. Luego el certificado expedido funciona como un *proxy* que tiene un tiempo de vida máximo determinado.

La clase *Copy* permite la transferencia de archivos entre diferentes nodos de la Grid y fue desarrollada por el hecho de que el nodo raíz debe transferir al nodo en donde se ejecutará el proceso de alineación, el paquete *sagaj.jar* y los archivos que contienen las secuencias a alinear. Luego al finalizar el alineamiento, en el *i-esimo* nodo debe transferir el resultado al nodo raíz para la presentación del informe final de la ejecución.

La clase *GRAM* fue desarrollada con el propósito de obtener una interfaz que permitiera ejecutar el SAGAJ en la Grid mediante el API de Globus Toolkit. Para la ejecución de un trabajo es necesario un *string RSL (Resource Specification Language)* y el *RMC (Resource Manager Contact)*, para indicar la máquina con la cual se quiere hacer el contacto. Se utiliza la implementación de la clase *GramJobListener* para actualizar el estado del trabajo desde el administrador de recursos. Para ejecutar un trabajo, primero se debe crear un objeto del tipo *GRAM.Job* usando el parámetro *RSL*

correspondiente. El *job status listener* puede ser considerado como un monitor de trabajos en ejecución y el trabajo es lanzado para ser ejecutado mediante el administrador de recurso usando la instrucción *job.request()*.

Como última fase del proceso de reingeniería, se planificó el retorno a la fase de ingeniería directa, en donde se diseñó el escenario de pruebas para la nueva versión del SAGAJ. La tabla 2 muestra el software instalado en el servidor y los nodos de la Grid.

Se seleccionaron cinco computadores del Laboratorio de Computación de Alto Rendimiento de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela (LCAR) para la instalación de la Grid, la máquina identificada como *cordero.lcar.unet.edu.ve* fue seleccionada como el servidor. Se planificó las pruebas tomando en cuenta las características físicas de la computadora y el número de ejecuciones y se realizó el registro de los resultados obtenidos y comparaciones de rendimiento. También se realizaron pruebas para la validación de la configuración e instalación, validación de la comunicación y validación ante situaciones inesperadas.

Se seleccionaron secuencias de diferente longitud y se procedió a la ejecución en los diferentes modos disponibles del SAGAJ, i.e., la versión original, bajo Globus versión paralela y secuencial. Según los resultados obtenidos, a medida que aumentamos el tamaño de la población, la versión paralela presenta mejores resultados. La razón se debe a que se está explorando un espacio de búsqueda más amplio. Para una población pequeña (menor a 3000 individuos) el coste comunicacional es muy grande por lo que el método paralelo no es eficiente. La tabla 3 muestra la comparación de los resultados obtenidos con la versión original del SAGAJ.

**Tabla 2.** Software instalado en las computadoras de la Grid. El servidor RFT es un servicio basado en OGSA que proporciona interfaces de control y seguimiento de las transferencias de archivos utilizando servidores GridFTP

Computador	Software
cordero.lcar.unet.edu.ve	Globus, Servidor Myproxy, Servidor RFT.
capacho.lcar.unet.edu.ve	Globus
rubio.lcar.unet.edu.ve	Globus
sucre.lcar.unet.edu.ve	Globus
lobatera.lcar.unet.edu.ve	Globus

Tabla 3. Comparación de resultados

		SAGAJ en Globus. Modo secuencial	SAGAJ en Globus. Modo Paralelo	SAGAJ. Versión original
<b>Prueba 1</b>	Población	2000	2000	2000
	Generaciones	20	20	20
	similitud	741	743	740
	Pares alineados	0.868	0.866	0.867
	Tiempo de ejecución (seg)	63	90	69
<b>Prueba 2</b>	Población	3000	3000	3000
	Generaciones	20	20	20
	similitud	744	744	744
	Pares alineados	0.871	0.870	0.871
	Tiempo de ejecución (seg)	90	92	108
<b>Prueba 3</b>	Población	4000	4000	4000
	Generaciones	20	20	20
	similitud	744	739	744
	Pares alineados	0.870	0.868	0.868
	Tiempo de ejecución (seg)	121	95	147

Finalmente, la fase de reestructuración de documentos se ejecutó a lo largo de todo el proceso, a fin de documentar el software simultáneamente al proceso de cambio.

## CONCLUSIONES

Mediante la aplicación del proceso de reingeniería del software se logró mejorar el sistema alineador de secuencias de ADN – SAGAJ, en cuanto a su documentación y rendimiento, además de permitirle su ejecución en la Grid. Adicionalmente, la notación estándar UML para la construcción de modelos de aplicaciones, por medio de conceptos orientados a objetos, permitió desarrollar un software robusto y de fácil mantenimiento en el tiempo.

La aplicación desarrollada es capaz de proponer diferentes esquemas de procesamiento para el mismo problema, mediante la modificación de los parámetros iniciales. Corresponde a los expertos decidir los parámetros iniciales óptimos para obtener alineamientos de mayor interés biológico.

Por otra parte, la aplicación ha sido desarrollado bajo una arquitectura de capas independientes entre si y que se comunican a través de mensajes (sentencias *jGLOBUS* y transferencia de archivos), a fin de permitir un fácil mantenimiento.

Además, se modificó la versión paralela del SAGAJ mediante la estandarización del algoritmo para ambas versiones (secuencial y paralelo) en donde se sustituyeron las sentencias MPI (interfaz de pase de mensajes o message passing interface) por sentencias propias del *jGLOBUS*, eliminando la serialización – deserialización de objetos para la migración y disminuyendo el intercambio de mensaje entre los nodos participantes en el proceso de alineación.

Durante las pruebas del software se determinó que para un tamaño suficientemente grande de población el proceso de alineación falla, ocurriendo un error en la pila de ejecución, propio del lenguaje Java. Esta situación depende de las características de la máquina virtual en la que se ejecuta el SAGAJ. Por ende, es recomendable que para un número grande de población el proceso de alineamiento se realice bajo el modo paralelo, o en su defecto se modifiquen los parámetros de la máquina virtual de Java.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DÁVILA, J.; UZCÁTEGUI, M.; TUCCI, K. From a Multi-Agent Simulation Theory to Galatea. Proceedings of Summer Computer Simulation Conference (SCSC07). The Society For Modelling and Simulation International. 2007.

- GLOBUS ALLIANCE. Globus Toolkit. Obtenido de World Wide Wide Site. <http://www.globus.org/> 2009.
- GOMES, F.; MENESES, C.; PARDALOS, P.; VIANA, G. A parallel multistart algorithm for the closest string problem. *Comput. Oper. Res.* Volume 35. Number 11:3636-3643. 2008.
- KUMAR, S.; FILIPSKI, A. Multiple sequence alignment: in pursuit of homologous DNA positions. *Genome Res.* 17(2):127-135. 2007.
- LASZEWSKI, G.; FOSTER, I.; GAWOR, J.; LANE, P. A java commodity grid kit. *Concurrency and computation: practice and experience.* 13:643-662. 2001.
- LIU, X.; ZHAO, Y. A scheme for multiple sequence alignment optimization. *Journal Theor. Biol.* 2009.
- LÓPEZ, J. Computación evolutiva en el alineamiento de secuencias de ADN. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela. Trabajo de ascenso. 2002.
- MORA, N.; PALMA, R. Optimización y paralelizado de un algoritmo genético especializado en el alineamiento de secuencias de ADN, ejecutado en el entorno de metasistemas SUMA. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Tesis de Grado. Venezuela. 2003.
- PRESSMAN, R. Ingeniería del software. Un enfoque Práctico. 4ta Edición. Mc Graw Hill. 2000.
- SALZBERG, S.; SEARLS, D.; KASIF, S. Computational methods in molecular biology. elsevier science. 1998.
- SIVANANDAM, S.; DEEPA, S. Genetic algorithm optimization problems. Introduction to genetic algorithms, springer. 2008.
- TAJIMA, K. Multiple sequence alignment using parallel genetic algorithms. Institute for social information science, fujitsu laboratories Ltd., Japan. 1993.
- THOMPSON, J.; HIGGINS, D.; GIBSON, T.; CLUSTAL, W. Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Res.* 22:4673-4680. 1994.



# IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ETANOL

(Identification and evaluation of environmental impacts in the process of ethanol production)

**Araujo, E.; Carrero, D.**

Departamento de Ingeniería Ambiental,  
Universidad Nacional Experimental del Táchira, (UNET),  
San Cristóbal estado Táchira, Venezuela  
Correo electrónico: [earaujo@unet.edu.ve](mailto:earaujo@unet.edu.ve)

## RESUMEN

El presente trabajo es el resumen de una investigación sobre la situación ambiental de las empresas productoras de alcohol etílico, con la finalidad de identificar las actividades de impacto ambiental que refuerzan la necesidad de incorporar el tema ambiental en los esquemas gerenciales de las empresas. La investigación se inició con una recopilación de información bibliohemerográfica, y continuó con un estudio diagnóstico para reconocer las fortalezas y debilidades de una empresa referencial, logrando estimar el uso de recursos naturales y de energía, así como la generación de posibles agentes contaminantes que permiten identificar los impactos ambientales que se originan en cada una de las actividades realizadas en el proceso de producción de etanol. Posteriormente, se identifican los aspectos sujetos a control legislativo y son evaluados de acuerdo con la norma correspondiente. Para los aspectos que no cuentan con regulaciones legislativas o que carecen de datos de medición, se emplea la valoración por criterios integrados. Finalmente la investigación concluye que el proceso productivo del alcohol etílico genera potenciales impactos ambientales en todas y cada una de sus fases.

**Palabras Clave:** Destilerías, vinaza, sistemas de gestión ambiental, etanol, contaminación.

## ABSTRACT

This paper is a summary of a research on the environmental situation of the ethanol producing companies, with the aim of identifying the environmental impact of activities that reinforce the need to incorporate the environment management in the schemes of the companies. The research began with a collection of documentary information, and continued with a diagnostic study to identify the strengths and weaknesses of a company benchmark, it achieved to estimate the use of natural resources and energy, and the generation of potential pollutants that can identify environmental impacts arising from each of the activities involved in the production process. Subsequently, it identifies the issues subject to legislative control and they are assessed according to the relevant rule. For those aspects which do not have laws or regulations which lack of measurement data, the integrated assessment criterion is used. Finally, the research concludes that the ethanol production process creates potential environmental impacts in each of its phases.

**Key Words:** Distilleries, environmental impacts, ethanol, pollution.

## INTRODUCCIÓN

En busca de mejorar su calidad de vida, el hombre ha intervenido y modificado el ambiente; no obstante, el ambiente ha sido considerado como una fuente casi ilimitada de recursos económicos y un conveniente receptáculo gratuito de los desperdicios de la producción y el mercado. Hasta hace poco los costos de los productos se referían sólo a materias primas, recursos humanos y financieros, sin considerar los costos impuestos al ambiente.

Ahora, la creciente contaminación ambiental ha sido objeto de preocupación en todo el mundo debido a los graves problemas ambientales que se han venido suscitando. Esta preocupación ha inducido a las empresas a incorporar dentro de sus esquemas gerenciales el tema ambiental; así como la aparición de instituciones internacionales dedicadas a la preparación de un sinnúmero de normas, entre ellas los Sistema de Gestión Ambiental (SGA) cuyo objetivo fundamental es enfrentar y controlar el deterioro de nuestros ecosistemas (Gayoso y Alarcon, 1999).

La revisión diagnóstica ambiental proporciona una apreciación global de los temas ambientales que competen a la empresa, dando a conocer las fortalezas y debilidades de sus operaciones y de sus sistemas de manejo ambiental actuales (Urdaneta, 1996); ésta debe enfocarse en:

- Información general de la empresa, documentación y caracterización del micro y macro entorno de la empresa.
- Revisión de procesos, operaciones y actividades.
- Identificación de impactos ambientales significativos y sus prioridades, incluyendo: impactos a los recursos suelo, agua, aire, sobre otros recursos como paisaje, conservación de flora y fauna, destino de desechos (emisiones de gases, aguas residuales y otros) e impactos a la comunidad cercana a los centros de acción de la empresa.
- Identificación de requerimientos legales y normativas ambientales, a partir de las fuentes de información disponibles en materia legal, de instancia gubernamental y empresarial.

## MÉTODO

Las actividades contempladas en cada fase de la investigación se señalan a continuación:

Fase I: Revisión y análisis documental, mediante libros, artículos de periódicos y revistas, páginas web, gacetas.

Fase II: Investigación de campo, mediante visitas de reconocimiento a la empresa referencial Destilería Campo Elías, ubicada en Ejido, Estado Mérida, y a los sitios vecinos a su emplazamiento con la finalidad de:

- Realizar una caracterización ambiental del medio donde opera la empresa.
- Identificar y cuantificar la materia prima y energía utilizada. Para ello se realizó una inspección visual y se tomaron registros de la empresa.
- Identificar fuentes de vertidos, emisiones gaseosas y residuos sólidos con potencial generación de impactos ambientales significativos mediante: a) Análisis de procesos, b) Inspección visual.
- Analizar procesos, con la finalidad de identificar los puntos de potencial generación de contaminantes o riesgos, tales como: riesgos potenciales por el transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos, generación de emisiones, generación y tratamiento de efluentes, generación de ruido, y generación, manejo y disposición final de desechos peligrosos y no peligrosos.
- Inspección visual detallada de todas las instalaciones de la empresa con el fin de reconocer evidencias de contaminantes y/o riesgos.
- Revisar y evaluar el cumplimiento de la normativa ambiental venezolana vigente aplicable.

Fase III: Análisis teórico prácticos con la finalidad de:

- Reconocer y describir los impactos ambientales en las distintas etapas del proceso de producción, considerando el aspecto ambiental, que según las normas ISO es toda actividad que pueda interactuar con el ambiente, y cualquier cambio que estos aspectos puedan causar al ambiente, ya sean adversos o beneficiosos. Todo lo anterior esquematizado en un encadenamiento de efectos ambientales.
- Identificar los aspectos sujetos a control legislativo y evaluarlos de acuerdo con la norma correspondiente.
- Obtener un valor de impacto ambiental ó VIA, para los aspectos que no cuentan con regulaciones legislativas o que carecen de datos de medición. Según la valoración de los criterios: intensidad, duración, extensión, reversibilidad y Probabilidad, el valor VIA viene dado por la sumatoria de los mismos.

Fase IV: Elaboración de las conclusiones, recomendaciones.

## RESULTADOS

### Identificación y evaluación de aspecto y efectos ambientales

Es importante identificar los *aspecto ambientales* (según las norma ISO 14000, toda actividad que pueda interactuar con el ambiente) así como los efectos ambientales (cualquier cambio en el ambiente, producido por los aspectos ambientales, ya sea adverso o beneficioso).

Para ellos, todo el proceso de producción de alcohol (solo fase industrial para esta investigación) se puede dividir en cinco etapas, cada una comprende las siguientes actividades:

- **Etapla I.** Adquisición, transporte, y almacenamiento de la melaza: incluye desde el momento en que el proveedor suministra la melaza, y su almacenamiento hasta el momento en que será utilizada.
- **Etapla II.** Preparación y purificación de la melaza: durante esta etapa se consideran los lodos generados en el proceso de sedimentación, así como los vertidos provenientes del lavado de los sedimentadores.
- **Etapla III.** Proceso de Fermentación: Es la etapa más larga del proceso en cuanto a tiempo (36 horas), sin embargo no genera impactos importantes. Comienza con la preparación del mosto, hasta que se han desdoblado los azúcares a alcohol etílico.
- **Etapla IV.** Proceso de destilación fraccionada: esta etapa se inicia con la alimentación del mosto (melaza fermentada) en la primera torre de destilación y culmina con el almacenamiento del alcohol etílico.
- **Etapla V.** Almacenamiento y Disposición de los residuos líquidos generados: (lodos de los sedimentadores, agua de lavado de las torre de destilación y vinaza). Es importante destacar que este efluente es en su mayoría (más de un 90 %) es vinaza.

La vinaza es un desecho líquido residual del proceso de destilación, agente potencial de contaminación por su cantidad y calidad, contiene pequeñas trazas de alcohol, macro y micro nutrientes ricos en nitritos y aminos y mucha materia orgánica (DBO por encima de 60.000 ppm). Cuando ésta se vierte en cuerpos de agua, aumenta considerablemente las demandas química y biológica

de oxígeno, causando desequilibrio ecológico, y si es aplicada sobre suelos fértiles en grandes cantidades deteriora su capacidad productiva (Gómez, 1996, Gallo 1986, Molina, 1976, Peneque y Mazón, 2001).

La tabla 1 contiene la identificación y descripción de los impactos ambientales en las distintas etapas del proceso de producción. En la columna correspondiente al aspecto ambiental se considera, según las norma ISO, las actividades que puedan interactuar con el ambiente; del mismo modo, la columna correspondiente a la descripción del impacto ambiental considera cualquier cambio en el ambiente, ya sea adverso o beneficioso, que resulte completa o parcialmente de las actividades, productos o servicios del proceso de producción.

Los efectos ambientales se identificaron a partir del análisis de las interacciones, ya que estos efectos no sólo dependen de la actividad que se realice, sino también de la fragilidad o de la capacidad de absorción del medio.

Cada uno de los efectos ambientales identificados debe ser evaluado, para determinar los más significativos, que serán la prioridad en la definición de objetivos y metas ambientales.

Una forma muy apropiada de realizar esta evaluación es mediante la comparación de parámetros con la normativa legal.

Luego de describir los aspectos ambientales y sus correspondientes impactos, a modo de resumen se hace la identificación de los aspectos sujetos a control legislativo, tabla 2.

En la tabla 3, se muestra la comparación de algunos parámetros fisicoquímicos en cuanto a la regulaciones ambientales descritas en las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (Decreto N° 883, 1995) y efluente líquido producido en una destilería. Obsérvese que ningún parámetro cumple con la norma, y de hecho están muy lejos de cumplirla, por lo cual la incorrecta disposición de este efluente, causa significativos impactos ambientales.

En lo que refiere a las emisiones atmosféricas no es posible realizar este tipo de comparación ya que no se poseen mediciones.

Los efectos ambientales que no cuentan con regulaciones legislativas o que carecen de datos de medición, se pueden evaluar utilizando el método de Criterios Integrados, donde cada criterio de evaluación ambiental tiene un valor asignado y una ponderación, (Conesa, 1997).

**Tabla 1.** Identificación y descripción de impactos ambientales. (Destilería Campo Elías, Mérida 2006)

ETAPA DEL PROCESO	ASPECTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL
Recepción y almacenamiento de la melaza	Producción de olores	- Contaminación de aire, fuente de posibles enfermedades. - Afectación del entorno local.
	Riesgo de derrames	- Afectación a la salud e higiene ocupacional. - Afectación del entorno local.
Preparación y Purificación de la melaza	Producción residuos líquidos: agua de lavado de los sedimentadores, y producción de lodos.	- Contaminación del agua por descarga de materia orgánica, poco biodegradable, causando. - Aprovechamientos de los lodos como subproducto. - Generación de ingresos extras.
	Riesgo de accidentes por mal manejo de reactivos (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , urea, otros).	- Afectación a la salud e higiene ocupacional. - Afectación del entorno local.
Proceso de Fermentación	Producción de olores	- Contaminación de aire, fuente de posibles enfermedades. - Afectación del entorno local.
	Producción de CO <sub>2</sub> producto de las reacciones de fermentación.	- Contribución a la contaminación ambiental de las zonas adyacentes, el calentamiento global y deterioro de la capa de ozono.
Proceso de destilación fraccionada	Producción de gases de combustión por el generador de vapor (CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , COV, partículas y calor).	- Contribución a la contaminación ambiental de las zonas adyacentes, el calentamiento global y deterioro de la capa de ozono y generación de lluvia ácida. - Contaminación de aire, fuente de posibles enfermedades respiratorias.
	Producción de agua a altas temperaturas proveniente de los condensadores.	- Contaminación del agua por aumento de temperatura, causando la degradación de la biota en la quebrada donde se descarga el efluente.
	Producción de residuos líquidos: agua de lavado del fondo de las torres de destilación	- Contaminación del agua por descarga de materia orgánica poco biodegradable, causando:
	Generación de ruido	- Pérdida auditiva debida a una exposición excesiva o prolongada al ruido y otros daños de orden fisiológico y psicológico.
	Riesgo de explosión del generador de vapor	- Afectación a la salud e higiene ocupacional. - Afectación del entorno local.
	Producción de olores indeseables	- Degradación de la calidad del aire, fuente de posibles enfermedades.
Almacenamiento y disposición de vinaza	Disposición de vinaza	- Aprovechamientos de la vinaza como subproducto. Generación de ingresos extras. - Degradación de suelos y alteración de los parámetros de calidad de agua de los cursos de agua por incorrecta disposición.
	Riesgo de derrames	- Afectación a la salud e higiene ocupacional. - Afectación del entorno local.

**Tabla 2.** Identificación de aspectos sujetos a control legislativo. (Destilería Campo Elías, Mérida 2006)

ETAPA DEL PROCESO	ASPECTO AMBIENTAL	CONTROL LEGISLATIVO	LEGISLACIÓN	VERIFICACIÓN
Recepción y almacenamiento de la melaza	Producción de olores	No	-	-
	Riesgo de derrames	No	-	-
Preparación y purificación de la melaza	Producción residuos líquidos: agua de lavado de los sedimentadores, y producción de lodos.	Si	Decreto 883	Si
	Riesgo de accidentes por mal manejo de reactivos (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , urea, otros)	Si	Decreto 2.635	Si
Proceso de fermentación	Producción de olores	No	-	-
	Producción de CO <sub>2</sub> producto de las reacciones de fermentación.	Si	Decreto 638	No
Proceso de destilación fraccionada	Producción de gases de combustión por el generador de vapor (CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , COV, partículas y calor).	Si	Decreto 638	No
	Producción de agua a altas temperaturas proveniente de los condensadores.	Si	Decreto 883	Si
	Producción residuos líquidos: agua de lavado del fondo de las torres de destilación	Si	Decreto 883	Si
	Generación de ruido	Si	Decreto 2217	No
	Riesgo de explosión del generador de vapor	Si	Norma COVENIN 2217	Si
	Producción de olores	No	-	-
Almacenamiento y disposición de vinaza	Disposición de vinaza	Si	Decreto 883	Si
	Riesgo de derrames	No	-	-

**Tabla 3.** Evaluación de la normativa ambiental según Decreto 883. (Destilería Campo Elías, Mérida 2006)

Parámetro	Efluente (mg/l)	Norma (mg/l)
DBO	11.000	60
DQO	50.000	350
fenoles	5.250	0,5
Nitrógeno	410	40
PH	4	6-9
Sólidos fijos	12.500	80

El valor del impacto ambiental o VIA viene dado por la sumatoria de los criterios ponderados ( $VIA = \sum \text{criterios}$ ). En esta investigación, se sugieren cinco criterios, a cada uno se le asignó un valor máximo de 3 puntos e igual ponderación, para hacer los cálculo de la forma más sencilla. Finalmente, se considerará altos si el VIA es mayor o igual que 12, medios si el VIA está entre 9 y 11, y bajos si el VIA es menor o igual a 8. Nótese que el

máximo valor posible para el VIA, según esta metodología propuesta es de 15, cuando los 5 criterios tengan el máximo valor 3 ( $3 \times 5 = 15$ ).

La valoración de los criterios se presenta a continuación:

▪ Intensidad:

- (1) Baja intensidad, el impacto es apreciado por pocas personas dentro de la planta.



(2) Moderada intensidad, el impacto es apreciado por muchas personas dentro de la planta.

(3) Alta intensidad, el impacto es apreciado por todas las personas dentro de la planta.

▪ Duración:

(1) Corto plazo, si el impacto permanece menos de 6 meses.

(2) Mediano plazo, si el impacto permanece entre 6 meses y 1 año.

(3) Largo plazo, permanece por más de 1 años.

▪ Extensión:

(1) Puntual. Un lugar Específico de la planta.

(2) Parcial. Un área considerable de la planta.

(3) Extenso. Abarca áreas fuera de las instalaciones de la planta.

▪ Reversibilidad:

(1) Reversible.

(3) No reversible.

▪ Probabilidad:

(1) Improbable, se requiere de estudios específicos para evaluar la certeza del impacto.

(2) Probable, impacto ocurrirá con una probabilidad entre 50 y 75 %.

(3) Cierto, impacto ocurrirá con una probabilidad 75 %.

**Tabla 4.** Identificación y evaluación de impactos ambientales. (Destilería Campo Elías, Mérida 2006)

Etapas del Proceso	Aspecto Ambiental / Impacto	CRITERIOS DE EVALUACION DE IMPACTOS					
		Intensidad	Duración	Extensión	Reversibilidad	Probabilidad	Valor del Impacto Ambiental $\sum$ Criterios
Recepción y almacenamiento de la melaza	Producción de olores/Contaminación de aire, fuente de enfermedades	3	1	2	1	1	9
	Riesgo de derrames/ Afectación a la salud e higiene ocupacional y entorno	3	1	3	1	2	10
Proceso de fermentación	- Producción de olores/Contaminación de aire, fuente de posibles enfermedades.	1	1	2	1	1	6
	- Producción de gases de fermentación/Contribución a la contaminación ambiental de las zonas adyacentes y el calentamiento global.	1	1	3	1	2	8
Proceso de destilación fraccionada	- Producción de gases de combustión/Contribución a la contaminación ambiental de las zonas adyacentes y el calentamiento global.	2	1	3	1	2	9
	Generación de Ruido/ daños de orden fisiológico y psicológico.	3	1	2	1	2	9
Almacenamiento y disposición de vinaza	- Producción de olores /Degradación de la calidad del aire, fuente de posibles enfermedades.	1	1	2	1	2	7
	Riesgo de derrames/ Afectación a la salud e higiene ocupacional y entorno	3	1	3	1	2	10

A fin de mostrar un resumen de los datos obtenidos en la evaluación de los impactos, se muestra la tabla 4. Los impactos están clasificados según el valor aportado por la sumatoria de los criterios o su comparación con la norma (tabla 5.):

- (A) Alto, valores de IVA iguales o superiores a 12 o que no cumplen con la norma.
- (M) Medio, valores entre 9 y 11.
- (B) Bajo, valores entre 5 y 8.

Los impactos ambientales significativos (solo altos (A) y medio (M)), sirven como herramienta para plantear las medidas de corrección, mitigación y

prevención correspondientes, partiendo de la formulación de los objetivos y metas ambientales que se desean alcanzar (tabla 6), los cuales serán fijados con exactitud por la organización, a la luz de circunstancias económicas y de otro tipo.

Los impactos ambientales significativos (solo altos (A) y medio (M)), sirven como herramienta para plantear las medidas de corrección, mitigación y prevención correspondientes, partiendo de la formulación de los objetivos y metas ambientales que se desean alcanzar (tabla 6), los cuales serán fijados con exactitud por la organización, a la luz de circunstancias económicas y de otro tipo.

**Tabla 5.** Resumen de la valoración de impactos. (Destilería Campo Elías, Mérida 2006)

<b>Etapas del Proceso</b>	<b>Aspecto Ambiental/ Impacto</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
Recepción y almacenamiento de la melaza	-Producción de olores/Contaminación de aire, fuente de posibles enfermedades, afectación del entorno local.			x
	Riesgo de derrames/Afectación salud e higiene ocupacional y el entorno.		x	
Preparación y purificación de la melaza	-Producción de residuos líquidos/Contaminación del agua por descarga de materia orgánica, poco biodegradable.	x		
	-Riesgo de accidentes por mal manejo de reactivos/ Afectación salud e higiene ocupacional y el entorno		x	
Proceso de fermentación	-Producción de olores/Contaminación de aire, fuente de posibles enfermedades.			x
	- Producción de gases de fermentación/Contribución a la contaminación ambiental de las zonas adyacentes y el calentamiento global.			x
Proceso de destilación fraccionada	- Producción de gases de combustión/Contribución a la contaminación ambiental de las zonas adyacentes y el calentamiento global.		x	
	- Producción de agua a altas temperaturas/Contaminación del agua por aumento de temperatura.	x		
	- Producción de residuos líquidos/Contaminación del agua por descarga de materia orgánica.	x		
	Generación de ruidos/ Daños de orden fisiológico y psicológico.		x	
	Riesgo de explosión del generador de vapor/ Afectación salud e higiene ocupacional y el entorno		x	
Almacenamiento y disposición de vinaza	- Producción de olores /Degradación de la calidad del aire, fuente de posibles enfermedades.			x
	- Degradación de suelos y alteración de los parámetros de calidad de agua de los cursos de agua por incorrecta disposición.	x		

**Tabla 6.** Objetivos y metas ambientales. (Destilería Campo Elías, Mérida 2006)

OBJETIVO	METAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir las emisiones atmosféricas producidas por el generador de vapor.</li> <li>• Reducir la contaminación térmica del agua.</li> <li>• Aprovechamiento de lodos provenientes de los sedimentadores.</li> <li>• Aprovechamiento de vinaza para obtener proteína animal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejorar cualitativamente la calidad del aire dentro y en las adyacencias de las instalaciones de la planta.</li> <li>• Disminuir la contaminación térmica del agua, hasta cumplir en un XX% la norma (Decreto N° 883).</li> <li>• Lograr comercializar el XX% de los lodos proveniente de los sedimentadores.</li> <li>• Lograr procesar el XX% de la vinaza para la obtención de proteína animal.</li> </ul>

## CONCLUSIONES

El proceso productivo del alcohol etílico genera potenciales impactos ambientales en todas y cada una de sus fases. Luego de la revisión ambiental inicial, se puede concluir que para que el proceso de producción de alcohol etílico sea amigable con el ambiente, se debe considerar primordialmente: a) reducir las emisiones atmosféricas producidas por los generadores de vapor por medio de la verificación de su correcto funcionamiento, b) reducir la contaminación térmica del agua optimizando el funcionamiento del sistema de enfriamiento, c) aprovechar del lodos proveniente de los sedimentadores como un subproducto para la producción de abono orgánico y d) aprovechar la vinaza como subproducto para obtener proteína animal y fertilizantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONESA, F. Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental. Mundi Prensa. Madrid, España. 1997.
- DECRETO No. 883 de fecha 11-10-95, por el cual se dictan las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes. Venezuela. 1995.
- GALLO, J. Evaluación preliminar de la vinaza, un desecho de destilería, como posible fuente de nutrientes en la alimentación de aves. España, Acta Agronómica. 36(2): 207-220. 1986.
- GAYOSO, J. y ALARCÓN, D. Manual de implementación de un sistema de gestión ambiental en la empresa forestal. Universidad Austral de Chile. 1999.
- GÓMEZ, J. Efecto de la aplicación de vinaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. Venesuelos 14(1): 15-34. 1996.
- MOLINA, Y. Producción de levadura a partir de vinaza. Fundación CIEPE. San Felipe. Venezuela. 1976.
- PENEQUE, V. y MAZÓN M. Fertirriego, vía económica y eficiente para la descontaminación ambiental, Cuba – Azúcar. 1: 40-42. 2001.
- URDANETA, C. Impacto Ambiental y Obras de Infraestructura. Primeras Jornadas Ambientales UCLA. Barquisimeto. 1996.

Vol.

1

1987

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Efectos de tratamientos químicos y físicos en la germinación de kudzu tropical. ( <i>Pueraria phaseloides 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 glyfosfato sobre tubérculo. - Pérez, L.	3
<i>Culicoides</i> (Diptera: Ceratopogonidae) del estado Táchira, Venezuela. Parte I. - Perruolo, G.	17
Leguminosas que incrementan el valor nutritivo de algunos pastizales del estado Táchira. - Vera, A.	21
Datos ecológicos para <i>Coloides castanea</i> ( <i>Coleoptera: Scarabaeidae: Hybosorinae</i> ). - Havranek, D.	31
Catálogo de los Scarabaeidae ( <i>Coleoptera</i> ) Coprófagos y Necrófagos del estado Táchira, Venezuela Parte II. - Blanco, J.	39
Fraccionamiento del Azufre en algunos suelos pertenecientes al bosque seco montano bajo del estado Táchira, Venezuela. - Gamboa, J.; Chacón, L.; Gamboa, M.	49
Adaptación informacional en la abeja doméstica <i>Apis mellifera</i> L. ( <i>Hymenoptera: Apidae</i> ). - 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
Coleópteros, 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. ( <i>Hymenoptera: Apidae</i> ). - 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 las 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 <i>Pteridium</i> ( <i>Polypodiaceae</i> ) en el estado Táchira, Distribución geográfica y comentarios de interés. -Pérez, L.; Pacheco, J.	41
Inventario del nivel de motivaciones de las necesidades de logro, afiliación y poder en los productores de El Nula, estado Apure, Venezuela. -Thielen, J.	51
Pruebas de patogenicidad de <i>Fusarium</i> sp. en plantas de tomate. -Vásquez, R.	67

Vol.  
7  
1993

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Toxicidad del Néctar de la planta <i>Ryania speciosa</i> Valh (Flacourtiaceae), sobre abejas <i>Apis mellifera</i> L. (Hymenoptera: Apidae). -Casanova, R.; Olivares, B.; Mendoza, C.	5
Estructura del Capital total tangible y su relación con la rentabilidad en fincas ganaderas de doble de doble propósito en los municipios García de Hevia y Panamericano del estado Táchira, Venezuela. -Díaz, F.	13
Detección y determinación de taninos en Pulpa de Café secada al ambiente. -González, N.; Ramírez, J.; Aldana, J.; Clifford, M.	23
Incidencia e impacto económico de la despigmentación en un rebaño Brahman registrado. -Montoni, D.; Chacón, M.; Mago, M.	33
El aprendizaje cooperativo y el autoconcepto académico: sus efectos sobre el rendimiento en estudiantes universitarios. -Pernía, 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
Biología / Genética	29
Docencia	44
Ecología	46
Etnobotánica	72
Fisiología / Fotoquímica	76
Jardín Botánico	96
Taxonomía / Sistemática	103



**Vol.  
9(2)  
1997**

(Edición Especial)

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Gestión educativa en el jardín botánico de Caracas: Un modelo de aula abierta. - <b>Tecenvi, A.</b>	1
Taxonomía y Biodiversidad. - <b>Aristiguieta, L.</b>	4
El nicho ecológico vegetal: de la fotosíntesis al hiperespacio. - <b>Fariñas, M.</b>	8
Taller: Permisología e información sobre fitodiversidad en Venezuela (Workshop: Permission Policy and Information on Phytodiversity in Venezuela). - <b>Gaviria, J.; Zambrano, O.; Silva, A., Castellanos, E., Ruiz, Th.; De Martino, G. y Sánchez, I.</b>	13
La selva de bejucos ejemplo de bosque natural inestable de la Guayana Venezolana: Avance de Investigación. - <b>Hernández, L.</b>	16
Proyecto libro rojo de las plantas de Venezuela. - <b>Llamozas, S. y Rojas, F.</b>	21
Análisis de las técnicas utilizadas en el estudio fenológico de la vegetación. - <b>Ortiz, R.</b>	24
Presentación y conservación de especies en el palmetum del jardín botánico de Caracas, Venezuela. - <b>Stauffer, F.</b>	30
Jardines Botánicos, conservación de la biodiversidad y política ambiental venezolana. Advertencia necesaria. - <b>Trujillo, B.</b>	34
Corredores ecológicos en los andes de Venezuela - <b>Yerena, E.</b>	42

**Vol.  
10(1)  
1998**

(Edición Especial)

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Bolívar y la Religión Católica. - <b>Ballesteros, L.</b>	29
El sistema socio-económico de Bolívar. - <b>Carrillo, T.</b>	31
Bolívar, política, y ética. - <b>Chávez, A.</b>	35
Bolívar y autonomía universitaria. - <b>Díaz, T.</b>	39
Origen de la sociedad bolivariana - <b>Higuera, G.</b>	43
Bolívar y el poder moral - <b>Labarca, P.</b>	55
Bolívar universitario - <b>Lombardi, A.</b>	77
Bolívar escritor ante el espejo de la crítica - <b>Mora, P.</b>	79
Fundamentos para una charla sobre Bolívar en cuanto que escritor - <b>Paredes, P.</b>	87
Bolívar y la unidad hispanoamericana - <b>Rodríguez, L.</b>	89
Los andinos en el marco de la identidad nacional la independencia por estos Lares - <b>Sandoval, M.</b>	91
Bolívar en San Cristóbal - <b>Villamizar, I.</b>	95

**Vol.  
8(1)  
1999**

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Comportamiento Agro-Ecológico del <i>Pteridium aquilinum</i> , en el estado Táchira, Venezuela. - <b>Pérez, L.; Pacheco, J.</b>	5
Una respuesta para la Reforma de la Academia de las Universidades - <b>Ramírez, O.</b>	19
Distribución geográfica de <i>Pieridae</i> (Insecta: Lepidóptera) en el estado Táchira, Venezuela. - <b>Rey, F.</b>	37
Inventario de las plantas Medicinales del estado Táchira, Venezuela. - <b>Vera, A.</b>	55

**Vol.  
8(2)  
1999**

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Utilización del ramio ( <i>Bohemeria nivea</i> ) en la alimentación de conejos en crecimiento y engorde. - <b>Bautista, O. y Zambrano, L.</b>	5
Valores en educación superior y su jerarquía de valores en un grupo de estudiantes, universidad nacional experimental del Táchira - <b>Bortone, R.</b>	23
Evaluación del ingrediente activo coumafos para el control de <i>Varroajacobsoni</i> en colonias con cría de abejas africanizadas ( <i>Apis mellifera</i> L.), ubicadas en el municipio montes, estado Sucre –Venezuela. - <b>Casanova, R.; Barrios, L.; Mendoza, C.</b>	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. - <b>Casanova, R.</b>	55
Densidad estelar hacia el polo sur galáctico - <b>Molina, R.; Stock, J. y Ontiveros E.</b>	63
Fluctuación poblacional de <i>Iutzomyia</i> spp. (diptera: psychodidae) en zonas endémicas de leishmaniasis en el estado Táchira, Venezuela. - <b>Perruolo, G.; Moncada, A. y Tapias, O.</b>	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 - <b>Casanova, R.; Hevia, A.</b>	1
Nueva especie de <i>Leptospaeria</i> Venezolana. - <b>García, E.</b>	11
Caracterización florística de las parroquias Coquivacoa y Olegario Villalobos del municipio Maracaibo, Estado Zulia. - <b>Rey, F.</b>	19
Clasificación automática de espectros estelares tomados con prisma objetivo - <b>Molina, R.</b>	39
Supervivencia de <i>Boophilus microplus</i> en pastizales del estado Táchira, Venezuela - <b>Perruolo, G.</b>	53
Induce de especificidad de la abeja <i>Apis mellifera scutella</i> Latreille, en diferentes meses del año. - <b>Tapías, O.; Monsalve, J.</b>	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. - <b>Vivas, A.; Barragán, G.</b>	93

Vol.  
**12(2)**  
2000

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Bledo ( <i>Amaranthus spp</i> ) como ingrediente en dietas para conejos en crecimiento y engorde. - <b>Bautista, E.; Barrueta, H.</b>	1
Daños causados a <i>Varroa jacobsoni</i> (acarid:dermanicidae) por comportamiento "grooming" de abejas africanizadas (Hymenoptera:apidae) - <b>Casanova, R.</b>	19
Crecimiento y fertilidad post-parto de hembras mestizas lecheras en un rebaño del norte del estado Táchira, Venezuela. - <b>García, J.</b>	29
Fisonomía de la vegetación y especies vegetales de interesa picola, de altos de Paramillo. San Cristóbal, estado Táchira. Venezuela. - <b>Tapías, O.</b>	61

Vol.  
**13(1)**  
2001

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Categorías de la identidad corporativa de las instituciones universitarias - <b>Márquez, I.</b>	1
Aplicación de redes neuronales en espectros estelares - <b>Molina, R.; Rosales, M.</b>	13
Evaluación colorimétrica de 28 muestras de miel de abejas <i>Apis mellifera</i> L., provenientes de siete zonas de vida del estado Táchira - <b>Mendoza, L.; Casanova, R.</b>	27
Estudio morfológico de <i>Sclerotium cepivorum</i> Berk, agente causal de la pudrición blanca del ajo - <b>Moreno, I.; Acevedo, R.</b>	51
Uso de recursos localmente disponibles para la construcción de nidos artificiales de abejas sin aguijón (Meliponinae) - <b>Moreno, F.; Cardozo, A.</b>	71
Plan de manejo para la conservación de las abejas sin aguijón (Meliponinae) en explotaciones madereras. Caso explotaciones del sur del estado Portuguesa. - <b>Moreno, F.; Díaz, L.; Cardozo, A.</b>	79
Dinámica poblacional de <i>Culicoides insignis</i> (Diptera:ceratopogonidae) en el estado Táchira. Venezuela - <b>Perruolo, G.</b>	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 - <b>Tapías, O.</b>	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 - <b>Contreras, O. y Moreno, F.</b>	1
Flora herbariorum tachirensis N° 1: nomina acanthaceae. - <b>García, E.; Tapías, O.; Monsalve, G.; Marciano, E.; Acuña, E.</b>	11
Caracterización taxonómica de la biótica líquénica del jardín botánico del Táchira, San Cristóbal. Edo. Táchira. Venezuela. - <b>García, M.</b>	26
Caracterización y actividad antimicrobiana del aceite esencial de las hojas de <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl) A. Gray. - <b>González, N.; Sánchez, F.; Usubillaga, A.</b>	45
Validación de un biosensor para la detección de mastitis a través de la conductividad eléctrica. - <b>Zambrano, S.; Acosta, F.; Contreras, C.</b>	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 - <b>Arévalo, R.</b>	1
Medidor de flujo basado en el principio de disipación de calor - <b>Contreras, C.; Rodríguez, J.; Di Sipio, R.; Tarazona, J.; Contreras, J.</b>	11
Automatización de un sistema híbrido: tres tanques y un surtidor. Parte I: Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica. - <b>Montilla, M.</b>	24
La investigación en la carrera de arquitectura-UNET: Elementos para su análisis. - <b>Vivas, F.</b>	43

**Vol.  
15(1)  
2003**

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Una infraestructura para la difusión de conocimiento en las PYME - <b>Carpio, M.; Pérez, L.</b>	1
Evaluación de parámetros sanguíneos indicadores de metabolismo energético y proteico en hembras Brahman, en la Hacienda Santa Rosa, estado Táchira. Venezuela - <b>Mora, R.; Moreno, C.</b>	11
Análisis de proantocianidinas en commelinaceae en el Estado Táchira. Venezuela - <b>Arnaude, O.; González, N.</b>	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> ) - <b>Carvajal, C.; Ochoa, A.; Casanova, R.; Cárdenas, A.</b>	49
Reporte de caso de infección por adenovirus bovino tipo 3 asociado a <i>Mycoplasma Boris</i> en la zona norte del estado Táchira - <b>Moreno, C.</b>	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 - <b>Mora, R.; Moreno, C.</b>	1
El proceso de preincubación en el modelo de incubación UNET. - <b>González, L.</b>	9
Concentraciones minerales en suero sanguíneo de hembras bovinas Brahman en una finca del sur del estado Táchira, Venezuela. - <b>Depablos, L.; Moreno, C.</b>	17
Comportamiento productivo y reproductivo de búfalas Murrah en tres explotaciones lecheras del estado Táchira. Venezuela. - <b>Zambrano, R.; Contreras, R.</b>	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. - <b>Ochoa, H.; Carvajal, G.; Casanova, R.; Cárdenas, I.</b>	45

**Vol.  
16(1)  
2004**

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Estimación del volumen ventricular izquierdo usando algoritmos genéticos - <b>Bravo, A.</b>	1
Sistema de información decisión de la unidad de admisión de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela. - <b>Marrero, C. y Moreno, T.</b>	7
Nueva calibración de un método de clasificación estelar - <b>Molina, R.</b>	17
Establecimiento de un plan estratégico prospectivo para la proyección turística del estado Táchira, Venezuela. - <b>Madriz, D.; Ramírez, B.</b>	24
Normalización y estandarización del protocolo para propagación <i>in vitro</i> de mora de castilla ( <i>rubus glaucus</i> ) - <b>Solórzano, C.; Linares, S.; Marante, R.</b>	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. - <b>Valdiz, Z. y Reyes, I.</b>	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 (*oryctolagus cuniculus*) destetados- **Bautista, O.; Álvarez, I.; Barrueta, H.**

84

Efecto del ácido oxálico en el control de *varroa destructor* (*acar: dermanicidae*) en colonias de abejas africanizadas *apis mellifera* (hymenoptera: apidae).- **Casanova, R.; Uzcátegui, F.; Bracho, R.; Albarracín, L.; Grad, N.; Perruolli, 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 Simplex 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 (*cynodon nlemfuensis*) en el período de lluvias en una finca comercial- **Castellanos, L.; Chacón, C. y Moreno, A.**

71

Valor nutritivo del pasto *brachiaria humidicola* (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 *cajanus cajan* 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 *oryctolagus cuniculus* 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

## 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 *listeria* spp. en quesos blancos semiduros comercializados en San Cristóbal estado Táchira- **Carrillo, L. y Zambrano, M.**

9

Asociación de cultivos hortícola de hoja (Lactuca sativa, Allium ampeloprasum y Coriandrum sativum) 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 (*Annona muricata* L.) en la zona norte del Estado Táchira- **Porras, D.; Briceño, W. y Molina, A.**

25

SGA-V: implementación en VHD'L'93 de un algoritmo genético simple

- **Niño, J.; Amaya, J.**

31

Diagnóstico gerencial de la PYME tachirenses. 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: técnica 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 <b>-Delgado, D.; Useche, I.</b>	103
Aproximación inicial a las implicaciones ambientales del crecimiento residencial, municipio independencia, Estado Táchira <b>-Durán, J.</b>	110
Concepto de renovación urbana en la planificación del área central de San Cristóbal <b>-Pérez de M., T.</b>	117
Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado de san cristóbal edificaciones públicas y esenciales, lapso 1900- 1945 <b>-Casanova, B.</b>	125
La bioclimática como herramienta en la intervención de edificaciones patrimoniales: "El Balcón de Bolívar" <b>-Sánchez, S; Ramírez, S.</b>	134
Planificación ergo deterioro ambiental en méxico <b>-Cabrera, V.; Tenorio, L.; Luna, J.</b>	143
Arquitectura y desarrollo <b>-Mosquera, J.</b>	152
Implementación de materiales didácticos de apoyo para la enseñanza y aprendizaje del idioma ingles <b>-Cañas, L.</b>	162
Propiedades fractales de patrones de crecimiento en el modelo DLA mediante automatas celulares <b>-González, J.; Rivera, H.; Tucci, K.</b>	173
Herramienta para el procesamiento y visualización de la señal EEG	181
capacidades tecnológicas de la pyme del sector textil del ESTADO Táchira	193
Proceso de implantación de las nuevas tendencias de mantenimiento en procesos productivos <b>-Zambrano, S.; Leal, S.</b>	181
Simulación computacional de la hidrodinámica del flujo incompresible a través de un codo <b>-Torres, S.; Torres, M.; Escalante, H.; Rosales, W.</b>	212

# Vol. 19(2) 2007

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Clasificación espectral cuantitativa. redes neuronales artificiales en el análisis de estrellas gigantes K-M. <b>Molina, R.</b>	80
Evaluación de fluidos refrigerantes no perjudiciales al medio ambiente <b>Salerno, D.</b>	87
Implementación de laboratorios de instrumentación y control a distancia <b>Chacón, R.</b>	95
Algoritmo para la resolución de problemas numéricos con satisfacción de restricciones <b>Rodríguez, D.</b>	105
La intención de crear empresas de los estudiantes de la UNET próximos a graduarse <b>Labarca, I.; Pérez, L.</b>	111
Desarrollo de un microbot móvil autónomo <b>Andrickson, J.; Yáñez, J.</b>	120
Análisis de incertidumbre para una placa orificio según el método de COLEMAN - STEELE <b>Alvarado, M.; Méndez, D.; Torres, M.; Escalante, H.; Rosales, W.</b>	127
Alienación, neoliberalismo y derechos humanos <b>Weky, L. Balbo, J.</b>	133
Mejoras en la calidad de la producción artesanal del bloque hueco de concreto (BHC) <b>Villanueva, L.</b>	140

# Vol. 19(1) 2007

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Variables de medición del impacto socioeconómico de la implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos <b>Fumo, N. ; Villamizar, P.</b>	1
Comunicación entre InTouch® de Wonderware® y el PIC16F877 <b>Contreras, C.; Contreras, A.; Peñaranda, N.</b>	7
Revision documental exploratoria sobre los factores que inciden en el proceso innovativo de la pyme manufacturera venezolana <b>Márquez, A. ; Ruiz, B.</b>	15
Construcción de un equipo para la instalación del armamento del helicóptero AS532 COUGAR <b>Laya, A. 1; Bustamante, J. 2; Duran, D. 2; Hernández, J2.</b>	25
Implementación del protocolo DNP3.0 para una unidad de monitoreo de variables eléctricas de potencia <b>Contreras, C. ; Zambrano, U.</b>	33
El sector panadero, una alternativa de desarrollo para el Estado Táchira <b>Cardozo, N.; Infante, C.; Pérez, F. y Ugueto, M.</b>	38
Prevalencia de Balantidium coli (ciliophora:bursariidae) en cerdos del matadero municipal de San Cristóbal Estado Táchira Venezuela <b>Bonilla, M. ; Perruolo, G.</b>	50
Evaluación del proceso de polinización de algunos cultivos comerciales y estimación del rendimiento frutícola <b>Salamanca, G.1; Casanova, R. 2; Osorio, M.</b>	58
Nivel de preparación hacia la red de las alcaldías venezolanas, en su función administrativa como prestadora de servicios públicos <b>Núñez, E.</b>	69
Flora y vegetación de bosques húmedos montanos bajos del Parque Nacional Chorro el Indio. Táchira. Venezuela <b>Monsalve, J1. Zapata, S2. Tapias, G3. Acuña, E4.</b>	79

# Vol. 20(1) 2008

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Clasificador difuso neuronal aplicado a casos de enfermedades hepatobiliares representadas por datos con patrones solapados <b>Chacón, J.; Volcanes, R.; Lamedca, C.</b>	1
Características de experiencias en redes empresariales de pyme's del estado táchira <b>Cardozo, N.; Pérez, F. y Ugueto, M.</b>	11
Diseño básico de un ciclo rankine con fluido orgánico para una estación de flujo petrolera <b>Velázquez, L; Torres, M; Rodríguez, P; Escalante, H; Rosales, W.</b>	23
Cuadro de mando integral en los procesos gerenciales de la empresa compañía anónima de administración y fomento eléctrico (CADAPE) <b>Cabeza, María A.; Cabeza, María E.</b>	32
Propuesta para el mejoramiento de la calidad de la enseñanza en la asignatura ingeniería de la producción I <b>Márquez, M. y Niño, L.</b>	41
El control metacognitivo y los mapas conceptuales para facilitar la comprensión de estructuras conceptuales complejas <b>Ramírez de M., M.; Aspée, M.; Sanabria, I.; Tellez, N.</b>	51
Los barrios de ranchos en el eje Palmira-San Josecito. rol urbano <b>García, N.</b>	62
Madurez vocacional y perfil de valores humanos en estudiantes universitarios que se cambian de especialidad <b>Bortone, R.</b>	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 <b>Torres, M.; Reyes, M.; Escalante, H.; Rosales, W.</b>	73
Gestión de recursos humanos por competencias, camino para el direccionamiento estratégico de empresas. caso de estudio <b>Cardozo, N.; Ugueto, M.; Infante, C.</b>	79
Biodiversidad asociada con el género <i>lymnaea lamarck 1801</i> (lymnaeidae: pulmonata: gastropoda), en los andes venezolanos <b>Chacón-Ortiz, A., Guerrero, Ch. y Tovar-Rodríguez, W.</b>	87
Culicoides travassosi forattini, 1957 (diptera: ceratopogonidae): nueva especie para VENEZUELA <b>Perruolo, G.</b>	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 <b>Cañas, L.</b>	99
Sistema estructural itinerante para la atención de desastres <b>Cánovas, J.; Marciano, M.; Villanueva, L.; Rivas, N. y Murzi, H.</b>	106
Manual para la implementación de un sistema de gestión ambiental en mataderos municipales <b>Lara, M.; Cabeza, M.; Espinosa, C.</b>	117
SAN CRISTÓBAL: de la metrópoli imaginada a la metrópoli real <b>Mogollón, L.</b>	125

# Vol. 21(1) 2009

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Caos colectivo en redes de pequeño mundo <b>González-Estévez, J.; Cosenza, M.</b>	1
Modelo de intercambio económico en una sociedad estratificada con interacciones locales <b>Herrera, J.; Cosenza, M.; Tucci, K.</b>	8
Auto-organización en redes AD-HOC <b>Albornoz, J.</b>	14
Coexistencia de temperaturas granulares diferentes en una capa granular fluidizada <b>Trujillo, L.; Roca J.; Sigalotti Di G. L.</b>	25
Estimación de la dimensión fractal en series de tiempo de la frecuencia cardíaca fetal <b>Ortega, J.; Infante, S.; González, X.</b>	35
Optimización de la conectividad de redes de mapas acoplados mediante un algoritmo genético <b>Estévez, R.; Tucci K.</b>	46
Efecto de la densidad de vehículos de transporte público en la fluidez del tráfico: un modelo autómatas celular <b>Márquez, J.</b>	56
Emergencia de redes de pequeño mundo en sistemas coevolutivos de mapas caóticos acoplados <b>Chipia, M.; Cosenza, M.</b>	60

# Vol. 21(2) 2009

TÍTULO DEL ARTÍCULO	PÁGINA
Modelado del desempeño de catalizadores de $\text{Mo}$ en hds de tiofeno empleando redes neuronales <b>Méndez, P.; Sánchez, N.; Calafat, A.</b>	61
Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de <i>Lippia micromera schauer</i> que crece silvestre en el Estado Táchira. Venezuela <b>González de C. N.; Pallares, J.; Ramírez, T.; Alarcón, L. Velasco, J.; Usabillaga, A.</b>	69
Aspectos técnicos en las empresas productoras de piezas de fundición gris del Estado Táchira <b>Peña, M.; Fuentes, J.; Gallardo, J.</b>	76
Competencias genéricas del académico UNET: una herramienta de gestión del recurso humano <b>Cardozo, N.; Ugueto, M.; Infante, C.; Pérez, F.; Guerrero, Y.; Guerra, K.</b>	81
Simulación y análisis de flujo transversal a través de banco de tubos en línea usando el programa CFX <b>Díaz, M.; Guerrero, M.; Rojo, J.</b>	93
Diseño instruccional de la asignatura metodología de la investigación <b>Balbo, J.</b>	101
Efecto de <i>Trichoderma</i> spp. en el control de <i>Plasmidiophora brassicae</i> en plantas de coliflor <b>Becerra, C. y Acevedo, R.</b>	107
Establecimiento del programa de transferencia de embriones en fresco en una finca del Estado Táchira Venezuela <b>Montilla, J. Maldonado, J. Urdaneta, A. García, J. Acosta, B.; Moreno, A. Olivares, R. Zambrano, R.</b>	115

# INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

## 1. Generales

- 1.1. Originales e inéditos en las áreas científicas, humanísticas y tecnológicas.
- 1.2. La Revista Científica UNET se publicará periódicamente por lo menos en dos números y un volumen anual, y sus artículos podrán estar en los idiomas español o inglés.
- 1.3. Los originales no se podrán presentar posterior o simultáneamente a otra revista. Una vez recibido el material pasa a ser de exclusiva y definitiva propiedad de la Revista Científica UNET.
- 1.4. Los artículos deben ser enviados con una comunicación dirigida al Director de la Revista Científica UNET, en el que el autor responsable declare la conformidad por parte de los coautores y que el artículo enviado no ha sido publicado previamente.
- 1.5. El Comité Editorial de la Revista Científica UNET al aceptar la publicación no se hace responsable del contenido expresado en el trabajo publicado. Se acusará recibo, cuando así se solicite.
- 1.6. Aquellos originales que no se acojan a las condiciones indicadas en los requisitos de presentación que se ofrece a continuación, o que por su contenido no constituya una contribución científica original, serán devueltos al autor.
- 1.7. Los artículos deben ser presentados a doble espacio, letra tipo Times New Roman, 12 puntos, con todas las páginas y líneas enumeradas. El documento incluye texto, figuras, tablas y referencias bibliográficas, sin exceder las 20 páginas. Debe ser enviado en formato digital, ya sea en archivo Word (.doc), Portable Document File (.pdf) o LaTeX (.txt) sin restricciones de seguridad, y las imágenes deben ser presentadas en archivo JPG, en resolución de 300 dpi. para su posterior edición a ser considerados por la revista. Una vez aceptado el artículo se le solicitará el arte final con mayor resolución.

## 2. Requisitos de presentación

- 2.1. Los artículos científicos deberán contener los elementos que a continuación se indican: Portada, Resumen, Palabras Clave, Abstract, Key Words, Introducción, Materiales y Método, Resultados, Discusión, Conclusiones, Agradecimiento y Referencias Bibliográficas.
- 2.2. Los artículos científicos deberán presentarse escritos a doble espacio (excepto: Resumen, Abstract, Agradecimiento leyendas de figuras y tablas, y Referencias Bibliográficas, que serán transcritas a un solo espacio), con los siguientes márgenes: 4 cm sobre el borde izquierdo; 3 cm sobre la derecha, 4 cm en el superior y 3 cm por el inferior; tamaño carta, sin correcciones y con enumeración consecutiva.
- 2.3. La portada ha de incluir los siguientes datos: a.- El título del trabajo breve y específico, expresado en español (máximo de 15 palabras). b.- Apellido(s) y nombre(s) del(los) autor(es). c.- Dirección institucional completa del (los) autor(es) indicando además correo electrónico. d. Título del trabajo en inglés, con las mismas instrucciones del título en español. e. Resumen en español, en una sola cuartilla que no exceda un máximo de 250 palabras y seguidamente a un espacio de 3 a 5 palabras clave. f. Abstract (con iguales instrucciones que para el resumen en español), seguido por un espacio las palabras clave en inglés (Key Words). G. Título corto de encabezado, que no exceda las 5 palabras.
- 2.4. El encabezamiento de cada sección se escribirá en negritas en mayúsculas centradas en el texto.
- 2.5. Los encabezamientos subsiguientes y secciones se escribirán en negritas, en minúsculas (con la primera letra en mayúscula) y justificado a la izquierda.
- 2.6. Para las figuras, fotografías y gráficos debe usarse la denominación de Figura. Deben citarse apropiadamente en el texto, identificadas y enumeradas consecutivamente usando números arábigos. La leyenda debe ser concisa y descriptiva, debiendo colocarse debajo de la figura en negrita, tamaño 10 puntos.
- 2.7. Las tablas deberán estar enumeradas en forma consecutiva con número arábigo y se denominará Tabla. El encabezado debe ir sobre la tabla en negrita, tamaño 10 puntos. El autor podrá indicar en qué parte del texto aproximadamente deberán colocarse, pero nunca ser agrupadas al final del mismo.
- 2.8. Todas las tablas y figuras deberán ser referidas en el texto e ir acompañadas de leyendas explicativas, claras, Tabla (Ej. Tabla 1. Valores promedios de ..... ) y si es Figura (Ej. Figura 3. Dispositivo empleado para la .....).
- 2.9. Las tablas y gráficos deberán presentarse en Word. Los símbolos matemáticos deben ser muy claros y legibles. Los subíndices y supraíndices deben estar ubicados correctamente y las ecuaciones deben ser enumeradas en arábigo, colocadas entre paréntesis en el margen derecho. Las tablas configuradas en horizontal, deberán presentarse con la parte superior en el borde izquierdo, respetando los márgenes indicados en el apartado 2.2.
- 2.10. Las referencias bibliográficas deben ir en hojas separadas al final de cada trabajo, en forma consecutiva y ordenada alfabéticamente. En el texto debe citarse el apellido del autor y año [Ej. (Perruolo, 2008) si no forma parte del texto; pero si forma parte de este sería por ejemplo, Casanova (1999)]. Cuando se trata de dos autores debe citarse (González & Rodríguez, 2000). Cuando son más de dos autores deberá citarse (Barrio et al., 2004).
- 2.11. Cuando una cita consiste en varias fuentes, deberá citarse en orden cronológico separados por punto y coma, por ejemplo (Casanova, 1999; Gonzalez & Rodríguez, 2000; Barrio et al., 2004; Perruolo, 2008).
- 2.12. En caso de presentarse una cita con distintos autores que coincidan en el apellido deberá colocar la inicial del nombre, por ejemplo (González L., 2001; González Z., 2001).
- 2.13. Para la elaboración de las referencias bibliográficas deberán seguirse las siguientes normas: a.- Si se trata de revista o publicaciones periódicas: apellido (s) de autor (es) inicial del nombre (s), título del artículo, abreviatura de la revista, volumen (Número): páginas (inicial y final), Año. b.- Si se trata de libros: Apellido(s) de autor(es) inicial del nombre(s), título del libro, Edición, lugar de publicación (ciudad), casa editora, paginación, Año. c.- Si se trata del capítulo de un libro: Apellido(s) de autor(es) inicial del nombre(s), Año, título del capítulo. En: apellido(s) e inicial del nombre(s), del editor del libro, título, edición, lugar de publicación, editora, página.
- 2.14. Las citas de fuentes electrónicas se reportan indicando: a.- Apellido (s) de autor (es) inicial del nombre (s). b.- Título del trabajo y c.- La denominación "Obtenido de Word Wide Wen Site. <http://www.>, las siglas del remitente.
- 2.15. Enumere en el margen izquierdo del manuscrito todas las líneas del texto, iniciando la numeración en la primera línea del resumen.
- 2.16. Se recomienda a los autores considerar las normas internacionales de nomenclatura para cada materia, así como los símbolos, unidades y abreviaturas usadas internacionalmente.

## 3. Disposiciones finales

- 3.1. Los trabajos deben ser enviados al: Editor Jefe de la Revista Científica UNET. Correo Electrónico: rcunet@unet.edu.ve
- 3.2. A los autores remitentes de los trabajos que cumplan con la normativa prevista en esta, se les notificará la recepción de los mismos.
- 3.3. Los artículos serán sometidos a arbitraje para su publicación. Se debe enviar por escrito de 3 a 5 posibles personas, conocedoras del tema a tratar respectivamente.
- 3.4. El Comité Editorial remitirá una correspondencia oficial de aceptación cuando los árbitros así lo determinen, indicándose la fecha de recepción, aceptación y ubicación relativa en la Revista Científica UNET.
- 3.5. En caso de correcciones, el Comité Editorial remitirá al primer autor una copia en formato digital por correo electrónico para las correcciones que fueren necesarias, teniéndose que ser devueltas en un lapso no mayor de 15 días hábiles.
- 3.6. Él (los) autores recibirán 10 ejemplares de la revista en que se haya incluido su(s) artículo(s).

---

# RULES FOR THE AUTHORS

## 1. Generals

- 1.1. The UNET Scientific Magazine will consider for publication works related to the basic and applied sciences, the humanistic sciences and to all the branches of engineering.
- 1.2. Articles consisting of investigation results and upgrades, whenever they are unpublished, will be received, with a maximum of 20 pages. The original versions in Spanish may be sent by national or foreign authors, the latter may be residents or not in Venezuela.
- 1.4. The originals cannot be sent to another magazine afterwards or simultaneously. Once received, the material becomes sole right and definite property of the UNET Scientific Magazine.
- 1.5. The text signed by more than one author is accepted with the presumption that all authors have revised and approved the original correspondent.
- 1.6. The Editorial Committee of the Scientific Magazine UNET when accepting the publication is not responsible for the content expressed in the published work, nor for the possible loss of the original, reason why the Committee advises the author to preserve a copy of the manuscript, both text and illustrations. Receipt will be acknowledged, when requested.
- 1.7. Originals that will not follow the above conditions, or the Instructions to follow, and that will not represent an original scientific contribution will be returned to the author.
- 1.8. The original must be accompanied by three readable copies and all the pages should be typed or printed, using some of the following word processors: Word. Written to a single column, with New Times Roman 12 points font, numbered. The number of pages must include text, figures, charts and bibliographical references. Also, it should include a 3½ disk, with the work to be published.

## 2. Presentation Requirements

- 2.1. The scientific articles to be published can contain the following elements: Cover, Abstract, Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion of Results, Conclusions, thank you notes and Bibliographical References.
- 2.2. The scientific articles should be written double spaced (except: the Abstract, thank you notes and Bibliographical References that will be written single spaced), with the following margins: 4 cm on the left border, 2.5 cm on the right, 4 cm on the top, 3 cm on the bottom; letter-sized page, single faced, without corrections and with serial numerations.
- 2.3. The cover must include the following information: a- The title of the work, brief and specific, written in Spanish (with a maximum of 15 words.). b- Last name, initial of the second last name and initial of the first name. Same for the other authors (if applicable), c- complete institutional address of the authors indicating postal address, fax, telephone and electronic mail.
- 2.4. A Spanish Summary with a maximum extension of 250 words in a single paragraph and subsequently to a space, key words in a quantity of 3 at 5.
- 2.5. The title of the work in English should consist of a faithful and exact translation of the title in Spanish, with the same instructions for this last one. Next, and to a space the Abstract (with the same instructions as for the title), the key words in a single paragraph and subsequently separated by a space (Key Words) in English.
- 2.6. The heading of each section will be written in boldfaces, uppercased and lower-cased centered in the text.
- 2.7. The headings of subsequent sections will be written boldfaced, in uppercase and lowercase, to the left of the text.
- 2.8. Figures, Photographs and Graphics should be designated as Figure.
- 2.9. Charts and figures will be referenced in the text and accompanied by explanatory legends, located at the top part for Charts (E.g. Chart 1. Mean Values of.....) and in the bottom if it is a Figure (E.g. Figure 3. Device used for the.....).
- 2.10. Charts and graphics will be presented in Word, Harvard Graphics or Excel, to a maximum size of 15x15 cm wide. The pictures will be in black and white with a maximum of 9.5 cm wide, printed in brilliant, well contrasted and clear paper. The pictures will be identified (for technical reasons do not write on the reverse of the pictures). In the case of microphotographs, point out the increase to which it has been taken.
- 2.11. Mathematical symbols should be very clear and readable. Sub-indexes and supra-indexes should be located correctly and the equations should be numbered with Arabic numbers, placed between parenthesis in the right margin.
- 2.12. Bibliographical references should go in separated pages at the end of each work, arranged in a sequenced form and alphabetically ordered. In the text, references should be cited as follows: author's last names and year (E.g. (Casanova, 1999), if the citation goes within the text, it should be cited as follows: For example: The consumption per capita of honey in Táchira State detected by Casanova (1999) was of.....).
- 2.13. For the elaboration of bibliographical references the following norms should be followed: a. - Magazines or periodic publications: author's last name (s), initial of first name (s), each author separated by coma, title of the article, abbreviation of the magazine's name, magazine's volume, number of pages of the article, year. b. - Books: Author's last name, initial of first name(s), title of the book, Edition, publication place (city), publisher, and page number, year. c. - Chapter of a book: Author's last name, initial of first name, year, title of the chapter. In: last name(s) of author(s), initial of the first name, editor of the book, title, edition, publication place, publisher and page.
- 2.14. Citation of electronic sources are reported as: a. - Last name(s) of authors, initial of the first name. b. - Title of the work and c. - Denomination "Obtained from the World Wide Web Site: <http://www>, the sender's initials.
- 2.15. Citations such as "unpublished observations", "personal communication" and "work in press" (that are not in our printing), should not be included in the list of references.
- 2.16. Authors are recommended to consider the international rules of nomenclature as well as the symbols, units and abbreviations used internationally.

## 3. Final Dispositions

- 3.1. Works should be sent to: Chief editor of the Magazine. Address: Avda. Universidad. Paramillo. Apartado 436. Decanato de Investigación UNET. San Cristóbal, Táchira-Venezuela. Electronic address: [web-site: http://investigacion.unet.edu.ve](mailto:rcunet@unet.edu.ve) E-mail: [rcunet@unet.edu.ve](mailto:rcunet@unet.edu.ve)
  - 3.2. Remittent authors of works that fulfill the requirements will be notified by official communication date of reception.
  - 3.3. Articles will be subjected to arbitration for their publication.
  - 3.4. Referees will receive, revise and remit the articles to the Editorial Committee with the respective observations.
  - 3.5. The Editorial Committee will send official correspondence of acceptance when the referees determine this way, indicating the publication date and relative location in the Scientific Magazine UNET.
  - 3.6. In case of corrections, the Editorial Committee will send to the first author a copy and the disk for the corrections necessary to be made. The author should return it within 15 working days.
  - 3.7. The authors will receive a copy of the magazine in which their article is included, together with 10 separated papers of the published article.
-

---

## COMITÉ DE ARBITROS

**Mario Cosenza**

Universidad de Los Andes-Mérida

**Antonio Parravano**

Universidad de Los Andes-Mérida

**Kay Tucci**

Universidad de Los Andes-Mérida

**Pablo Guillen**

Universidad de Los Andes-Mérida

**Orlando Álvarez**

Universidad de Los Andes-Mérida

**Miguel Escalona**

Universidad de Los Andes-Mérida

**José Luís Herrera**

Universidad de Los Andes-Mérida

**Carolina Bessega**

Universidad Central de Venezuela

**Leonardo Trujillo**

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

**Gustavo Gutiérrez**

Universidad Simón Bolívar

**Feijoo Colomine**

Universidad Nacional Experimental del Táchira

**Antonio Bravo**

Universidad Nacional Experimental del Táchira

**Rosanna Timaure**

Universidad Nacional Experimental del Táchira

**Juan Carlos Villegas**

Universidad de Los Andes-Mérida

**Jhon Amaya**

Universidad Nacional Experimental del Táchira

**José López**

Universidad Nacional Experimental del Táchira

**Juan Carlos González Avella**

Universidad de Los Andes-Mérida

**Blanca Gullén**

Universidad Nacional Experimental del Táchira

**José Ortega**

Universidad de Carabobo

**Javier González**

Universidad Nacional Experimental del Táchira

**Rafael Almeida**

Universidad de Los Andes-Mérida

**Carlos Echeverría**

Universidad Nacional Experimental del Táchira

**José Manuel Albornoz**

Universidad de Los Andes-Mérida

---



## ÓRGANO DIVULGATIVO DE LAS ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DEL TÁCHIRA

### SUMARIO

### 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.**

#### 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.**

#### EXACTAS

Identificación y evaluación de los impactos ambientales en el proceso de producción de etanol

**Araujo, E.; Carrero, D.**

### SUMMARY

### PAGE

#### AGROPECUARIA

Development of *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera:Curculionidae) in coffee with different percentage

**Salazar, M.; Reyes, J.; Vivas, A.; Sánchez, J.**

Microbiological and physic chemical characterization of the ferment used in the elaboration of the Andean Bread in Venezuela

**Vonasek, S.; Zambrano, M.**

Effect of chemical and organic fertilization in the yield of blackberry (*Rubus glaucus* Benth)

**Briceño, W.; Omaña, R.**

#### INDUSTRIAL

Modeling and simulation of the performance of a fuel cell for automotive use

**Posso, F.; Duque, W.**

Proposal to the evaluation and improvement of the work methods in the SME

**Márquez, M.; Pérez, F.**

Design of Incomplete balanced blocks through the Tabu search

**Rodríguez, D.**

Reengineering of the SAGAJ version to implement in the Grid

**Castro, J.; Casique, D.; Amaya, J.**

#### EXACTAS

Identification and evaluation of environmental impacts in the process of ethanol production

**Araujo, E.; Carrero, D.**

