



Gobierno Bolivariano
de Venezuela

Ministerio del Poder Popular
para la Agricultura y Tierras



Venezuela
AHORA ES DE TODOS

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Agronomía Tropical

ISSN: 0002 - 192X
AÑO 59 VOL. 59 No. 2 2009

AGRONOMÍA TROPICAL

Revista trimestral del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Venezuela, anteriormente FONAIAP.

AGRONOMÍA TROPICAL publica trabajos inéditos sobre resultados de investigación obtenidos en las ciencias agrícolas y sus diferentes disciplinas: mejoramiento agronómico, recursos fitogenéticos, biotecnología, fisiología vegetal, edafología, fertilidad y nutrición de suelos, riego, protección vegetal, malezas, ecología y medio ambiente, maquinaria, sistemas de producción y tecnología de alimentos, entre otros.

La remisión de un trabajo a la revista implica que no ha sido publicado ni enviado simultáneamente para su publicación en otro medio. Los artículos y notas son revisados y evaluados por reconocidos especialistas para asegurar su calidad científica. El contenido de los trabajos (artículos, notas, ensayos...) es de la exclusiva responsabilidad de los autores.

INDIZACIÓN

AGRONOMÍA TROPICAL es reseñada e indizada por CAB Internacional (Reino Unido); TROPAG, Royal Tropic Institute (Holanda); REFERATIVNYI ZHURNAL, All-Russian Institute of Scientific and Technical Information (Rusia); AGRIS, FAO (Roma); Base Agrícola Venezolana, INIA (Venezuela); Centro de Información y Documentación (Cuba); REVENCYT, Fundacite Mérida (Venezuela); PERIÓDICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias, UNAM (México); REDPAV, Fundación Polar (Venezuela); WILDLIFE REVIEW ABSTRACTS, NISC Colorado (USA); BIOSIS Zoological Record (Reino Unido); AGRÍCOLA, National Agricultural Library (USA); Pest Directory, International Society for Pest Information (Alemania); LATINDEX, Directorio de Publicaciones Científicas de América Latina; Bibliografía Edafológica Venezolana, Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo; MegaBase AGRI 2000, IICA-CATIE; Catalogue en Ligne del Institute de l' Information Scientifique et Technique, Francia; Base de Datos REVIS, CATIE, Costa Rica, Science citation index, <http://www2.scielo.org>.

SUSCRIPCIÓN

Venezuela: 125 000,00 Bs.F: 125,00
Países en desarrollo: US\$ 95, incluyendo costos de envío
(Developing countries) (including shipping)
Países desarrollos: US\$ 100, incluyendo costos de envío
(Developed countries) (including shipping)

DIRECCIÓN

La correspondencia debe dirigirse a: **AGRONOMÍA TROPICAL**, Av. Universidad, vía El Limón, Edificio Gerencia General, INIA. Apartado 2103. Maracay 2105. Aragua-Venezuela. Los envíos por concepto de CANJE (EXCHANGE) deben dirigirse a: BIBLIOTECA, Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA. Apartado 4653. Maracay 2101. Aragua-Venezuela.

Correo Electrónico: agrotrop@canaima2.inia.gob.ve
Página Electrónica: http://www.inia.gob.ve/index.php?option=com_periodicas
<http://www.ceniap.gov.ve/pbd/index.htm>

AUTORIDADES DEL INIA

Dr. Yván Gil
PRESIDENTE

Dr. Orlando Moreno
GERENTE GENERAL

Dr. Luis Dickson
GERENTE DE INVESTIGACIÓN

Dr. David Díaz
GERENTE DE SERVICIOS Y PRODUCCIÓN SOCIAL

FUNDADORES

Luis Medina (Dir.), Bruno Mazzani*, W. S. Iljin, Rafael Pontis Videla, Jesús Silva Calvo, Gino Malagutti, Guisepe Ravello, Luis A. Salas F., S. Horovitz, P. Obregón y Dora M. de Zerpa.

COORDINACIÓN EDITORIAL REVISTA AGRONOMÍA TROPICAL

Milagros Fernández
EDITOR JEFE

Zulay Melo
BACHILLER I

Mónica González
EDITOR ASISTENTE

Carmen E. Sólorzano
BACHILLER I

EDITORES ASOCIADOS

Dra. Rosemary Warnock, UCV
Producción Vegetal

Dra. Judith Zambrano, ULA-Trujillo
Frutales

Dra. Beatriz Lozada, INIA- Táchira
Agrometeorología

Dr. Rodolfo Delgado, INIA-CENIAP
Edafología, Fertilidad y Nutrición de Suelos

Dra. Asia Y. Zambrano, INIA-CENIAP
Biotecnología Vegetal

Dra. Aída Ortiz Domínguez, UCV
Cereales, Malezas y Semillas

COMITÉ EDITORIAL

Milagros Fernández
María González

Félix San Vicente
Klaus Jaffé

CONSEJO DE REDACCIÓN

José San José. IVIC. Caracas
Gustavo Trujillo. UCV. Fac. de Agronomía
María A. Sobrado. USB. Caracas
José Pérez Roa. CIDIAT. Mérida
Jean Marie Hétier. ORSTOM. Francia
Eduardo Casanova. UCV. Fac. de Agronomía
Jorge Salas. INIA. CIAE Lara
Eva García. UCV. Fac. de Agronomía
Luis Avilán. INIA. CENIAP. Maracay
Guillermo H. Eyherabide. INIA. Argentina
Gloria I. Puerta. CINECAFÉ. Colombia
Jon Lizaso. Iowa State University
Gustavo Yépez. SYNGENIA. Guatemala
María L. Izaguirre. IVIC. Caracas
Inés Pino. Comisión Chile. Energía Nuclear

Yolanda Guevara. INIA. CENIAP. Maracay
Raúl Mosqueda Vásquez. INIFAP. México
Alfredo Layrisse. UCV. Fac. de Agronomía
Juan Comerma. PALMAVEN. Carabobo
David Beck. CIMMYT. México
Zaida Lentini. CIAT. Colombia
Graciano Elizalde. UCV. Fac. de Agronomía
Marisol Castrillo. USB. Caracas
José Barreiro Méndez. USB. Caracas
Juan Blanquer. Univ. Politéc. Valencia. España
Ramón Rossel. Univ. Nac. del Sur. Argentina
Lelys Bravo. USB. Caracas
Berto Arias. INIA. CIAE Monagas
María Juana Pérez. INIA. CENIAP. Maracay
Segundo Urquiaga. EMBRAPA. Brasil

Se agradece al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Fonacit)
el apoyo financiero otorgado para la edición de este número

AGRONOMÍA TROPICAL

Vol. 59 - 2009

Abril-Junio

Nº 2

ISSN 0002-192X

Depósito Legal pp 195102AR73

TABLA DE CONTENIDO

| Artículos: | Pág. |
|--|------|
| ORTIZ de BERTORELLI, L., L. GRAZIANI DE FARIÑAS y G. ROVEDAS L. Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol..... Some factors affecting characteristics of fermented and sun dried cocoa grain. | 119 |
| SALAZAR, E., P. GONZÁLEZ y C. HERNÁNDEZ. Multiplicación <i>in vitro</i> de <i>Agave cocui</i> Trelease a través de yemas auxiliares..... <i>In vitro</i> multiplication of <i>Agave cocui</i> Trelease through axillary buds. | 129 |
| BASTIDAS, L., R. REA, O. DE SOUSA, R. BRICEÑO y E. HERNÁNDEZ. Potencial azucarero y panelero de cinco cultivares de caña de azúcar en el Valle de Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón, Venezuela..... Sugar and panela potential of five sugarcane cultivars in the Santa Cruz of Bucaral Valley, Falcon State, Venezuela. | 137 |
| SEVILLA L., V. y J. A. COMERMA G. Caracterización de la cuenca del río Canoabo en el estado Carabobo, Venezuela. II. Suelos y tierras..... Characterization of the river basin Canoabo in the Carabobo State, Venezuela. II. Grounds and earth. | 149 |
| GARCÍA. P., S. CABRERA, J. SÁNCHEZ y A. PÉREZ. Rendimiento del maíz y las épocas de siembra en los Llanos Occidentales de Venezuela..... Corn yield and planting date at the western plains of Venezuela. | 161 |
| RODRÍGUEZ, G., R. SILVA-ACUÑA, R. BARRIOS MAESTRE, A. DÍAZ, R. CÁSAIRES, E. GONZÁLEZ y E. MILANO. Evaluación de atrayentes orgánicos para la captura de adultos de <i>Opsiphanes cassina</i> Felder, defoliador de la palma aceitera..... Evaluation of organic attractants to catch adult <i>Opsiphanes cassina</i> Felder, oil palm defoliator. | 173 |
| BLANCO, G., J. HERNÁNDEZ, A. PÉREZ, A. ORDOSGOITTI, G. MARTÍNEZ y E. MANZANILLA. Caracterización agronómica de clones de musáceas con niveles de resistencia a sigatoka negra en el municipio Veroes, estado Yaracuy, Venezuela..... Agronomic characterization of clones of musaceas with levels of black resistance to sigatoka in the municipality veroes, Yaracay State, Venezuela. | 183 |
| GUERRERO-ALVES, J. P., I. PLA-SENTÍS y A. VALERA. Caracterización morfológica, física, química, mineralógico y génesis de un pedón sódico alcalino ubicado en Papelón, estado Portuguesa..... Morphological, physical, chemical and mineralogical characterization and genesis of an alkaline sodic pedon from Papelon, Portuguesa State. | 189 |

| Artículos: | Pág |
|---|------------|
| TORRES, D., M. APARICIO, M. LÓPEZ, J. CONTRERAS e I. ACEVEDO. Impacto del tipo de uso de la tierra sobre propiedades del suelo en la depresión de Quíbor..... Impact of type of land use on soil properties in the depression of Lara State. | 207 |

Nota Técnica:

| | |
|--|------------|
| NAVAS VÁSQUEZ, M. J., M. BENITO y A. MASAGUER. Evaluación de parámetros bioquímicos en un Calcaric Skeletic Cambisol bajo diferentes usos de suelo..... Evaluation of biochemical parameters in a Calcaric Skeletic Cambisol under different ground uses. | 219 |
|--|------------|

Instrucciones a los Autores

INFLUENCIA DE VARIOS FACTORES SOBRE CARACTERÍSTICAS DEL GRANO DE CACAO FERMENTADO Y SECADO AL SOL¹

SOME FACTORS AFFECTING CHARACTERISTICS OF FERMENTED AND SUN DRIED COCOA GRAIN¹

Ligia Ortiz de Bertorelli*, Lucía Graziani de Fariñas* y Gervaise Rovedas L.*

¹ Trabajo financiado por FUNDACITE Aragua y Fonacit.

* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Química y Tecnología. Apto. 4579. Maracay 2101, estado Aragua Venezuela. E-mail: ortizl41@cantv.net.

RESUMEN

Para evaluar la influencia del tipo de cacao, *Theobroma cacao* L., almacenamiento del fruto previo a la fermentación, frecuencia de remoción de la masa fermentante (semillas y pulpa), condición del grano (fresco, fermentado seco) sobre características del cacao fermentado, secado por exposición al sol; lotes de los tipos criollo y forastero de cacaos de Cumboto (Aragua) fueron fermentados y secados recién cosechados (AM1), a los 5 días de la recolección (AM2). La fermentación se realizó durante 5 días, sin remover la masa fermentante (SR), con remoción cada 24 y 48 horas. El secado se hizo por 4 días. Al grano se le midieron las características químicas y los índices físicos. Los resultados revelaron que el cacao criollo presentó los contenidos más altos de humedad, acidez, grasa y proteína; el AM2 de humedad y pH y el SR de humedad y proteína. Además, al cacao criollo le correspondió la menor cantidad de granos pizarrosos, al AM2 de granos negros y al SR de granos fermentados. Respecto al color, el AM2 mostró mayor luminosidad y el SR menor tendencia al rojo y al amarillo. Al fermentar el cacao, aumentó la humedad del cotiledón, descendieron el pH y la acidez, mientras que los taninos y proteínas no variaron. En el secado disminuyeron la humedad, acidez, taninos, proteínas del cotiledón, pero se incrementó el pH. En conclusión, las propiedades del grano seco variaron en función de los factores evaluados, en tanto que las características químicas del cotiledón dependieron de la condición del grano.

Palabras Clave: *Theobroma cacao* L.; fermentación; secado; índices físicos; características químicas.

SUMMARY

In order to evaluate the influence of the cocoa type (criollo and forastero cocoa from Cumboto, Aragua), conditions of storage of the fruit prior to fermentation (fermented and dried immediately after harvest (AM1) and 5 days after harvesting (AM2)), frequency of mixing of the fermenting mass (seeds and pulp; Fermentation was done for 5 days without mixing the fermenting mass (SR) and mixing the mass every 24 or 48 hours), and grain condition (fresh, fermented or dried), on the characteristics of fermented or sun-dried cocoa grains. Grain chemical characteristics and physical indexes were measured. Results showed that criollo cocoa had the highest acidity and humidity, fat and protein contents. Also, criollo cocoa had the lowest quantity of slatery grains, while AM2 grains and SR grains had the lowest quantities of black grain and fermented grains respectively. Regarding the color, AM2 grains showed the highest luminosity, and SR the lowest tendency to exhibit red and yellow grains. Fermentation increased the cotyledon humidity, lower pH, acidity and no changes in tannins and proteins contents. In the sun dried samples the cotyledon humidity, acidity, tannins, and proteins decreased, but there was a pH increase. In conclusion, the properties of the dry grain varied according to the evaluated factors and the chemical characteristics of the cotyledon dependent on the grain condition.

Key Words: *Theobroma cacao* L.; fermentation; drying; physical indexes; chemical characteristics.

INTRODUCCIÓN

En el beneficio del cacao, *Theobroma cacao* L., la fermentación y el secado son etapas de gran importancia, ya que en la primera se producen reacciones bioquímicas que causan una disminución del amargor y la astringencia que dan origen a los precursores del aroma y sabor a chocolate; en la segunda se reduce el exceso de humedad que queda después de la fermentación, lo que evita el desarrollo de mohos que deterioran la calidad (Rohan, 1964) y facilita el almacenamiento (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994), manejo y comercialización del cacao.

Otro aspecto relevante del secado es que continúa la fase oxidativa iniciada en la fermentación y se completa la formación de los compuestos del aroma y sabor. Además, en esta etapa ocurre el desarrollo de los pigmentos de color marrón a partir de los compuestos fenólicos (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994).

Varios factores influyen sobre la fermentación del cacao, entre ellos el tipo de cacao (Braudeau, 1970; Lemus *et al.*, 2002), tiempo de almacenamiento del fruto o mazorca antes de la apertura y el desgrane (Barel, 1987; Dias y Avila, 1993; Schwan *et al.*, 1990; Torres *et al.*, 2004), tipo de fermentador usado (Contreras *et al.*, 2004; Graziani de Fariñas *et al.*, 2003a; Nogales *et al.*, 2006), tiempo del proceso y frecuencia de remoción de la masa fermentante (Puziah *et al.*, 1998; Senanayake *et al.*, 1997; Schwan *et al.*, 1990).

Por su parte, el secado por exposición al sol es afectado por la textura del piso, frecuencia de remoción de los granos (Ortiz de Bertorelli *et al.*, 2004) y las condiciones climáticas (Jinap *et al.*, 1994; Nogales *et al.*, 2006), las cuales pueden variar de una zona a otra, así como en una misma zona durante el año (Ghosh y Cunha, 1975). Sobre el secado se han realizado pocos estudios, a pesar de que los cambios que se producen en la fermentación afectan las características del grano seco, al continuar las reacciones iniciadas en el proceso fermentativo (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994).

Todos los factores citados ejercen un papel significativo sobre la calidad del producto final, por lo que es importante su control para la obtención de una mayor eficiencia y rentabilidad de la producción. Sin embargo, los productores de la zona norte costera del estado Aragua no conocen con exactitud como afecta el manejo post cosecha las propiedades del grano de cacao fermentado y seco, el cual realizan de forma muy variable de acuerdo con la experiencia personal.

Por ello, el objetivo fundamental de este trabajo comprendió la evaluación del efecto de algunos de los factores que usualmente varían más los productores, a fin de determinar como influyen el tipo de cacao, almacenamiento del fruto previo a la fermentación y la frecuencia de remoción de la masa fermentante sobre índices físicos y características químicas del grano de cacao de Cumboto, fermentado y secado por exposición al sol, para así generar información que permita a los productores de cacao de la zona internalizar la necesidad del control de los factores para la obtención de un producto de alta calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron frutos (mazorcas) de cacao tipos criollo y forastero de la localidad de Cumboto (Aragua), ubicada en la Región Central del municipio Costa de Oro del estado Aragua, la cual presenta una precipitación anual de 467 a 988,5 mm, con una marcada diferencia entre el período seco y lluvioso, una temperatura media anual de 25,76°C y una humedad relativa promedio de 68% (Monagas, 1995; FUNDACITE Aragua, 2008).

En plantas identificadas según algunos descriptores taxonómicos señalados por Bekele *et al.* (1994), fueron cosechadas al azar 300 mazorcas sanas y maduras de cada tipo de cacao, estableciendo el grado de madurez de los frutos de acuerdo con los criterios usados por González *et al.* (1999).

Las mazorcas de ambos tipos de cacao (TC) se dividieron en dos lotes: el primer lote fue fermentado recién cosechado (AM1) y el segundo lote 5 días después de la recolección (AM2). En el proceso fermentativo se utilizaron distintas frecuencias en la remoción (FR) de la masa fermentante (semillas y pulpa): sin remover (SR), removiéndola cada 48 h y cada 24 h. Todos los lotes fueron fermentados por 5 d en Cumboto, siguiendo la metodología señalada por Graziani de Fariñas *et al.* (2003a). El secado se efectuó por exposición directa al sol por 4 d (Ortiz de Bertorelli *et al.*, 2004). Para lo cual, la masa de cacao fermentada fue extendida sobre un patio de cemento en una capa de 2 cm de espesor y expuesta al sol por 4 h el primer día y por 7 h a partir del segundo día.

En el ensayo se usó un diseño completamente aleatorizado con 3 observaciones y un arreglo factorial mixto 22x3 en los cuales los factores evaluados fueron: tipos de cacao (criollo y forastero), almacenamiento de la

mazorca (0 y 5 d) y frecuencia de remoción de la masa fermentante (0, cada 24 y cada 48 h).

Los análisis químicos, del grano entero y del cotiledón, fueron realizados de acuerdo con los métodos de la AOAC (1997): Humedad (N° 931,04), pH (N° 970,21), acidez total titulable (N° 942,15), cenizas (N° 972,15), grasa (N° 936,15), proteínas (N° 970,20), incorporando un desgrasado previo de las muestras con éter de petróleo por 4 h (Graziani de Fariñas *et al.*, 2003b) y los taninos por el método Folin Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965).

El color de los granos secos fue determinado por el método indicado por Ortiz de Bertorelli *et al.* (2004) y los porcentajes de granos pizarrosos, múltiples, negros, violáceos y fermentados fueron calculados mediante las normas N° 442 (COVENIN, 1995) y N° 50 (COVENIN, 1998).

A los resultados obtenidos se les realizó un análisis de varianza y una comparación de medias por la prueba de rangos múltiples de Duncan, mediante el paquete estadístico SAS (1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico, de los resultados de las características del grano fermentado y seco, reveló diferencias

altamente significativas para los efectos simples (TC, AM y FR), los cuales predominaron sobre las interacciones, por lo que la interpretación de los resultados se basó sobre dichos efectos.

Características químicas del grano fermentado y seco

La prueba de Duncan, aplicada a los resultados de las características químicas, señaló que los factores evaluados afectaron todos los componentes analizados, los cuales mostraron diferencias significativas al 5% (Cuadro 1), presentando el cacao tipo criollo los mayores porcentajes de humedad, acidez, grasa y proteínas, mientras que el forastero los valores más altos de pH y taninos. En cuanto al almacenamiento, se encontraron valores superiores de humedad y pH en el cacao AM2 y de acidez, cenizas, grasa y proteínas en el AM1. Respecto a la remoción, se notaron cantidades superiores de humedad y proteína en el cacao SR.

La dependencia de las características químicas del grano seco con el tipo de cacao, almacenamiento del fruto y frecuencia de remoción de la masa fermentante es debido al efecto de estos factores sobre los cambios que ocurren al fermentar el grano. Durante el proceso fermentativo varía la composición química (Graziani de Fariñas *et al.*, 2002), difiriendo los valores alcanzados entre los tipos de cacao (Graziani de Fariñas *et al.*, 2002).

CUADRO 1. Promedios de las características químicas del grano de cacao fermentado y secado al sol.

| Factores | | Características Químicas | | | | | | |
|---------------------------|--------------|--------------------------|--------|-------------|--------------|--------------|-------------|----------------|
| | | Humedad % | pH | Acidez % | Cenizas % | Taninos % | Grasas % | Proteínas % |
| Tipos de cacao | Criollo | 5,20a | 6,00b | 0,73a | 3,21a | 0,81b | 54,49a | 16,26a |
| | Forastero | 4,50b | 6,20a | 0,65b | 3,20a | 1,27a | 54,08b | 14,32b |
| Almacenamiento | 0 días (AM1) | 4,29b | 5,98b | 0,74a | 3,62a | 1,00a | 55,15a | 16,82a |
| | 5 días (AM2) | 5,40a | 6,23a | 0,64b | 2,79b | 1,06a | 53,42b | 13,78b |
| Frecuencia de remoción | SR | 5,13a | 6,13ab | 0,68a | 3,26ab | 1,00a | 54,59a | 15,66a |
| | C/48 h | 4,86b | 6,10a | 0,68a | 3,24a | 1,08a | 53,77b | 15,05b |
| | C/24 h | 4,55c | 6,07b | 0,70a | 3,10b | 1,01a | 54,50a | 15,18b |

En cada factor letras distintas en columnas indican diferencias a un nivel de significación del 5%.

Esta variación es causada por la participación de los componentes en las reacciones exotérmicas asociadas con la acción de las bacterias y levaduras que se desarrollan en esta fase, así como con la polimerización oxidativa y el oscurecimiento del grano (Cros y Jeanjean, 1995). La descomposición microbiana de la pulpa produce ácidos acéticos y lácticos que son difundidos hacia el cotiledón (Meyer *et al.*, 1989), lo cual incrementa la acidez y provoca reacciones de hidrólisis y oxidación de pigmentos (Schwan *et al.*, 1990).

El almacenamiento de los frutos antes de la fermentación incide sobre dichas reacciones, ya que causa incrementos más bruscos y temperaturas más elevadas, favorece la hidrólisis de la pulpa y acelera el proceso (Barel, 1987; Dias y Avila, 1993; Torres *et al.*, 2004). Así mismo, la remoción de la masa de cacao beneficia la fermentación, ya que también afecta la temperatura del proceso, al aumentar la aireación de la masa y propiciar el desarrollo de microorganismos aeróbicos, los cuales al generar reacciones exotérmicas causan aumentos más rápidos de la temperatura (Dias y Avila, 1993; Puziah *et al.*, 1998; Schwan *et al.*, 1990; Senanayake *et al.*, 1997) que activan la descomposición de las células de los cotiledones y el desarrollo de las reacciones (Braudeau, 1970; Rohan, 1964).

Ahora bien, como las reacciones iniciadas en la fermentación continúan en el secado, los factores evaluados también influyen sobre la composición del grano seco. Sin embargo, Tomlins *et al.* (1993) observaron que el tipo de cultivar, el almacenamiento post cosecha de la

mazorca y el método de fermentación afectan los perfiles físicos y químicos durante el proceso fermentativo de cacaos de Ghana, pero después del secado al sol o mecánico, la calidad de los granos medida sobre la base de la concentración de los ácidos orgánicos era similar.

Las características químicas del grano de los cacaos analizados fueron distintas de las encontradas en investigaciones anteriores en cacao seco de Cuyagua (Nogales *et al.*, 2006) y de Cumboto (Ortiz de Bertorelli *et al.*, 2004), zona de la cual también procede el cacao en estudio. Además, difirieron de los valores obtenidos por Jinap y Dimick (1990) para cacaos fermentados y secos de Venezuela y de los de Bonaparte *et al.* (1998) para cacao de St. Lucia. La discordancia de los resultados de este estudio con los de la bibliografía consultada podría atribuirse a la aplicación de procesos diferentes de fermentación y secado, así como al uso de materiales de cacao distintos.

Color del grano

Respecto a este índice físico (Cuadro 2), la prueba de rangos múltiples de Duncan indicó que el tipo de cacao no afectó los parámetros del color, en cambio los valores difirieron a un nivel de probabilidad del 5% entre los cacaos AM1 y AM2 y entre los fermentados con distintas frecuencias de remoción, presentando el AM2 el mayor valor de L y el menor de aL y el SR el valor más alto de aL. Sin embargo, al modificar la frecuencia de remoción (C/48h y C/24h) los parámetros no variaron, posiblemente debido al volumen de masa usado.

CUADRO 2. Promedios de los parámetros del color del grano de cacao fermentado y secado al sol.

| Factores | | Parámetros del color | | | |
|------------------------------|--------------|----------------------|--------|---------|-------|
| | | L | aL | bL | aL/bL |
| Tipos de cacao | Criollo | 40,59a | 9,82a | 16,82a | 0,59a |
| | Forastero | 41,14a | 9,43a | 16,28a | 0,59a |
| Almacenamiento de la mazorca | 0 días (AM1) | 39,04b | 9,92a | 16,40a | 0,61a |
| | 5 días (AM2) | 42,68a | 9,33b | 16,71a | 0,57a |
| Frecuencia de remoción | SR | 40,34a | 10,11a | 17,73a | 0,57a |
| | C/48 horas | 41,18a | 9,36b | 15,26b | 0,63a |
| | C/24 horas | 41,08a | 9,40b | 16,67ab | 0,57a |

En cada factor letras distintas en columnas indican diferencias a un nivel de significación del 5%.

Al fermentar el cacao, el color del grano cambia a una tonalidad parda, que difiere entre los tipos (Lemus *et al.*, 2002). El oscurecimiento de los granos durante el proceso fermentativo es producido por la hidrólisis de las antocianinas y la posterior oxidación de las agliconas resultantes a compuestos quinónicos, los cuales contribuyen al color pardo propio del cacao fermentado (Cros *et al.*, 1982).

En el secado también varía el color del grano, debido a que se desarrollan pigmentos marrones (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994) por las reacciones de condensación proteína quinona que ocurren después de la oxidación enzimática de polifenoles, tales como las leucocianidinas y las epicatequinas (Puziah *et al.*, 1999; Ramli *et al.*, 2007).

Ahora bien, en varios cultivares de cacaos fermentados con distintas condiciones, algunos autores (Tomlins *et al.*, 1993) no observaron diferencias significativas en los resultados de la prueba del corte (cut-test) después del secado al sol o mecánico de los granos.

Respecto al almacenamiento de los frutos antes del desgrane (Barel, 1987; Torres *et al.*, 2004) y a la frecuencia de remoción de la masa fermentante, al influir sobre las reacciones que ocurren en el proceso fermentativo (Puziah *et al.*, 1998; Schwan *et al.*, 1990; Senanayake *et al.*, 1997), afectan tanto las características del grano fermentado como las del grano seco, puesto

que dichas reacciones continúan durante el secado del cacao (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994).

Se ha observado que al retardar el desgrane se obtiene mayor índice de fermentación, es decir un número de granos pardos más alto en el cacao seco (Torres *et al.*, 2004). Además, al secar al sol los granos fermentados de mazorcas almacenadas por 5 d, Nogales *et al.* (2006) notaron un aumento de los parámetros L y aL y una disminución de bL en los granos secos, granos que al igual que los estudiados por Ortiz de Bertorelli *et al.* (2004), presentaron una luminosidad similar a la obtenida en esta investigación, pero una menor tendencia hacia el rojo y el amarillo, diferencias atribuibles a la aplicación de condiciones distintas en las etapas de fermentación y secado.

Índices físicos de calidad

En estos índices, la prueba de comparación de medias de Duncan reveló que el tipo de cacao sólo influyó sobre el porcentaje de granos pizarrosos, mostrando la menor cantidad el cacao criollo (Cuadro 3). En tanto que el almacenamiento del fruto antes de la fermentación afectó el porcentaje de granos negros, de manera que al cacao AM2 le correspondieron los valores más altos. Por su parte, al remover la masa aumentó el porcentaje de granos fermentados y los valores no variaron entre las muestras que se removieron con distinta frecuencia, lo que como ya fue mencionado, pudo ser ocasionado por el volumen de masa usado.

CUADRO 3. Índices físicos promedios del grano de cacao fermentado y secado al sol.

| Factores | | % Índices físicos | | | | |
|------------------------|--------------|-------------------|-----------|-----------|--------|-------------|
| | | Pizarrosos | Múltiples | Violáceos | Negros | Fermentados |
| Tipos de cacao | Criollo | 3,44b | 2,61a | 13,94a | 4,33a | 72,50a |
| | Forastero | 8,11a | 7,39a | 12,00a | 2,94a | 72,67a |
| Almacenamiento | 0 días (AM1) | 7,67a | 6,17a | 12,94a | 1,28b | 73,39a |
| | 5 días (AM2) | 3,89a | 3,83a | 13,00a | 6,00a | 71,72a |
| Frecuencia de remoción | SR | 3,50a | 4,50a | 16,00a | 2,83a | 69,83b |
| | C/48 h | 5,83a | 5,08a | 10,25a | 4,08a | 73,75a |
| | C/24 h | 8,00a | 5,42a | 12,67a | 4,00a | 74,17a |

En cada factor letras distintas en columnas indican diferencias a un nivel de significación del 5%.

Los índices físicos de calidad de los granos secos se relacionan con el grado de madurez de los frutos, observándose que mazorcas que no están completamente maduras dan origen a granos insuficientemente fermentados, violáceos y pizarrosos, ya que carecen de suficiente cantidad de azúcar para una adecuada fermentación (Rohan, 1964).

Así mismo, son afectados por el almacenamiento del fruto previo a la fermentación (Barel, 1987; Dias y Avila, 1993; Torres *et al.*, 2004) y por la frecuencia de remoción de la masa fermentante (Senanayake *et al.*, 1997), factores que al acelerar el proceso fermentativo (Barel, 1987; Torres *et al.*, 2004), incrementan el porcentaje de granos fermentados y pueden ocasionar una sobre fermentación en la cual los granos toman un color negro o pardo oscuro (Rohan, 1964).

También se ha observado que el uso de granos provenientes de mazorcas dañadas o enfermas propician la presencia de granos negros en el cacao seco (Braudeau, 1970; Rohan, 1964).

Los resultados de algunos de los índices físicos determinados fueron más altos que los encontrados por Ortiz de Bertorelli *et al.* (2004), probablemente por diferencias en el procesamiento del grano. Así mismo, los valores superan algunos de los rangos establecidos por COVENIN (1998) en la norma N° 50 como requisitos para considerar el producto como cacao fino de primera A, sin embargo, se debe resaltar que el cacao criollo y el AM2 pueden ser clasificados como tales, sobre la base de la cantidad de granos pizarrosos, múltiples,

negros y violáceos. Cabe destacar que un buen manejo agronómico y un adecuado beneficio son indispensables para cumplir con las exigencias de calidad.

Características químicas del cotiledón

Al analizar estadísticamente las características químicas del cotiledón del grano fresco, fermentado y seco, se observaron diferencias altamente significativas para el efecto simple condición del grano (CG) con predominio sobre las interacciones, siendo por lo tanto usado dicho efecto en la discusión de los resultados.

Entre los valores (Cuadro 4), la prueba de Duncan reveló diferencias significativas ($P < 0,05$), presentando el grano fermentado la mayor humedad, el grano fresco la mayor acidez y el seco el menor contenido de taninos y proteínas.

El proceso de beneficio del cacao afectó las características químicas del cotiledón. Al fermentar el cacao, la humedad del cotiledón aumentó, la acidez descendió, los taninos y las proteínas no variaron. En el secado del grano fermentado disminuyeron la humedad, los taninos y las proteínas, mientras que la acidez y el pH permanecieron constantes.

En la fermentación, la descomposición microbiana de la pulpa produce desprendimiento de jugos (Braudeau, 1970) y degradación de ácidos (Meyer *et al.*, 1989), desarrollándose reacciones químicas y bioquímicas (Cros y Jeanjean, 1995) que causan variación en la composición (Graziani de Fariñas *et al.*, 2002; Torres *et al.*, 2004).

CUADRO 4. Promedios de las características químicas del cotiledón del grano fresco, fermentado y seco.

| Cotiledón | Características químicas | | | | |
|------------|--------------------------|---------|-------------|--------------|----------------|
| | Humedad % | pH % | Acidez % | Taninos % | Proteínas % |
| Fresco | 39,69b | 5,86b | 1,35a | 1,13a | 17,45a |
| Fermentado | 44,58a | 5,98ab | 0,75b | 1,01a | 17,79a |
| Seco | 4,55c | 6,07a | 0,70b | 0,82b | 15,17b |

Letras distintas en columnas indican diferencias a un nivel de significación del 5%.

El secado también afecta las características químicas del grano, ya que, además de continuar las reacciones que se inician en la fermentación (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994; Puziah *et al.*, 1999; Nogales *et al.*, 2006), se producen reacciones térmicas que ocasionan cambios en los compuestos precursores del sabor (Puziah *et al.*, 1999), originándose fracciones volátiles mediante reacciones de oscurecimiento no enzimático vía Maillard (Cros y Jeanjean, 1995) y formación de pigmentos marrones.

Las reacciones térmicas que ocurren en esta etapa dependen de la temperatura que se alcance en el grano, la cual a su vez está relacionada con las condiciones climáticas cuando se realiza el secado por exposición al sol (Nogales *et al.*, 2006). Así pues, al aumentar la temperatura en el secado, se acelera la velocidad de la reacción de degradación de polifenoles, producida en esta etapa (Ramli *et al.*, 2007).

La composición media del cotiledón del grano fresco difirió de la obtenida por Graziani de Fariñas *et al.* (2003b) para cacaos tipos criollo y forastero de Cumboto, los cuales mostraron valores más bajos de todos los componentes y un pH mayor. Igualmente, las características del cotiledón fermentado fueron superiores a las presentadas por los mismos tipos de cacao después de la fermentación (Graziani de Fariñas *et al.*, 2002), excepto la acidez que fue inferior. En cuanto al cotiledón seco, las características también fueron mayores que las del grano seco de cacao criollo de Cuyagua (Nogales *et al.*, 2006). Estas diferencias podrían atribuirse a la variabilidad genética del material de la zona (Lemus *et al.*, 2002) y a la aplicación de metodologías distintas en el beneficio del cacao.

En conclusión, los factores evaluados influyeron sobre las propiedades del grano de cacao, variando los índices físicos y las características químicas en función del tipo de cacao, el almacenamiento de la mazorca previo a la fermentación y la frecuencia de remoción de la masa fermentante. Así mismo, las características químicas del cotiledón dependieron de la condición del grano (fresco, fermentado y seco). En consecuencia es importante considerar estos factores en el beneficio del cacao, adecuando el proceso de acuerdo con las características del grano.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la técnico Boni Escorche y al señor Rafael Osorio, la colaboración prestada.

BIBLIOGRAFÍA

- Association Of Official Analytical Chemists (AOAC). 1997. Official methods of analysis. 16th Edition. Gaithersburg, Maryland, USA. Cap.3 12:1-17.
- Barel, M. 1987. Délai d'écabossage. Influence sur les rendements et la qualité du cacao marchand et du cacao torréfié. *Café Cacao The*. 31(2):141-150.
- Bekele, F., A. Kennedy, C. Mc David, F. Lauckner and I Bekele. 1994. Numerical taxonomic studies on cocoa (*Theobroma cacao* L) in Trinidad. *Euphytica*. 75(39):231-240.
- Braudeau J. 1970. El Cacao. Técnicas agrícolas y producciones tropicales Primera edición. Barcelona, España. Editorial Blume. 297 p.
- Bonaparte, A., Z. Alikhani, C. Madramootoo and V. Reghavan. 1998. Some quality characteristics of solar dried cacao beans in St. Lucia. *J. Sci. Food Agric*. 76:553-558.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 1995. Norma venezolana N° 442. Granos de cacao. Prueba de corte. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela. 2 p.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 1998. Norma venezolana N° 50. Clasificación de lotes de granos de cacao de acuerdo a las proporciones de granos defectuosos. Ministerio de Fomento. Caracas. Venezuela. 5 p.
- Contreras, C., L. Ortiz de Bertorelli, L. Graziani de Fariñas y P. Parra. 2004. Fermentadores para cacao usados por los productores de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía Trop*. 54(2):219-232.
- Cros, E. and N. Jeanjean. 1995. Cocoa quality: effect of fermentation and drying. *Plantations, recherche, développement*. 24:25-27.
- Cros, E., F. Villeneuve ex J. Vincet. 1982. Recherche d'un indice de fermentation du cacao. Evolution des tanins et des phénols totaux de la fève. *Café Cacao The*. 26(2):104-114.
- Dias, J. e M. Avila. 1993. Influência do período de pós-colheita do fruto, sistema de revolvimento da massa e tempo de fermentação sobre a acidez do cacao. *Agrotrópica*. 5(2):25-30.

- Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología en el Estado Aragua (FUNDACITE Aragua). 2008. El cacao y su gente. Consulta on line. www.fundacitearg.gov.ve.
- Ghosh, B. and J. Cunha. 1975. Effect of season on sun drying of cocoa beans in Brazil. *Turrialba*. 25(4):396-403.
- González, F., L. Ortiz de Bertorelli, L. Graziani de Fariñas y E. Monteverde-Penso. 1999. Influencia del índice de cosecha de la mazorca sobre algunas características de la grasa de dos cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L). *Rev. Fac. Agron. (UCV)* 25(2):159-171.
- Graziani de Fariñas, L., L. Ortiz de Bertorelli, M. Lemus y P. Parra. 2002. Efecto del mezclado de granos de dos tipos de cacaos sobre algunas características químicas durante la fermentación. *Agronomía Trop.* 52(3):325-342.
- Graziani de Fariñas L., L. Ortiz de Bertorelli, N. Álvarez y A. Trujillo de Leal. 2003a. Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera. *Agronomía Trop.* 53(2):175-187.
- Graziani de Fariñas, L., L. Ortiz de Bertorelli y P. Parra. 2003b. Características químicas de la semilla de diferentes tipos de cacao de la localidad de Cumboto, Aragua. *Agronomía Trop.* 53(2):133-144.
- Jinap, S. and P. Dimick. 1990. Acidic characteristics of fermented and dried cocoa beans from different countries of origin. *J. Food Sci.* 55(2):547-550.
- Jinap, S., J. Thien and T. Yap. 1994. Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. *J. Sci. Food Agric.* 65:67-75.
- Lemus, M., L. Graziani de Fariñas, L. Ortiz de Bertorelli y A. Trujillo de Leal. 2002. Efecto del mezclado de cacaos tipos criollo y forastero de la localidad de Cumboto sobre algunas características físicas durante la fermentación. *Agronomía Trop.* 52(1):45-48.
- Monagas, O. 1995. Estudio socio económico y agronómico de los productores y las parcelas agrícolas de la población de Cumboto, Municipio Mario Briceño Iragorry, estado Aragua. Trabajo de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 64p.
- Meyer, B., B. Biehl, M. Bin Said and R. Samarakoddy. 1989. Post-harvest pod storage: A method for pulp preconditioning to impair strong nib acidification during cocoa fermentation in Malaysia. *J. Sci. Food Agric.* 48:285-304.
- Nogales, J., L. Graziani de Fariñas y L. Ortiz de Bertorelli. 2006. Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera. *Agronomía Trop.* 56(1):5-20.
- Ortiz de Bertorelli, L., G. Camacho y L. Graziani de Fariñas. 2004. Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao. *Agronomía Trop.* 54(1):31-43.
- Puziah, H., S. Jinap, M. Kharidah and A. Asbi. 1998. Effect of mass and turning time on free amino acid, peptide-N, sugar and pyrazine concentration during cocoa fermentation. *J. Sci. Food Agric.* 78:543-550.
- Puziah, H., S. Jinap, M. Kharidah and A. Asbi. 1999. Effect of drying time, bean depth and temperature on free amino acid, peptide-N, sugar and pyrazine concentrations of Malaysian cocoa beans. *J. Sci. Food Agric.* 79:987-994.
- Ramli Wan Daud W., M. Zainal Meor Talib and T. Mar Kyi. 2007. Drying with chemical reaction in cocoa beans. *Drying Techn.* (4, 5, 6):867-875.
- Rohan, T. 1964. El beneficio del cacao bruto destinado al mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 223 p.
- Schwan, R., A. Lopez, D. Silva e M. Vanetti. 1990. Influência da frequência e intervalos de revolvi-mentos sobre a fermentação do cacau e qualidade do chocolate. *Agrotrópica.* 2(1):22-31.
- Senanayake, M., E. Jansz and K. Buckle. 1997. Effect of different mixing intervals on the fermentation of cocoa beans. *J. Sci. Food Agric.* 74:42-48.
- Singleton, V. and J. Rossi. 1965. Determination of tannins in wines. *J. Enology and viticulture.* 6(3):114.
- Statistical Analysis Systems (SAS). 1998. SAS/STAT User's Guide. Release 6 132 edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1 028 p.

Tomlins, K., D. Baker, P. Daplyn and D. Adomako. 1993. Effect of fermentation and drying practices on the chemical and physical profiles of Ghana cocoa. *Food Chem.* 46:257-263.

Torres, O., L. Graziani de Fariñas, L. Ortiz de Bertorelli y A. Trujillo. 2004. Efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane de la mazorca del cacao tipo forastero de Cuyagua sobre características del grano en fermentación. *Agronomía Trop.* 54(4):481-495.

MUPLICACIÓN *in vitro* DE *Agave cocui* Trelease A TRAVÉS DE YEMAS AXILARES

In vitro MULTIPLICATION OF *Agave cocui* Trelease THROUGH AXILLARY BUDS

Efraín Salazar*, Pablo González* y Carlos Hernández**

* Investigadores. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP). Unidad de Biotecnología Agrícola. Zona Universitaria, vía El Limón, Edificio 09. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela. E-mail: esalazar@inia.gob.ve

** Investigador. INIA LARA. Carretera Barquisimeto, vía Duaca, km 7. Caserío El Cují, entrada a Las Veritas, Barquisimeto, estado Lara. Venezuela.

RESUMEN

El cocuy, *Agave cocui* Trelease es importante para las zonas semiáridas del centro-occidente de Venezuela. Involucra sistemas de producción tradicional de licor, jabón, conservas, entre otros. Soportando económicamente muchas familias en el estado Lara. La producción se basa en plantas creciendo naturalmente, con suplencia de materia prima limitada. Para aumentar la disponibilidad de plantas e incrementar la actividad económica de estas comunidades rurales, sistemas de propagación asexual han sido implementados, con una tasa de crecimiento lenta y la producción de plantas no cubre la demanda. Un sistema de propagación *in vitro* usando yemas axilares se ha establecido. Las yemas se colocaron en medio Murashige y Skoog (MS) suplementado con tiamina (1 mg l⁻¹), ácido nicotínico (1mg l⁻¹), piridoxina-HCl (1 mg l⁻¹), mio-inositol (100 mg l⁻¹), BA (1 mg l⁻¹), ANA (1 mg l⁻¹) sacarosa (30 g l⁻¹) y Agar (5g l⁻¹). Cuarenta explantes fueron cultivados en 10 ml del medio de cultivo, y sembrados en la oscuridad por 7 días. Las yemas se transfirieron a luz fluorescente (16,95 W.m⁻²), 28±2 °C y fotoperíodo de 16 h. Los brotes fueron evidentes 1 mes posterior al cultivo *in vitro*, y 6 brotes en promedio se observaron por yema cultivada. La tasa de brotación aumentó cuando la temperatura subió a 40 °C. Plantas completas se obtuvieron en medio sin hormonas. El trasplante a suelo (1:1:1 de suelo:arena: aserrín de coco) permitió la aclimatación de las plantas en 1 semana. Todas las plantas tuvieron morfología normal, por lo que el cultivo *in vitro* de yemas axilares se puede decir es un método eficiente para propagar *A. cocui* Trelease.

Palabras Clave: Cocuy; cultivo *in vitro*; meristemas; yemas axilares; micropropagación.

SUMMARY

The cocuy, *Agave cocui* Trelease is an important crop for the semiarid zones of the central-west part of Venezuela. It is involved in a traditional production systems for liquor, soap, preserves, among others. It is the economical support of many families in Lara State, Venezuela. Normally, the production was based in naturally occurring plants, so supply of plants is limited. In order to increase plant supply and improve the economical activity of these rural communities, asexual propagation systems have been implemented with slow growth rate and plant production not enough to satisfy the demand. A mass propagation system using axillary buds have been established. Buds were placed on Murashige and Skoog (MS) medium supplemented with thiamine (1mg l⁻¹), nicotinic acid (1mg l⁻¹), pyridoxine HCl (1mg l⁻¹), inositol (100mg l⁻¹), BA (1mg l⁻¹), ANA (1mg l⁻¹) sucrose (30 g l⁻¹) and Agar (5g l⁻¹). Forty explants were cultured in 10ml of culture medium, and were placed in the dark for 7 days. Buds were placed under fluorescent light (16.95 W.m⁻²), at 28±2 °C and a 16 hr photoperiod. Shoots were observed 1 months after culture, an average of 6 shoots were observed for each cultured axillary bud. Sprouting ratio was increased when temperatures was increased to 40 °C. Complete plants were obtained by transferring shoots to medium with no hormones. Transplant to soil (1:1:1 soil:sand:coconut sawdust) allowed plants to be acclimatized in 1 week. All plants have normal morphology. As a conclusion axillary bud *in vitro* culture can be referred as an efficient method to propagate *A. cocui* Trelease.

Key Words: Cocuy; *in vitro* culture; meristems; axillary buds; micropropagation.

INTRODUCCIÓN

El cocuy, *Agave cocui* Trelease, es un cultivo autóctono de Venezuela, y es importante para las zonas semiáridas del centro-occidente de Venezuela. Este cultivo, involucra un sistema de producción tradicional de varios productos, tales como licor, jabón, conservas, y muchos otros usos. Es el soporte económico de muchas familias de los estados Lara y Falcón en Venezuela, estando presente su uso desde épocas precolombinas (González-Batista, 2000).

La producción tradicionalmente se basa en plantas creciendo naturalmente, por lo que la suplencia de materia prima es limitada. A fin de aumentar la disponibilidad de plantas de cocuy e incrementar la actividad económica de estas comunidades rurales de bajos recursos, pertenecientes a los municipios Urdaneta, Iribarren y Torres del estado Lara, algunos sistemas de propagación asexual, tal como la siembra de bulbilos en canteros, han sido implementados; sin embargo, la tasa de crecimiento es lenta y la producción de plantas no es suficiente para satisfacer la demanda, ocasionando la utilización indiscriminada de las poblaciones naturales, con el consecuente riesgo de pérdida de la diversidad biológica.

La multiplicación *in vitro* a través de yemas o meristemas, es una estrategia que permite la multiplicación masiva de plantas, las cuales además de ser genéticamente uniformes e idénticas a la planta madre, tienen la ventaja de ser plantas libres de patógenos.

En el caso particular de *Agave*, Tapati (1992) observó la micropropagación de *Agave sisalana*. Vargas y García (1996) señalaron que para *A. sisalana* los segmentos de hojas y las yemas axilares eran los tejidos más adecuados para la inducción de respuestas morfogénicas *in vitro*.

Estos autores establecieron que para obtener brotes a partir de las yemas axilares deberían sembrarse los explantes en medio conteniendo las sales MS (Murashige y Skoog, 1962) suplementadas con BA (2 mg l⁻¹) y ANA (0,1 mg l⁻¹).

Más recientemente, Hazra *et al.* (2002) establecieron las condiciones para la regeneración *in vitro* de esta especie, a través de organogénesis indirecta partiendo de tejido foliar. Rodríguez-Garay *et al.* (1996) obtuvieron embiogénesis somática en *Agave victoria-reginae*. Por su parte, Enríquez del Valle *et al.* (2005)

encontraron que el uso de ácido indol acético y las sales del medio de Schenk e Hildebrandt (1972) estimularon el crecimiento de los brotes de *Agave angustifolia* y la producción de mayor número de raíces.

En el caso de *A. cocui* Trelease, Mogollón *et al.* (2003) estudiaron el efecto de dos reguladores de crecimiento en el enraizamiento *in vitro* de cocuy. Yepez *et al.* (2001) establecieron una metodología para la propagación de cocuy a partir de organogénesis indirecta utilizando segmentos de hojas. Todas estas metodologías implican la formación de un callo, lo cual es fuente de variabilidad genética (Skirvin *et al.*, 1994).

Este trabajo se basó en la obtención de un protocolo para la regeneración de *Agave cocui* Trelease, basado en el cultivo *in vitro* de meristemas provenientes de yemas axilares, como estrategia para la obtención masiva de plantas, que apoyen el desarrollo socio-productivo de las comunidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Unidad de Biotecnología Vegetal del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP) en Maracay. Se usaron yemas adventicias provenientes de bulbilos del escape de plantas de cocuy (*A. cocui* Trelease) procedentes de la zona de Guamuy en el municipio Urdaneta del estado Lara, Venezuela. Las yemas axilares se removieron y se desinfectaron inicialmente en etanol 70% durante 1 min, y posteriormente en una solución de hipoclorito de sodio 2,5% i.a., durante 5 min.

El exceso de desinfectante se removió, bajo condiciones de flujo laminar de aire esterilizado, con tres lavados sucesivos con agua destilada esterilizada. A las yemas axilares se le eliminaron los primordios foliares externos, hasta obtener un explante de aproximadamente 0,5mm, consistiendo del domo meristemático y de 1 a 3 primordios foliares. Los explantes se sembraron en tubos de ensayo de 25x150mm conteniendo 10 ml de medio MS (Murashige y Skoog, 1962) suplementado con tiamina (1 mg l⁻¹), ácido nicotínico (1 mg l⁻¹), piridoxina-HCl (1 mg l⁻¹), mio-inositol (100 mg l⁻¹), BA (0, 0,1 y 1 mg l⁻¹), ANA (0, 0,1 y 1 mg l⁻¹) sacarosa (30 g l⁻¹) y agar (5g l⁻¹).

Se sembraron bajo un diseño completamente aleatorizado en un factorial 3x3. Cada tratamiento constó de 10 explantes. Los tubos se colocaron en la oscuridad

por 7 d. Las yemas se colocaron posteriormente bajo luz fluorescente ($16,95 \text{ W.m}^{-2}$) a $28 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y un fotoperíodo de 16 h. Se midió el porcentaje de supervivencia, la tasa de crecimiento, número de brotes, número de plantas completas. Los tratamientos se realizaron por triplicado.

Las plantas obtenidas se transplantaron a una mezcla 1:1:1 de suelo: arena: aserrín de coco, en una cámara húmeda 100% HR. Las plantas regeneradas fueron regadas interdiario alternando una solución conteniendo $\frac{1}{4}$ de las sales MS y agua esterilizada. Cada 2 d se fueron abriendo agujeros en la cámara húmeda para la adaptación gradual de las plantas a las condiciones ambientales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cultivo de yemas axilares permitió la supervivencia de 100% de los explantes sembrados, lo cual indicó que la estrategia de desinfección empleada fue eficiente en prevenir la aparición de microorganismos contaminantes. Sin embargo, sólo 40% de los explantes se mantuvieron verdes 4 semanas posteriores a la siembra, correspondientes, principalmente, a los tratamientos con altas dosis de BA. Esta respuesta posiblemente se deba a las altas concentraciones de las citoquininas (BA) las cuales se han señalado que incrementan el contenido de clorofila a través de la diferenciación de cloroplastos, y en consecuencia la capacidad fotosintética (Davies, 1995). Debe tomarse en cuenta que el efecto beneficioso de las citocininas en el mantenimiento de la coloración verde de los tejidos parece estar relacionada con el efecto del genotipo, ya que, Bairu *et al.* (2009) observaron un efecto acelerador del ennegrecimiento de ápices caulinares de *Harpagophytum procumbens* al estar presente en el medio de cultivo cualquier citocinina. Los mismos autores encontraron que la presencia de cualquier auxina potenciaba el proceso de oscurecimiento de los explantes.

Los explantes que no mantuvieron el color verde, se necrosaron en las primeras dos semanas de cultivo *in vitro*. El lavado sucesivo de los tejidos que comenzaron a presentar oscurecimientos, con soluciones antioxidantes (Acido cítrico 500 mg l^{-1} , Acido Ascórbico 1 g l^{-1} , DTT 10 mM o DIECA 2 g l^{-1}), no inhibió el proceso de oscurecimiento en aquellos tejidos que lo exhibieron.

La respuesta *in vitro* favorable de las yemas apicales como fuente de explante en *Agave* ya fue estudiado por

Vargas y García en 1996. Estos autores también señalaron el efecto beneficioso del medio MS suplementado con BA y ANA para la formación de brotes.

Al analizar el efecto del medio de cultivo sobre el crecimiento de los explantes de cocuy se obtuvo que los datos de distribuyeron normalmente (Coeficiente de Shapiro-wilk 0,92). El análisis de la varianza reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, con un $R^2 = 0,93$ y el coeficiente de variación de 30%. Un mes posterior a la siembra *in vitro*, los meristemas sembrados en el tratamiento con 1 mg l^{-1} de ambos reguladores de crecimiento mostraron el mayor crecimiento (ver Cuadro), siendo notorios a simple vista, con un desarrollo inicial de coloración verdosa (Figura 1).

CUADRO. Crecimiento de explantes de yemas axilares de cocuy (*A. cocui* Trelease) a los 21 días de ser cultivados *in vitro* en medios con diferentes combinaciones de ANA y BA.

| Tratamiento | | Incremento en tamaño de los explantes (mm) |
|----------------------------|---------------------------|--|
| ANA (mg l^{-1}) | BA (mg l^{-1}) | |
| 0 | 0 | $0,00 \pm 0,00^{\text{d}}$ |
| 0 | 0,1 | $0,42 \pm 0,38^{\text{bcd}}$ |
| 0 | 1,0 | $0,75 \pm 0,25^{\text{bc}}$ |
| 0,1 | 0 | $0,00 \pm 0,00^{\text{d}}$ |
| 0,1 | 0,1 | $0,83 \pm 0,29^{\text{bc}}$ |
| 0,1 | 1,0 | $1,25 \pm 0,25^{\text{ab}}$ |
| 1,0 | 0 | $0,33 \pm 0,58^{\text{cd}}$ |
| 1,0 | 0,1 | $1,33 \pm 0,29^{\text{ab}}$ |
| 1,0 | 1,0 | $2,83 \pm 0,29^{\text{a}}$ |

(*) Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según la prueba de media de Tukey ($\alpha=0,05$).

El resto de los tratamientos mostraron un crecimiento mucho menor para el mismo período de tiempo, por lo que se decidió continuar con los medios MS suplementados con 1 mg l^{-1} de BA y 1 mg l^{-1} ANA. En el caso de *A. cocui* Trelease los resultados difieren de los obtenidos por Vargas y García para la formación de brotes en *A. sisalana*, requiriéndose en el caso de cocuy la mitad de

la concentración de BA y 10 veces más auxina. Esto podría deberse a diferencias en el contenido interno de reguladores de crecimiento entre ambas especies, lo cual, además del factor genético, puede ser explicado por la procedencia de los explantes. Se sabe que la condición fisiológica de los explantes es fundamental para la respuesta que exhibirán *in vitro*, y el contenido endógeno de hormonas está directamente influenciado tanto por el estado fisiológico del tejido, como por las condiciones de crecimiento de las plantas.



FIGURA 1. Brote verdoso de cocuy regenerado *in vitro* tres semanas posteriores a la siembra en condiciones *in vitro*.

Posteriormente, de cada yema sembrada se observó la aparición de brotes múltiples, 2-6 brotes por explante (Figura 2), en el mismo medio de cultivo, 8 semanas posteriores a la siembra. Este proceso se vio acelerado cuando la temperatura se elevó hasta 40 °C. Efectos similares de estimulación de la brotación al aumentar la temperatura han sido señalados en *Allium chinense* (Xu *et al.*, 2008). Gong *et al.* (2005) observaron un efecto estimulador de la brotación en *Arabidopsis* regulado por Glutathione-S-transferasas (GSTS, E.C. 2.5.1.18), las cuales han estado relacionadas con la tolerancia a diferentes estreses, entre los que se encuentra el estrés por temperaturas altas.



FIGURA 2. Brotes múltiples de cocuy a partir de una yema axilar cultivada *in vitro*.

Cada uno de los brotes formados, se separó individualmente en el mismo medio de cultivo, dando origen a brotes con 3 a 6 hojas con morfología aparentemente normal (Figura 3). En ninguno de los brotes se observó la formación de raíces al mantenerlos en el mismo medio de cultivo, esto posiblemente relacionado con altas concentraciones de citocininas, las cuales es posible que favorezcan la formación de los brotes, pero inhiban la inducción de las raíces. Pérez *et al.* (2006) demostraron que la rizogénesis en brotes de *Stylosanthes* spp., se obtuvo al eliminar las citocininas del medio de cultivo.

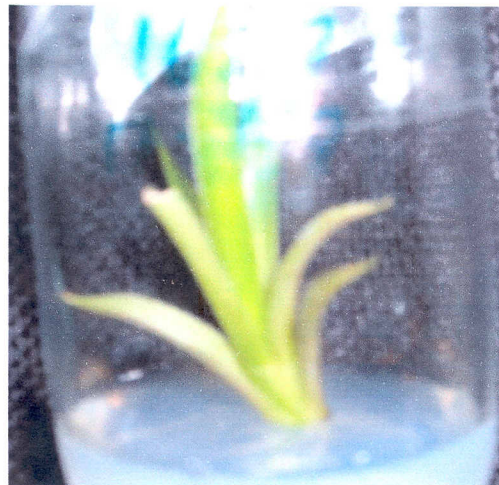


FIGURA 3. Brote de cocuy desarrollado *in vitro* provisto de 3 a 4 hojas de morfología normal.

Resultados similares fueron encontrados por Torres y Mogollón (2000) en el enraizamiento de brotes de *Cattleya* regenerados *in vitro*. Laplaze *et al.* (2007) observaron que las citocininas tuvieron una acción inhibitoria sobre las células formadoras de raíces laterales en el periciclo, inhibiendo la formación del gradiente de auxinas necesario para la inducción del primordio radical, estableciendo las primeras bases para el entendimiento del efecto inhibitorio de estas hormonas sobre la rizogénesis.

En algunos casos el trasplante a medio fresco permitió el desarrollo de brotes nuevos (Figura 4), con un predominio de 2 brotes por explante, y ambos brotes presentaron la morfología típica de una plántula de cocuy. La estimulación de la brotación debe estar relacionada a la presencia de citocininas en dosis lo suficientemente elevadas para cambiar la relación Auxina/citocinina a favor de las últimas, estimulando la organogénesis. En sus trabajos, Guo *et al.* (2005) trabajaron la inducción de brotes en cotiledones y segmentos nodales de *Brassica* como resultado de la aplicación exógena de citocininas. De igual modo, Li *et al.* (2009) mostraron el efecto beneficioso de la Cinetina sobre la inducción de brotes en *Sorghastrum nutans* L. Nash. Subotic' *et al.* (2009) estudiaron similarmente un incremento en la inducción de brotes de *Centaurium erythraea* con el uso de citocininas, adicionalmente estos autores señalaron que las citonininas del tipo urea (Thidiazurón, N-(2-chloro-4-pyridyl)-N0-fenillurea (CPPU)) indujeron mayor formación de brotes que las citocininas tipo Adenina (Benzil Adenina (BA), Cinetina (CIN) y 2-isopentenil adenina (2iP)).

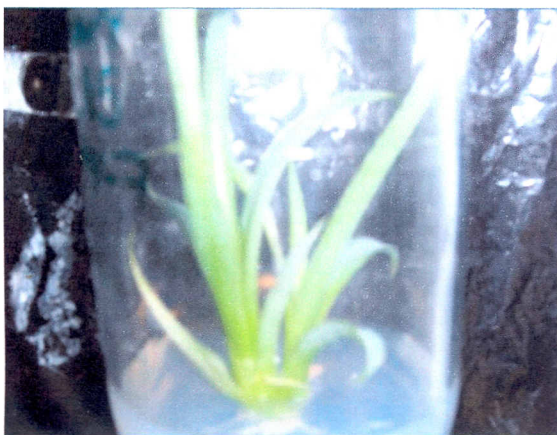


FIGURA 4. Brote adventicio de cocuy formado posterior al trasplante de brote inicial a medio fresco.

Los brotes al ser transplantados a medio sin reguladores de crecimiento, emitieron raíces, las cuales se elongaron hasta 10 cm de longitud en el mismo medio de cultivo (Figura 5). Los resultados parecen indicar que al eliminar los reguladores de crecimiento el balance auxina/citocinina, pareciese aumentar a favor de las auxinas, lo cual tendería a la inducción de raíces, tal y como lo señalaron Skoog y Miller (1957). Estos resultados concuerdan con lo establecido por George y Sherrington (1984) quienes señalaron que las citocininas endógenas podían inhibir el enraizamiento. Similarmente, Seeni *et al.* (1992) observaron la inhibición del enraizamiento en la orquídea *Renanthera imschootiana* por efecto de las citocininas, del mismo modo que Bairu *et al.* (2009) presentaron la inducción de raíces de *Harpagophytum procumbens* al eliminar las citocininas del medio de cultivo, demostrando el efecto inhibitorio de estos reguladores sobre el enraizamiento.

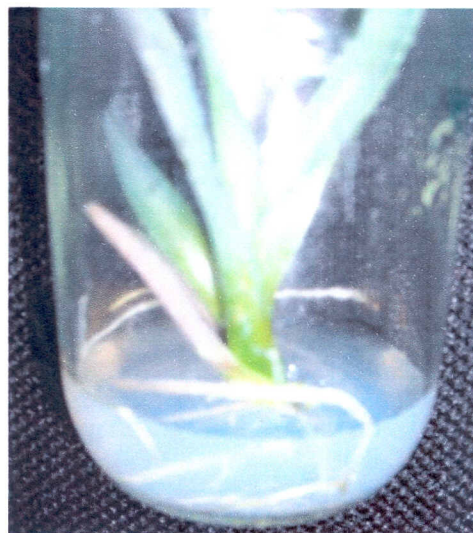


FIGURA 5. Brote de cocuy enraizado en medio sin reguladores de desarrollo.

En un intento por explicar el efecto inhibitorio de las citocininas, Nishimura *et al.* (2004) señalaron que el efecto inhibitorio de las citocininas en los procesos morfogénéticos estaría relacionado con la acción de los genes Histidina Kinasa (HK), quienes actuarían sobre las células meristemáticas o de inducción de formación de órganos, impidiendo el proceso de diferenciación celular. Similarmente, Guo y Hu (2008) observaron que al incrementar la concentración de citocininas en *Arabidopsis*, el proceso de formación de raíces se inhibía. Sin embargo, Aloni *et al.* (2006) establecieron

que una vez formado el primordio radical, posiblemente bajo el control de auxinas y etileno, las citocininas sintetizadas en el ápice radical controlaban la dominancia de la raíz principal inhibiendo el crecimiento de las raíces laterales.

Se obtuvieron 415 plantas en el primer ciclo de cultivo, 8 semanas posteriores a la siembra *in vitro*, de las cuales 300 se transplantaron a una mezcla 1:1:1 de arena:tierra:aserrín de coco y se adaptaron gradualmente a las condiciones de humedad y luminosidad. El porcentaje de plantas adaptadas en esta fase fue de 60%, y las pérdidas de los explantes principalmente se debió a daños en el sistema radical, el cual se desprendía con facilidad. Dos semanas posteriores al trasplante al suelo, las plantas se colocaron a crecer en condiciones de umbráculo, donde presentaron la morfología típica de las plantas de cocuy (Figura 6 a, b y c.). El porcentaje de supervivencia al trasladar las plantas ya endurecidas a condiciones de umbráculo fue del 100%, donde las plantas exhibieron una morfología normal.

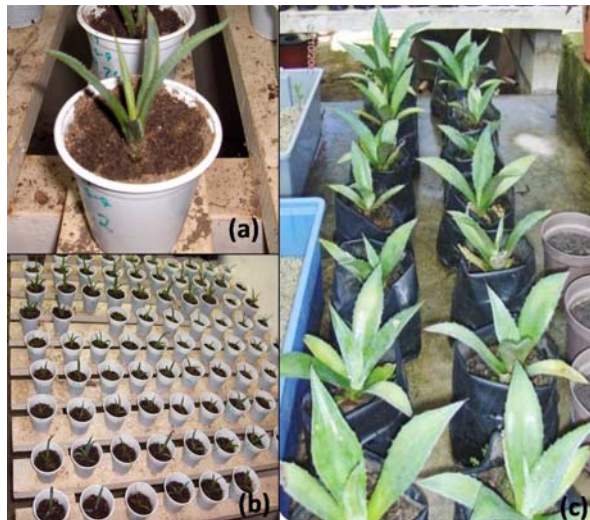


FIGURA 6. (a) Plantas de *A. cocui* Trelease regeneradas *in vitro* ya transplantadas a suelo, (b) materiales creciendo en condiciones de cámara de aclimatación o endurecimiento y (c) materiales creciendo en condiciones de umbráculo.

CONCLUSIONES

- La propagación de *A. cocui* Trelease a partir de yemas axilares es una estrategia efectiva para la propagación masiva de esta especie.

- Permite la regeneración de plantas completas de apariencia normal, en un lapso de 8 semanas.
- Las yemas apicales deben cultivarse *in vitro* en un medio MS suplementado con BA y ANA a 1 mg l⁻¹ respectivamente.
- Para la inducción de las raíces los brotes regenerados deberán transferirse a un medio desprovisto de reguladores de crecimiento, donde se producirán raíces de apariencia normal.
- La eficiencia del proceso de trasplante a suelo dependerá en gran medida de la calidad del sistema radical.

BIBLIOGRAFÍA

- Aloni, R., E. Aloni, M. Langhans and C. Ullrich. 2006. Role of Cytokinin and Auxin in Shaping Root Architecture: Regulating Vascular Differentiation, Lateral Root Initiation, Root Apical Dominance and Root Gravitropism. *Annals of Botany*, 97(5):883-893.
- Bairu, M.W., N. Jain, W. A Stirk, K. Doleal and J. Van Staden. 2009. Solving the problem of shoot-tip necrosis in *Harpagophytum procumbens* by changing the cytokinin types, calcium and boron concentrations in the medium. *South African Journal of Botany*, 75(1):122-127.
- Davies, P. J. 1995. *The Plant Hormones: Their nature, occurrence and factors in plant physiology, biochemistry and molecular biology*- 2nd Edition, Khwer Academic Publishers- 545 p.
- Enríquez Del Valle, J. R., G. Carrillo y J. L. Rodríguez de la O. 2005. Sales Inorgánicas y ácido indolbutírico en el enraizado *in vitro* de brotes de *Agave angustifolia*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(02):175-178.
- George, E. F. y P. D. Sherrington. 1984. *Plant propagation by tissue culture*. Exegetics Ltd. Eversley, England. 1 333 p.
- Gong, H., Y. Jiao, W.-W. Hu and E.-Ch. Pua, 2005. Expression of glutathione-S-transferase and its role in plant growth and development *in vivo* and shoot morphogenesis *in vitro*. *Plant Molecular Biology* 57(1):53-66.

- González-Batista, C. 2000. Nota histórica sobre el *Agave cocui* Trelease. Mimeografiado. Centro de Investigaciones Históricas. U.N.E.F.M. 65 p.
- Guo, D.-P., Z.-J. Zhu, X.-X. Hu and S. J. Zheng., 2005. Effect of cytokinins on shoot regeneration from cotyledon and leaf segment of stem mustard (*Brassica juncea* var. Tsatsai). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 83(1):123-127.
- Guo, J. y Hu, X. 2008. Noninvasive Expressions of *ipt* in Whole Plants or Roots through pOp/LhG4 Indicate a Role of Plant Aerial Parts and Light in Cytokinin Synthesis and Root Inhibition. *Journal of Plant Growth Regulation* 27(3):251-262.
- Hazra, S. K., S. Das y A. K. Das. 2002. Sisal plant regeneration via organogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 70(3):235-240.
- Laplaze L, E. Benkova, I. Casimiro, L. Maes, S. Vanneste, R. Swarup, D. Weijers, V. Calvo, B. Parizot, M. B. Herrera-Rodriguez, R. Offringa, N. Graham, P. Doumas, J. Friml, D. Bogusz, T. Beeckman and M. Bennett. 2007. Cytokinins act directly on lateral root founder cells to inhibit root initiation. *Plant Cell*. 19(12):889-900.
- Li, Y., J. Gao y S. -Z. Fei, S.-Z. 2009. High frequency *in vitro* embryogenic callus induction and plant regeneration from indianguass mature caryopsis. *Scientia Horticulturae* 119:306-309.
- Mogollón, N., M. González y M. Liendo. 2003. Efecto de dos tipos de reguladores en el enraizamiento del cocuy (*Agave cocui* Trelease) cultivado *in vitro*. **In:** LIII Convención Anual de AsoVAC. Maracaibo, Edo. Zulia. *Acta Científica Venezolana*. 45 p.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and byoassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant*. 15:437-497.
- Nishimura, Ch., Y. Ohashi, S. Sato, T. Kato, S. Tabata y Ch. Ueguchi. 2004. Histidine Kinase Homologs That Act as Cytokinin Receptors Possess Overlapping Functions in the Regulation of Shoot and Root Growth in Arabidopsis. *The Plant Cell* 16:1 365-1 377.
- Pérez, A., I. Trujillo, M. del C. Vidal y N. De Lima. 2006. Propagación *in vitro* de *Stylosanthes capitata* Vogel: una especie de gran potencial forrajero. *Acta Bot. Venez.*, 29(2):335-346.
- Rodríguez-Garay, A. Gutiérrez-Mora and B. Acosta-Dueñas. 1996. Somatic embriogénesis of *Agave victoria-reginae* Moore. *Plant Cell, tissue and organ culture*. 46:85-87.
- Schenk, R. U. and A. C. Hildebrandt. 1972, Methods and techniques for induction and growth of monocotyledonous and dicotyledonous plant cell culture. *Can. Jour. Bot.* 50:199-204.
- Seeni, S. y P. G. Latha. 1992. Foliar regeneration of the endangered Red Vanda, *Renanthera imschootiana* Rolfe (Orchidaceae). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* vol 29, num 3, p. 167-1 772.
- Skirvin, R. M., K. D. McPheeters and M. Norton. 1994. Sources and frequency of somaclonal variation. *HortScience* 29 (11):1 231-1 246.
- Skoog, F. and C. O. Miller. 1957. Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured *in vitro*. *Symp Soc Exp Biol*. 54(11):118-130.
- Subotic´, A., S. Jevremovic´ and D. Grubis´ic. 2009. Influence of cytokinins on *in vitro* morphogenesis in root cultures of *Centaurium erythraea*-Valuable medicinal plant. *Sci. Hortic.* 34p
- Tapati, D. 1992. Micropropagation of *Agave sisalana*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 31(3):253-255
- Torres, J. y N. Mogollón. 2000. Micropropagación de *Cattleya mossiae* parker ex hook mediante brotación axilar inducida por tidiazurón. *Bioagro*, 12(1):10-14.
- Vargas, T. y E. García. 1996. Propagación clonal masiva de *Agave sisalana* (SISAL). *Acta Biol. Venez* 16(3):39-44.
- Xu, Z., Y. -Ch. Um, Ch- H. Kim, G. Lu, D. P. Guo, H. L. Liu, A. A. Bah and A. Mao. 2008. Effect of plant growth regulators, temperature and sucrose on shoot proliferation from the stem disc of Chinese jiaotou (*Allium chinense*) and *in vitro* bulblet formation. *Acta Physiologiae Plantarum* 30(4):521-528.
- Yépez, L., E. García y E. Vargas. 2001. Notas preliminares sobre la propagación clonal *in vitro* de *Agave cocui* Trelease. **In:** <http://investigacion.unefm.edu.ve/croizatia>.

POTENCIAL AZUCARERO Y PANELERO DE CINCO CULTIVARES DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL VALLE DE SANTA CRUZ DE BUCARAL, ESTADO FALCÓN, VENEZUELA

SUGAR AND PANELA POTENTIAL OF FIVE SUGARCANE CULTIVARS IN THE SANTA CRUZ OF BUCARAL VALLEY, FALCON STATE, VENEZUELA

Luis Bastidas*, Ramón Rea**, Orlando De Sousa**, Rosaura Briceño** y Edith Hernández***

* Profesor. Universidad Experimental " Francisco de Miranda" (UNEFM). Coro, estado Falcón. Venezuela.
E-mail: luisreybastidas@hotmail.com

**Investigadores. INIA-Yaracuy. Carretera Vía Aeropuerto, sector Las Flores. Apdo. 110. San Felipe, estado Yaracuy. Venezuela.
E-mail: rrea@inia.gob.ve, odesousa@inia.gob.ve, rbriceno@inia.gob.ve

*** Investigadora. INIA-Táchira. Bramón, vía Las Delicias, Rubio, estado Táchira. Venezuela E-mail: ehernandez@inia.gob.ve

RESUMEN

Las condiciones agroecológicas del Valle de Santa Cruz de Bucaral, municipio Unión del estado Falcón representan un área potencial para el cultivo de caña, *Saccharum* spp., híbrido, para la producción de azúcar y panela. Con la finalidad de determinar ese potencial, se llevó a cabo durante los años 2002 al 2005, un estudio para evaluar el comportamiento agronómico e industrial de 5 cultivares de caña de azúcar: B0-549, CR74-250, V71-39, B80-408 y PR61-632. Se obtuvieron y analizaron datos correspondientes a las variables Pol % caña (PPC), contenido de panela en caña (PA), toneladas de caña por hectárea (TCH), toneladas de azúcar por hectárea (TPH) y toneladas de panela (TPAH). Las evaluaciones se realizaron durante 2 ciclos, plantilla y soca, y 2 edades de corte de la caña, 12 y 16 meses de edad. Los resultados indicaron la existencia de una amplia variación entre el comportamiento de los cultivares en los diferentes ciclos y edad de corte. Los mayores rendimientos en TCH, TPH y TPAH los obtuvieron los cultivares B 80-549, PR 61-632 y CR 74-250 a los 16 meses en plantilla y a los 12 meses en primera soca. El cultivar V71-39 demostró ser un material precoz y con un alto valor de Pol % caña. El Valle de Santa Cruz de Bucaral reúne las condiciones suficientes para que los cultivares de caña de azúcar demuestren su potencial genético y produzcan azúcar y panela de manera rentable para los productores. El cultivo de la caña de azúcar es una alternativa viable para el área en estudio.

Palabras Clave: *Saccharum* sp híbrido; azúcar; caña panelera.

SUMMARY

The agro-ecological conditions of the Santa Cruz de Bucaral Valley, Unión County, Falcón State, represent a potential area for growing sugarcane, *Saccharum* spp. Hybrid, for the production of sugar and panela. In order to evaluate this potential, a study was carried out to assess the agronomic and industrial performance of five sugarcane cultivars: B 80-549, CR 74-250, V 71-39, B 80-408 and PR 61-632. The following parameters were evaluated: Pol % cane (PPC), content of panela in cane (PA), tons of cane per hectare (TCH), tons of sugar per hectare (TPH) and tons of panela (TPAH). The evaluations were carried out for two cycles: plant cane and first ratoon, at two harvest time (12 and 16 months). The results shown that there was a wide variation among the performance of cultivars in different cycles and harvest times. The cultivars B 80-549, PR 61-632 and CR 74-250 showed the higher yields in TCH, TPH, and TPAH at 16 months in plant cane and 12 months on first ratoon. The cultivar V 71-39 showed to be an early mature material with a high Pol % cane value. The Santa Cruz de Bucaral Valley meets the necessary conditions for growing sugarcane and to demonstrate the genetic potential of sugarcane cultivars to produce sugar and panela in a profitable way. The sugarcane crop is a viable alternative for the area under study.

Key Words: *Saccharum* sp hybrid; sugar ; panela cane.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, la caña de azúcar, *Saccharum* spp. híbrido, se cultiva en diferentes ambientes, desde zonas con alta pluviosidad como el sur del Lago de Maracaibo y los llanos occidentales, hasta las zonas de baja precipitación como el centro y oeste del estado Lara y en suelos arcillosos como los del estado Portuguesa, hasta suelos arenosos como los del estado Monagas. Esto refleja la gran importancia que tiene este cultivo para el país (Rincones, 1985); sin embargo, se ha mantenido un orden deficitario de aproximadamente 30% en la producción nacional de azúcar, señalándose entre otras causas de este déficit, al factor varietal (Uzcátegui, 1985), a los bajos niveles de productividad y a la poco favorable relación costo/beneficio (Zérega *et al.*, 2001).

Varios trabajos se han realizado en el área de mejoramiento genético y caracterización agronómica de cultivares de caña de azúcar (De Sousa y Ortiz, 1999), entre los cuales se puede citar los estudios de Rodríguez y González (1984) sobre un grupo de 8 variedades donde destacó el cultivar PR 61-632, al presentar aceptable apariencia general, resistencia a las principales enfermedades y buena producción de caña y azúcar.

Durante 3 ciclos de cosecha y con una edad promedio de 12 meses, Uzcátegui y Bastardo (1988) evaluaron en los valles de Aragua, un total de 17 variedades venezolanas y 15 foráneas, recomendando a la variedad V71-39, por presentar mejor potencial de producción en las diferentes zonas y épocas de siembra, con características agronómicas deseables. Amaya (2000) evaluó durante 6 meses un grupo de 10 variedades, donde el cultivar V71-39 presentó el mayor porcentaje de germinación (64,44%) y altura de la planta (2,30 m) bajo las condiciones del Valle de Santa Cruz de Bucaral, municipio Unión del estado Falcón.

Rea *et al.* (1994), en caracterización de 14 variedades promisorias de caña de azúcar seleccionadas por el FONAIAP, encontraron que la variedad V 71-39, presentó rendimientos en caña alrededor de 140 TCH y 14 de Pol % caña, mostrando resistencia a las principales enfermedades que afectan al cultivo. Silva (1995) evaluó en el área de influencia del Central Pastora, 12 variedades comerciales de caña de azúcar donde se destacó la variedad V 71-39.

En el área de influencia de los centrales Azucarera Río Turbio" y "Pío Tamayo", ambos en el estado Lara, se evaluó un grupo de variedades de caña de azúcar intro-

ducidas al país por FUDAZUCAR, donde el cultivar CR 74-250 resultó sobresaliente en tonelaje de caña por hectárea (TCH), con rendimientos superiores a los 160 TCH (Colmenarez, 1996).

Mientras que Rea y De Sousa (2002), durante 2 años y en 6 localidades de los estados Lara y Yaracuy, evaluaron la magnitud de la interacción genotipo x ambiente y la estabilidad fenotípica de 17 variedades de caña de azúcar encontrando que los genotipos estudiados presentaron diferencias en su comportamiento, en cuanto a rendimiento de caña y contenido de azúcar aparente (Pol % caña) para las diferentes localidades seleccionadas, señalando que los genotipos B 80-549, B 80-408 y B 81-503, fueron significativamente superiores en producción de caña al resto de los materiales evaluados, mientras que los cultivares B 81-509, V 84-25 y B 80-408 se destacaron en producción de azúcar.

Bajo las condiciones agroecológicas del Sistema de Riego Río Guárico, se estudió el comportamiento agronómico y productivo de 15 variedades de caña de azúcar donde los cultivares PR 61-632, V 78-1, C 323-68, CP 74-2005 y V 71-39, sobresalieron en rendimiento de caña en plantilla y B 80-408, V 71-39 y PR 61-632 se destacaron en soca (Ortiz *et al.*, 2002; Lugo *et al.*, 2002).

En relación al estudio de variedades de caña de azúcar con fines paneleros, López (2001); Valle (2001) y Hernández *et al.* (2002) describieron las características deseables en los cultivares de caña de azúcar a ser utilizados con este propósito, señalando que los mismos deben presentar alto tonelaje de caña por hectárea, tolerancia a las principales plagas que afectan al cultivo, amplio rango de adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas, alto contenido de sacarosa, bajo contenido de fibra, plantas precoces con porte erecto, baja o nula floración, tolerantes a la sequía y de fácil corte y deshoje.

Recomendando (Hernández *et al.*, 2002) para Venezuela una lista de variedades entre las cuales sobresale el cultivar PR61-632 con altos rendimientos en caña y azúcar. También CORPOICA (1998) en Colombia, evaluó diferentes variedades de caña de azúcar entre las cuales se encuentra el cultivar PR 61-632, con rendimientos aceptables de toneladas de caña y toneladas de panela, para cañas cosechadas a los 18 meses. En relación al proceso tecnológico utilizado en el aprovechamiento de las variedades de caña de azúcar para la obtención de panela, Amaya *et al.* (2003) y Hernández *et al.* (2003) hacen referencia tanto a la técnica utiliza-

da en la agroindustria rural nacional como a lo relativo a una metodología desarrollada por el INIA, que permite evaluar las variedades de caña con fines paneleros sin tener que recurrir al proceso engorroso utilizado en los trapiches convencionales. Esta metodología denominada "Método Simplificado de Evaluación Agroindustrial de Variedades de Caña de Panelera" (MESIEVAI), simula el proceso general de elaboración de la panela, pero a una escala reducida o manejable, donde las fases de clarificación, evaporación, concentración y punteo se efectúan en una misma paila, requiriendo muestras de tan sólo 15 kilogramos de tallos para realizar el análisis.

En la zona alta del estado Falcón, Venezuela, se ha cultivado tradicionalmente la caña de azúcar con fines paneleros generando una importante actividad artesanal y fuentes de empleos para los pobladores de la zona (Rincones, 1985; Borges, 2000; Hernández *et al.*, 2002).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de 5 cultivares de caña de azúcar para la producción de azúcar y panela en el valle de Santa Cruz Bucaral, estado Falcón, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el sector Villa de Oro del Valle de Santa Cruz de Bucaral, perteneciente al municipio autónomo Unión, ubicado al sur-este del estado Falcón, República Bolivariana de Venezuela. La localidad en referencia pertenece a la zona de vida Bosque Húmedo Premontano, donde el relieve por lo general es montañoso y escarpado, dentro del cual se encuentran áreas de topografía más suave de colinas redondeadas con pendientes entre 5 y 20 %, lomas alargadas con pendiente ondulada y valles casi planos (COPLANARH, 1975; FUSAGRI, 1997). La zona presenta un promedio de precipitación anual de 838,2 mm, con 153 mm de evaporación mensual, temperatura media de 21,1 °C, y humedad relativa de 81%.

Se evaluaron cinco cultivares de caña de azúcar: B 80-408, B 80-459, CR 74-250, PR 61-632, V 71-39 utilizando un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, con 3 repeticiones, estando las parcelas principales representadas por los cultivares de caña de azúcar y parcelas secundarias por dos edades de cortes (12 y 16 meses), conformando un total de 10 tratamientos. Las parcelas experimentales estaban conformadas por 3 hilos de 10 m de largo separados a

1,5 m. El experimento fue conducido durante los ciclos plantilla y primera soca de 12 y 16 meses, entre los años 2002 al 2005, siendo el modelo lineal aditivo aplicado el siguiente:

$$Y = \mu + \rho_i + \alpha_j + \delta_{ij} + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Chacín, 2000}),$$

donde:

μ = Efecto de la media general.

ρ_i = Efecto de la repetición *i*-ésima.

α_j = Efecto del *j*-ésimo nivel del factor A (Variedad).

δ_{ij} = Componente aleatorio del error asociado con el *j*-ésimo tratamiento de la parcela principal en la repetición *i*-ésima.

β_k = Efecto del *k*-ésimo nivel del factor B (Edad de Corte).

$(\alpha\beta)_{jk}$ = Efecto de la interacción del nivel *j*-ésimo del factor A con el nivel *k*-ésimo del factor B.

ε_{ijk} = Componente aleatorio del error asociado con el tratamiento *k*-ésimo en la repetición *i*-ésima en la ubicación *j*-ésima.

Se realizó el análisis en conjunto o combinado para los dos ciclos de cosecha, siguiendo la metodología de mediciones repetidas en el tiempo (INFOSTAT, 2000) aplicado al análisis de cultivos perennes y semiperennes, descrita por Chacín (1998). Para la separación de medias se utilizó la metodología de Tukey (Chacín, 1998).

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

Pol % Caña

El análisis de esta variable, se realizó en el laboratorio de plantas del INIA ubicado en Yaritagua estado Yaracuy, utilizando una muestra aleatoria de 10 tallos por parcela experimental y por repetición, la cual fue pesada y procesada mediante el Método del Jugo Presado descrito por Chen (1997), mediante un sacarímetro modelo SacchAAr 880D. Los resultados fueron expresados como Pol % Caña (PPC), que representa la sacarina aparente contenida en 100 partes de caña.

Contenido de Panela en Caña (PA)

El potencial panelero de los cultivares, expresado como contenido (kg) de panela en caña (PA), fue determinado en muestras de 15 kg de tallos, siguiendo la técnica del MESIEVAI, en el laboratorio de caña panelera del INIA, ubicado en la localidad de Bramón estado Táchira, descrito por Hernández *et al.* (2003).

Rendimiento en Caña (TCH)

Una vez realizados los muestreos para determinación del PPC y PA a los 12 y 16 meses, tanto en plantilla como en la primera soca, todas las cañas presentes en las parcelas experimentales fueron cortadas, separando los tallos del resto del material vegetal. Luego con el peso de la porción de tallos se determinó el rendimiento en caña, el cual fue expresado en toneladas de caña por hectárea (TCH).

Rendimiento en Azúcar (TPH)

Con los valores obtenidos del potencial azucarero (PPC) y el rendimiento en caña (TCH), se determinó el rendimiento azucarero de los cultivares, expresado en toneladas de Pol por hectárea (TPH).

Rendimiento en Panela (TPAH)

De manera similar a la variable anterior, se relacionó el valor del potencial panelero de los cultivares (PA) con el TCH, expresando el resultado en toneladas de panela por hectárea (TPAH).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN**Pol % Caña (PPC)**

En el Cuadro 1, se indica el resultado de la prueba de medias de Tukey, donde se aprecia para la plantilla, que el PPC osciló entre 12,78 y 15,24% a los 12 meses y entre 14,75 y 16,46% a los 16 meses, destacándose V 71-39 (15,24%) a los 12 meses y los cultivares B80-408 (16,46%) y B80-549 (15,48%) a los 16 meses.

Para soca a los 12 meses la variedad V71-39 con un valor de PPC de 15,58%, resultó superior al resto de los cultivares, mientras que a los 16 meses, los mayores valores (14,06 y 14,90%) correspondieron nuevamente a los cultivares B 80-549 y B 80-408, los cuales superaron estadísticamente a PR61-632.

La Figura 1, muestra las interacciones ciclo x variedad (no significativa) y ciclo x edad de corte (altamente significativa), donde se puede apreciar un incremento del PPC a los 12 meses y una reducción de los valores del PPC a los 16 meses entre el ciclo de plantilla y la primera soca.

CUADRO 1. Valores promedios del Pol % caña (PPC) por edad de corte y ciclo de cosecha de cinco cultivares de caña de azúcar en Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón.

| Variedad | PPC (%) | | | | | |
|----------|-----------------------|----------|----------|--------------|----------|----------|
| | Edad de Corte (meses) | | | | | |
| | Ciclo Plantilla | | | Ciclo Soca 1 | | |
| | 12 | 16 | Promedio | 12 | 16 | Promedio |
| B80-549 | 12,78 b | 15,48 ab | 14,13 | 14,53 c | 14,06 a | 14,30 a |
| CR74-250 | 14,29 ab | 15,12 b | 14,71 | 15,01 b | 13,04 ab | 14,03 ab |
| V71-39 | 15,24 a | 14,88 b | 15,06 | 15,58 a | 13,12 ab | 14,35 a |
| B80-408 | 13,72 ab | 16,46 a | 15,09 | 15,09 b | 14,90 a | 15,00 a |
| PR61-632 | 13,81 ab | 14,75 b | 14,28 | 14,62 bc | 11,23 b | 12,93 b |
| Promedio | 13,97 b | 15,34 a | 14,65 a* | 14,97 a | 13,27 b | 14,12 b* |

Promedios sin una letra en común difieren significativamente al nivel de $P < 0,05$, según Tukey.

Las separaciones de medias corren horizontalmente en los promedios de edad de corte.

* Se refiere al valor promedio del ciclo de cosecha.

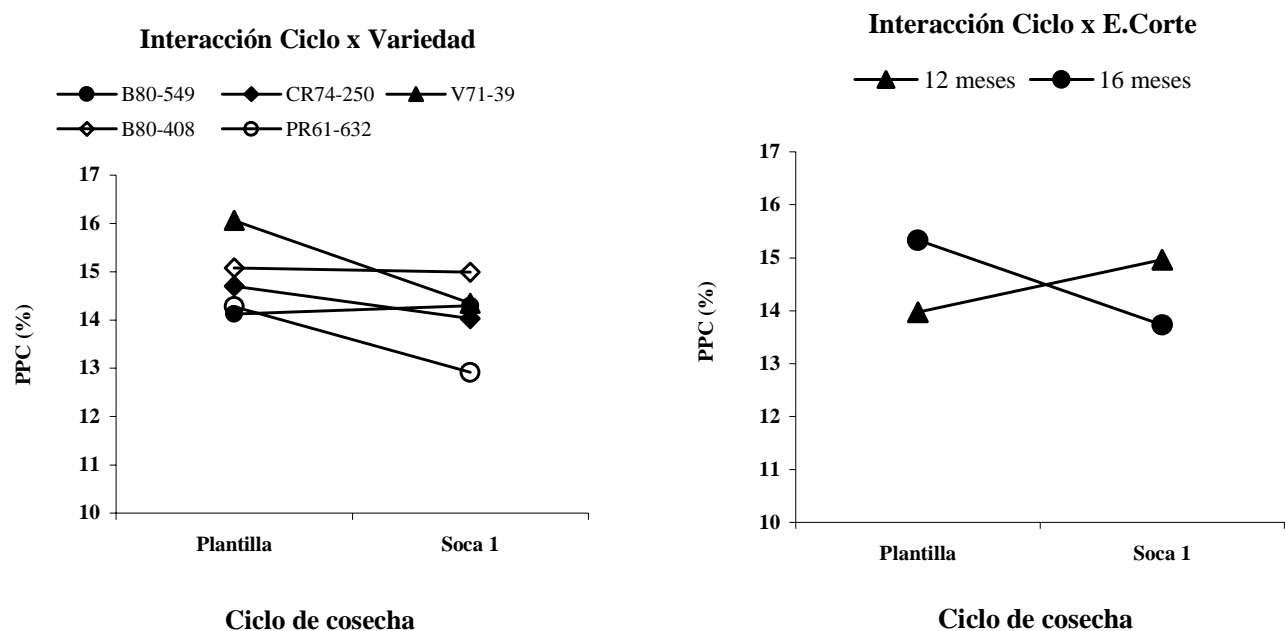


FIGURA 1. Interacciones ciclo x variedad y ciclo x edad de corte para el Pol % caña (PPC) en Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón.

Se interpreta que entre los 2 ciclos de cosecha, existen diferencias significativas entre las variedades y entre las medias de ciclo (mayor PPC en plantilla), estando la respuesta de las variedades afectada por la edad de corte y a su vez las medias de edad de corte están afectadas por el efecto de ciclo. Estos resultados plantean la conveniencia para la zona de estudio, de realizar la cosecha de las cañas a los 16 meses en plantilla y alrededor de los 12 meses en caña soca, en función de aprovechar el mayor potencial azucarero de los cultivares.

Contenido de Panela en Caña (PA)

El Cuadro 2, muestra los valores promedios y el resultado de la prueba de medias para esta variable, donde se aprecia que en plantilla el PA varió entre 1,28 y 1,46 kg a los 12 meses y entre 1,10 y 1,41 kg a los 16 meses, sin mostrar diferencias significativas entre los cultivares, mientras que en la soca los valores de PA oscilaron entre 1,15 y 1,35 a los 12 meses y entre 0,78 y 1,02 a los 16 meses, donde el cultivar B 80-549 con un valor del PA de 1,02 kg superó estadísticamente a V71-39. El PA de los cultivares B 80-549, CR 74-250 y B 80-408, no fue afectado por la edad de corte, sin embargo, una disminución de los valores de esta variable se observó en las variedades V71-39 y PR61-632 entre los 12 y 16 meses, mientras que en la primera soca, todos los cultivares experimentaron la disminución del PA a los 16 meses.

En la Figura 2, se evidencia el efecto de ciclo de cosecha sobre la edad de corte, causando disminución de los valores del PA en caña soca, principalmente a la edad de corte de 16 meses. Es decir, que independientemente de la variedad utilizada, si la cosecha se realiza a los 16 meses y la caña está en soca, el productor obtendrá un menor contenido de panela que si el aprovechamiento de las mismas se realiza alrededor de los 12 meses.

Rendimiento en Caña (TCH)

En el Cuadro 3, se aprecia que a los 12 meses en plantilla la producción de caña osciló entre 109,46 y 150,46 TCH, resultando B 80-549 y PR61-632 con los mayores rendimientos (150,46 y 146,08 TCH), mientras que a los 16 meses de este primer ciclo de cosecha, el rendimiento varió entre 141,06 y 223,72 TCH, destacándose nuevamente los cultivares B80-549 y PR61-632 con los rendimientos en caña más altos de todo el ensayo (223,72 y 215,65 TCH, respectivamente), superando estadísticamente a V71-39 y B80-408. Entretanto para el ciclo de soca, los rendimientos oscilaron entre 92,87 y 123,82 TCH a los 12 meses y entre 73,84 y 106,61 TCH a los 16 meses, donde CR74-250, PR61-632 y B80-549 con tonelajes de 123,82, 119,98 y 118,84 TCH, respectivamente, fueron superiores a V71-39 a los 12 meses, y el cultivar CR74-250 con un rendimiento de 106,61 TCH, superó estadísticamente a B 80-549 a los 16 meses.

CUADRO 2. Valores promedios del contenido de panela en 15 kg de caña (PA) según el método MESIEVAI por edad de corte y ciclo de cosecha, de 5 cultivares de caña de azúcar en Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón.

| Variedad | PA (kg) | | | | | |
|----------|-----------------------|------|----------|--------------|---------|----------|
| | Edad de Corte (meses) | | | | | |
| | Ciclo Plantilla | | | Ciclo Soca 1 | | |
| | 12 | 16 | Promedio | 12 | 16 | Promedio |
| B80-549 | 1,28 | 1,29 | 1,29 | 1,15 | 1,02 a | 1,09 |
| CR74-250 | 1,34 | 1,34 | 1,34 | 1,34 | 0,95 ab | 1,15 |
| V71-39 | 1,46 | 1,10 | 1,28 | 1,24 | 0,78 b | 1,01 |
| B80-408 | 1,41 | 1,41 | 1,41 | 1,33 | 0,97 ab | 1,15 |
| PR61-632 | 1,43 | 1,15 | 1,29 | 1,35 | 0,82 ab | 1,09 |
| Promedio | 1,38 | 1,26 | 1,32 a* | 1,28 a | 0,91 b | 1,10 b* |

Promedios sin una letra en común difieren significativamente al nivel de $P < 0,05$, según Tukey. Las separaciones de medias corren horizontalmente en los promedios de edad de corte.

* Se refiere al valor promedio del ciclo de cosecha.

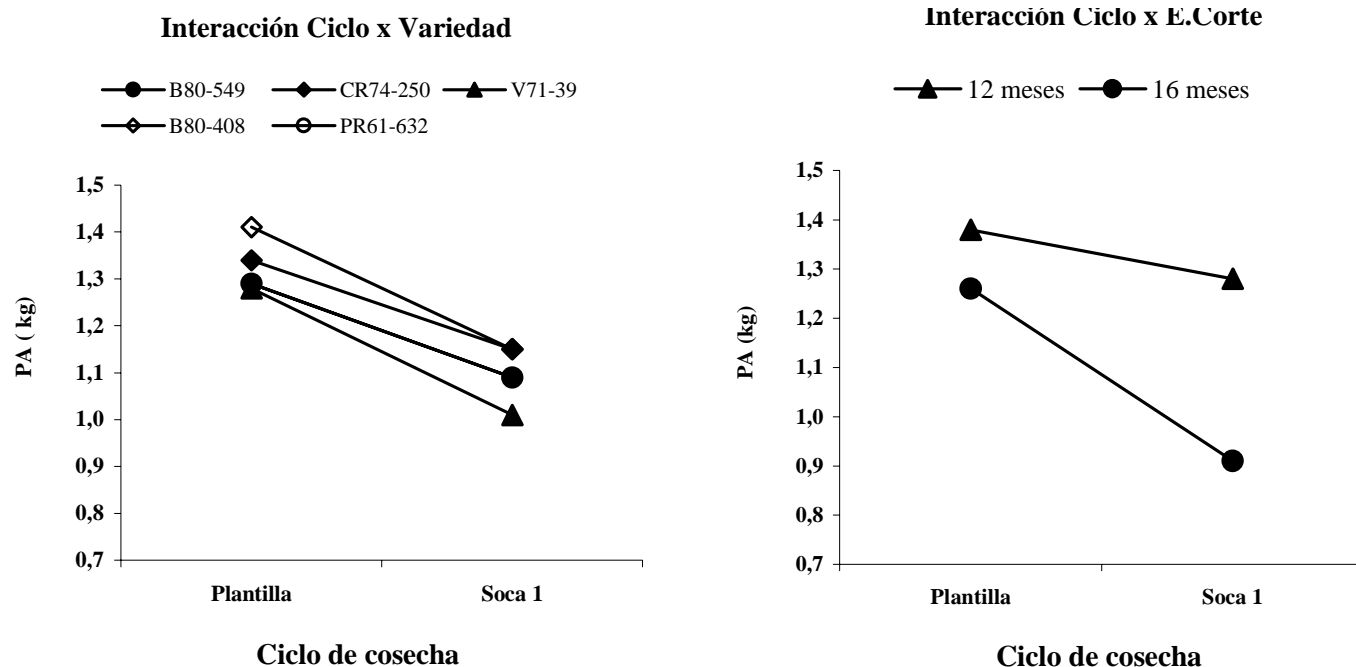


FIGURA 2. Interacciones ciclo x variedad y ciclo x edad de corte para el contenido de panela en caña (PA) en Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón.

CUADRO 3. Valores promedios del tonelaje de caña por hectárea (TCH) por edad de corte y ciclo de cosecha de 5 cultivares de caña de azúcar en Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón.

| Variedad | TCH | | | | | |
|----------|-----------------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| | Edad de Corte (meses) | | | | | |
| | Ciclo Plantilla | | | Ciclo Soca 1 | | |
| | 12 | 16 | Promedio | 12 | 16 | Promedio |
| B80-549 | 150,46 a | 223,72 a | 187,09 a | 118,84ab | 73,84 b | 96,34 ab |
| CR74-250 | 138,14 ab | 184,59 ab | 161,37 ab | 123,82 a | 106,61a | 115,22 a |
| V71-39 | 109,46 b | 168,89 bc | 139,18 b | 92,87 c | 89,03 ab | 90,95 b |
| B80-408 | 135,21 ab | 141,06 c | 138,14 b | 96,56 bc | 80,38 ab | 88,47 b |
| PR61-632 | 146,08 a | 215,65 a | 180,87 a | 119,98 ab | 100,72 ab | 110,35 ab |
| Promedio | 135,87 b | 186,78 a | 161,33 a* | 110,41 a | 90,12 b | 100,27 b* |

Promedios sin una letra en común difieren significativamente al nivel de $P < 0,05$, según Tukey.

Las separaciones de medias corren horizontalmente en los promedios de edad de corte.

* Se refiere al valor promedio del ciclo de cosecha.

El análisis combinando los dos ciclos de cosecha, muestra la significación de los efectos de variedad, edad de corte, ciclo de cosecha y de las interacciones variedad x edad de corte, ciclo x variedad, ciclo x edad de corte y ciclo x variedad x edad de corte. Para TCH, en los dos ciclos existen diferencias significativas entre los cultivares, entre las medias por edad de corte y las medias de ciclo (mayor TCH en la plantilla), estando la respuesta de las variedades afectadas por el efecto de edad de corte y tanto la respuesta de las variedades como las medias de edad de corte y la interacción variedad x edad de corte, están influenciadas por el efecto del ciclo de cosecha.

En Figura 3, se presentan las interacciones ciclo x variedad y ciclo x edad de corte, donde se aprecia el efecto significativo del ciclo de cosecha sobre la respuesta de los cultivares y sobre la respuesta por edad de corte, observándose que la mayor producción de caña se obtuvo a los de 16 meses en plantilla, con una evidente disminución de los valores TCH para esta misma edad de corte (16 meses) en el ciclo de soca. Estos resultados indican la conveniencia para los productores

de la zona, de cosechar la caña cerca de los 16 meses en plantilla y alrededor de los 12 meses en caña soca.

Rendimiento en Azúcar (TPH)

Los valores promedios de TPH y el resultado de la aplicación de la prueba de medias de Tukey se muestran en el Cuadro 4, donde se aprecia en plantilla un comportamiento similar entre los cultivares a los 12 meses, oscilando el rendimiento azucarero entre 18,59 y 20,17 TPH, mientras que a los 16 meses de este primer ciclo de cosecha (donde se alcanzaron los mayores valores de TPH de todo el experimento), los cultivares B 80-549 y PR61-632 se destacaron con los más altos tonelajes (34,50 y 31,80 TPH) superando ampliamente a V71-39 y B80-408. Entretanto para el ciclo de soca, a los 12 meses el TPH varió entre 14,47 y 18,59, donde los cultivares CR74-250, B80-549 y PR61-632 con rendimientos de 18,59, 17,54 y 17,26 TPH, respectivamente, fueron los mejores a esa edad de corte, mientras que a los 16 meses en caña soca, se registraron los valores más bajos de esta variable, oscilando el TPH entre 10,37 y 13,84, sin diferencias significativas entre los cultivares.

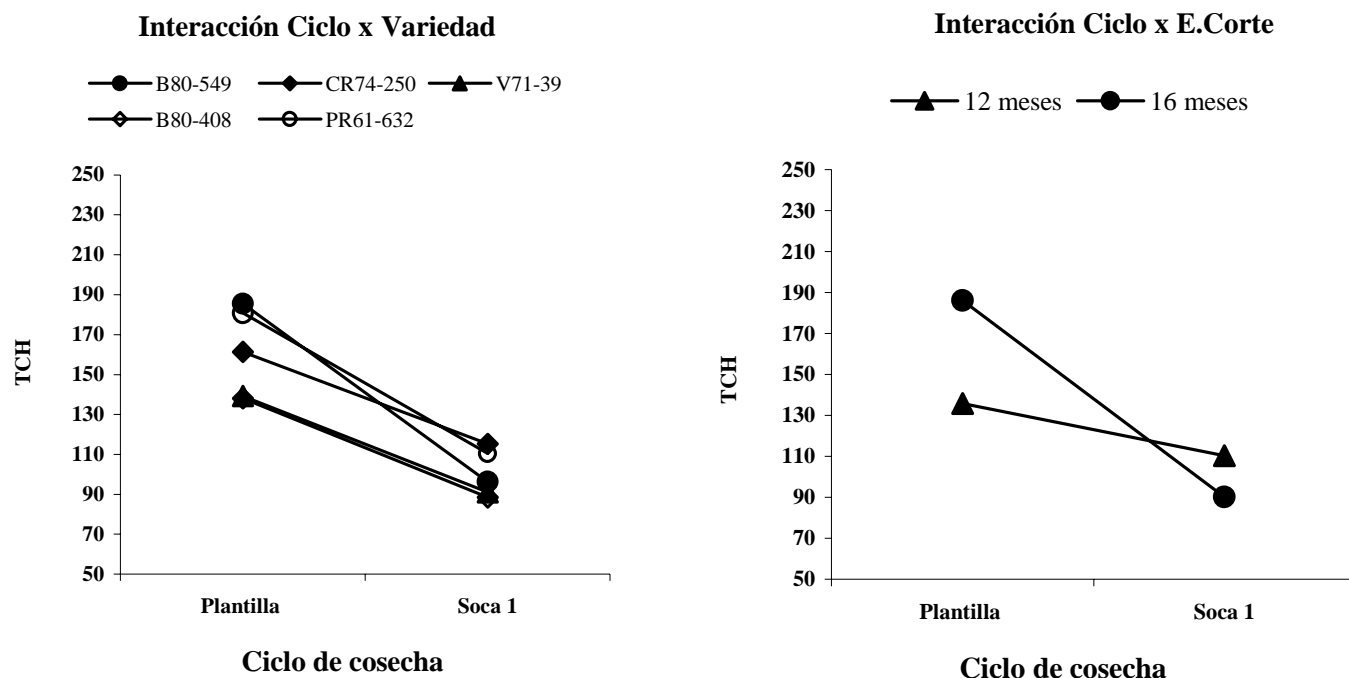


FIGURA 3. Interacciones ciclo x variedad y ciclo x edad de corte para el tonelaje de caña por hectárea (TCH) en Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón.

CUADRO 4. Valores promedios del tonelaje de Pol por hectárea (TPH) por edad de corte y ciclo de cosecha de 5 cultivares de caña de azúcar en Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón.

| Variedad | TPH | | | | | |
|----------|-----------------------|----------|----------|--------------|---------|----------|
| | Edad de Corte (meses) | | | | | |
| | Ciclo Plantilla | | | Ciclo Soca 1 | | |
| | 12 | 16 | Promedio | 12 | 16 | Promedio |
| B80-549 | 19,25 | 34,50 a | 26,88 a | 17,26 ab | 10,37 | 13,82 |
| CR74-250 | 19,72 | 27,89 bc | 23,81 bc | 18,59 a | 13,84 | 16,22 |
| V71-39 | 16,71 | 25,11 c | 20,91 c | 14,47 b | 11,69 | 13,08 |
| B80-408 | 18,59 | 23,21 c | 20,90 c | 14,56 b | 11,98 | 13,27 |
| PR61-632 | 20,17 | 31,80 ab | 25,99 ab | 17,54 ab | 11,44 | 14,49 |
| Promedio | 18,89 b | 28,50 a | 23,70 a* | 16,48 a | 11,86 b | 14,17 b* |

Promedios sin una letra en común difieren significativamente al nivel de P<0,05, según Tukey. Las separaciones de medias corren horizontalmente en los promedios de edad de corte.

* Se refiere al valor promedio del ciclo de cosecha.

El análisis en conjunto para los dos ciclos de cosecha indicó que los efectos de variedad, edad de corte, ciclo de cosecha y de las interacciones ciclo x variedad, ciclo x edad de corte y ciclo x variedad x edad de corte fueron significativos. Evidenciando que entre los dos ciclos de cosecha, existen diferencias entre los cultivares y entre las medias de edad de corte y hay diferencia entre las medias de ciclo (mayor el TPH en la plantilla), estando la respuesta de las variedades, la respuesta por edad de corte y la interacción variedad x edad de corte, afectadas por el efecto del ciclo de cosecha, es decir varían según el ciclo de cosecha.

La Figura 4, muestra gráficamente la significación de las interacciones ciclo x variedad y ciclo x edad de corte, observándose el efecto del ciclo de cosecha sobre la respuesta de la variedades y sobre la edad de corte, apreciándose que los mayores valores del TPH se registraron a los 16 meses en plantilla, lo que es de esperar ya que esta variable (TPH) está altamente influenciada por el TCH, indicando nuevamente la conveniencia para los productores de la zona, de cosechar la caña a los 16 meses en plantilla y alrededor de los 12 meses en caña soca.

Rendimiento en Panela (TPAH)

En relación a la producción de panela, el Cuadro 5 muestra para el ciclo plantilla un comportamiento similar entre los cultivares a los 12 meses, donde el rendimiento osciló entre 10,69 y 13,96 TPAH, mientras que a los 16 meses, los cultivares B 80-549, PR 61-632 y CR 74-250, con rendimientos de 19,05, 16,53 y 16,50 TPAH, respectivamente, fueron los mejores. Entretanto para la soca, a los 12 meses los cultivares CR 74-250 y PR 61-632 con rendimientos de 11,08 y 10,83 TPAH, respectivamente, superaron a V 71-39, mientras que a los 16 meses (donde se registraron los valores más bajos del TPAH), el rendimiento panelero osciló entre 4,63 y 6,74 TPAH, sin diferencias significativas entre los cultivares.

El análisis del rendimiento panelero, combinando los dos ciclos de cosecha, muestra la significación de los efectos de variedad, ciclo de cosecha y de la interacción ciclo x edad de corte, indicando que entre un ciclo y otro, existen diferencias en el rendimiento panelero de las variedades y las medias de ciclo son diferentes (mayor TPAH en la plantilla), estando la respuesta por edad de corte afectada por el efecto de ciclo, es decir varía según el ciclo de cosecha.

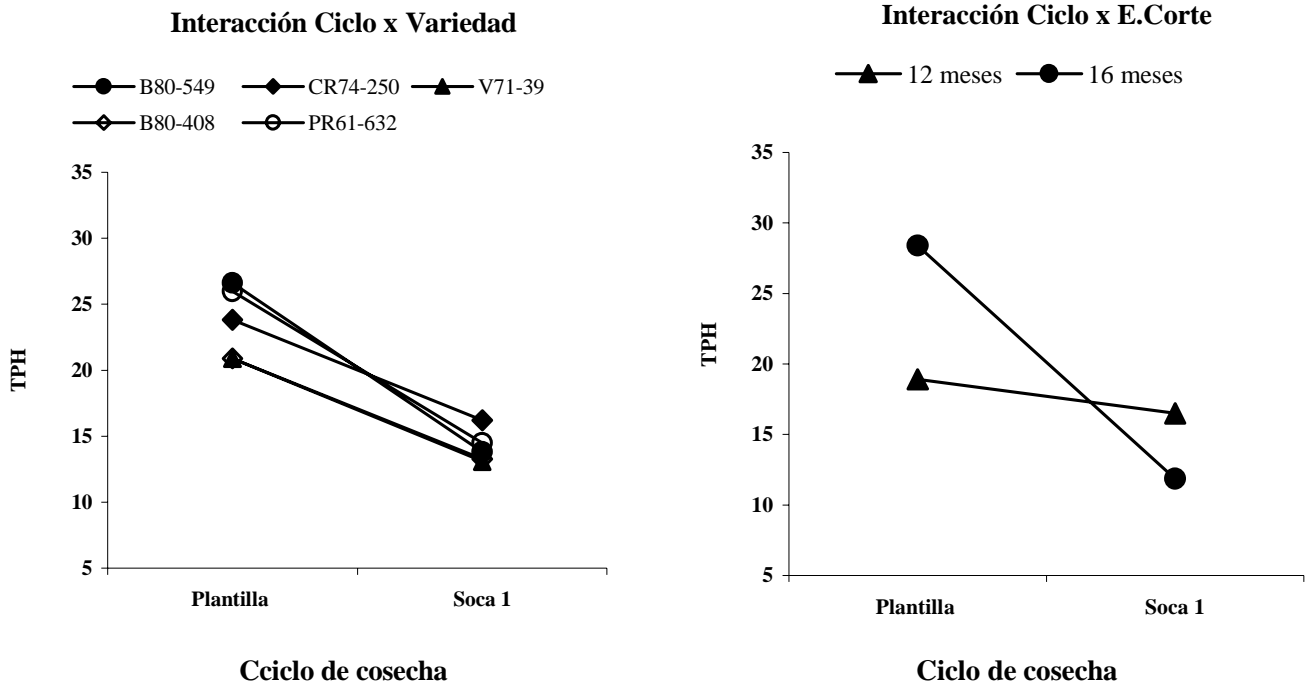


FIGURA 4. Interacciones ciclo x variedad y ciclo x edad de corte para el tonelaje de pol por hectárea (TPH) en Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón.

CUADRO 5. Valores promedios del tonelaje de panela por hectárea (TPAH) por edad de corte y ciclo de cosecha de 5 cultivares de caña de azúcar en Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón.

| Variedad | TPAH | | | | | |
|----------|-----------------------|----------|----------|--------------|--------|----------|
| | Edad de Corte (meses) | | | | | |
| | Ciclo Plantilla | | | Ciclo Soca 1 | | |
| | 12 | 16 | Promedio | 12 | 16 | Promedio |
| B80-549 | 12,82 | 19,05 a | 15,94 a | 9,19 ab | 5,05 | 7,12 ab |
| CR74-250 | 12,31 | 16,50 ab | 14,41 ab | 11,08 a | 6,74 | 8,91 a |
| V71-39 | 10,69 | 12,33 b | 11,51 b | 7,73 b | 4,63 | 6,18 b |
| B80-408 | 12,79 | 13,21 b | 13,00 ab | 8,54 ab | 5,27 | 6,91 ab |
| PR61-632 | 13,96 | 16,53 ab | 15,24 a | 10,83 a | 5,52 | 8,18 ab |
| Promedio | 12,51 b | 15,52 a | 14,02 a* | 9,47 a | 5,44 b | 7,46 b* |

Promedios sin una letra en común difieren significativamente al nivel de $P < 0,05$, según Tukey.

Las separaciones de medias corren horizontalmente en los promedios de edad de corte.

* Se refiere al valor promedio del ciclo de cosecha.

La Figura 5, muestra el efecto de ciclo de cosecha sobre el rendimiento en TPAH, obtenido por edad de corte, observándose una significativa reducción de los valores de esta variable en la soca, principalmente a los 16 meses, (similar a lo observado para el rendimiento en caña y azúcar), indicando nuevamente la conveniencia para los productores de la zona, de realizar la cosecha de la caña a los 16 meses en plantilla y a los 12 meses en caña soca,

Los resultados obtenidos en este experimento, concuerdan con lo esperado para el Valle de Santa Cruz de Bucaral, tomando en cuenta las condiciones climáticas asociadas a su ubicación con respecto a la altura sobre el nivel del mar (850 m.s.n.m.), ya que la altitud constituye un factor importante en el desarrollo del cultivo, tendiendo a disminuir la temperatura promedio local, siendo probablemente este el factor más influyente en la maduración de la caña de azúcar, también disminuye la luminosidad por efecto de la nubosidad, promoviendo que al principio del desarrollo del cultivo, el crecimiento sea muy lento en caña plantilla, alargándose consecuentemente el periodo para alcanzar la edad adecuada para el corte (CORPOICA, 1998; Hernández *et al.*, 2002).

Los rendimientos en caña, azúcar y panela registrados en este experimento, guardan relación con los obtenidos

por otros investigadores (Bastidas, 1990; Colmenarez, 1996; CORPOICA, 1998; Hernández *et al.*, 2002; Lugo *et al.*, 2002; Ortiz *et al.*, 2002; Rea y De Sousa, 2002) en estudios realizados con diferentes cultivares en distintas localidades.

CONCLUSIONES

- Existen importantes diferencias en el comportamiento agronómico entre los 5 cultivares estudiados. Los mayores rendimientos en caña, azúcar y panela, se obtienen en el Valle de Santa Cruz de Bucaral, municipio Unión del estado Falcón, a los 16 meses en plantilla y a los 12 meses en caña soca.
- Con la finalidad de obtener los mayores rendimientos en caña, azúcar y panela, se recomienda establecer las siembras de la caña de azúcar entre los meses de octubre y noviembre, realizando el corte a los 16 meses en plantilla y a los 12 meses en caña soca.
- Para la producción de azúcar y panela se recomiendan los cultivares B 80-549, PR 61-632 y CR 74-250. Si los productores desean un cultivar precoz con alto valor de Pol % Caña, se sugiere el cultivar V 71-39.

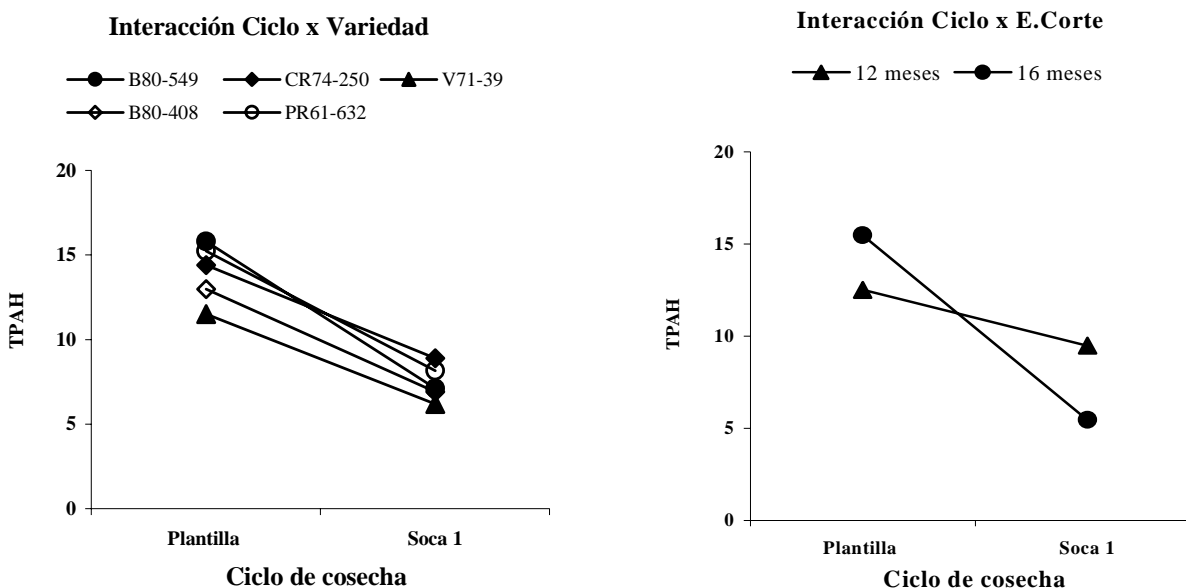


FIGURA 5. Interacciones ciclo x variedad y ciclo x edad de corte para el tonelaje de panela por hectárea (TPAH) en Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen por la asistencia de campo a los Técnico Asociados a la Investigación: José George y Milagros Niño miembros del programa caña de azúcar del INIA-Yaracuy.

BIBLIOGRAFÍA

Amaya, M. 2000. Evaluación de diez variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con fines paneleros en el Valle de Santa Cruz de Bucaral. Municipio Unión. Estado Falcón. Trabajo Especial de Grado. Falcón, Venezuela. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Programa de Agronomía, 70 p.

Amaya, F., E. Hernández y H. Giraldo. 2003. Referencial Tecnológico para el mejoramiento de la agroindustria panelera. República Bolivariana de Venezuela. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. INIA - Táchira. Pregonero, estado Táchira. 94 p.

Bastidas, L. 1990. Respuesta a los fertilizantes NPK por la caña de azúcar variedad PR 980 en un mollisol de la cuenca del Lago de Valencia. Tesis de Maestría en Agronomía. Aragua, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Postgrado en Agronomía. 118 p.

Borges, F. 2000. Propuesta de desarrollo sustentable para la caña panelera bajo el enfoque de cadena agroalimentaria en el municipio Unión del estado Falcón. Trabajo de grado de Maestría en Gerencia Agrícola. Falcón, Venezuela. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM). 132 p.

Colmenarez, E. 1996. Situación actual de las variedades introducidas por Fundazúcar en el área de influencia de los Centrales Azucareros Río Turbio y Tocuyo. FUNDAZUCAR, Venezuela. Boletín N° 24:10-11.

COPLANARH, 1975. Inventario nacional de tierras regiones: Costa noroccidental centro occidental y central. Caracas, Venezuela. Publicación 43:199-202.

CORPOICA, 1998. Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Publicación de Corpoica regional siete-sena. Bucaramanga, Colombia. 150 p.

Chacín, F. 1998. Una contribución para el análisis estadístico de cultivos perennes y semiperennes. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Alcance 55. 337 p.

Chacín, F. 2000. Diseño y análisis de experimentos. Ediciones del Vicerrectorado Académico de la Universidad Central de Venezuela. 398 p.

- Chen, J. 1997. Manual del azúcar de caña. Para fabricantes de azúcar y químicos especializados. Editorial Limusa, S.A. México D.F. 1.200 p.
- De Sousa, O. y A. Ortiz. 1999. Producción, selección y caracterización de variedades de caña de azúcar. FONAIAP. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Yaracuy. 33 p.
- FUSAGRI, 1997. Caracterización y selección de áreas. Programa de extensión agrícola. Convenio CIARA-Gobernación-Alcaldía. Núcleo Municipio Unión, Estado Falcón. 47 p.
- Hernández, E., F. Amaya, V. Galeano, F. Ramírez y R. Cortés. 2002. Alternativas tecnológicas para la producción de caña panelera. Instituto de Investigaciones Agrícolas. INIA - Táchira, San Cristóbal, Venezuela. 94 p.
- Hernández, E., F. Amaya, A. Vargas, H. Giraldo y A. Morillo. 2003. Metodologías de investigación en caña panelera. República Bolivariana de Venezuela. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones Agrícolas. INIA - Táchira. Bramón, estado Táchira. 113 p.
- INFOSTAT. 2000. Infostat Versión 1.1. Grupo Infostat, FCA. Universidad Nacional de Cordova. Primera edición. Editorial Brujas. Argentina. 266 p.
- López, M. 2001. Métodos y estrategias para el perfeccionamiento de la agroindustria panelera en Venezuela. Fundación CIARA. Programa de Extensión Agrícola (PREA). 135p.
- Lugo, L., A. Valle, G. Torrealba, R. Pérez, H. Agrizante y H. López. 2002. Evaluación de la primera soca en 15 cultivares de caña de azúcar a las condiciones agroecológicas del sistema de riego Río Guárico. Ministerio de Ciencia y Tecnología. INIA - CENIAP, Maracay. Informe anual. Proyecto 02-601-40005-003:51-55.
- Ortiz, P., A. Valle, L. Lugo, R. Pérez, H. Agrinzoe y H. López. 2002. Rendimiento de quince de cultivares de caña de azúcar en un suelo arcillo limoso del sistema de riego Río Guárico. República Bolivariana de Venezuela. Ministerio de Ciencia y Tecnología. INIA - CENIAP, Maracay. Informe anual. Proyecto 02-601-40005-003: 47-51.
- Rea, R., O. De Sousa y V. González. 1994. Características de catorce variedades promisorias de caña de azúcar en Venezuela. Caña de azúcar. 12(1):3-4.
- Rea, R. and O. De Sousa. 2002. Genotype x environment interactions in sugarcane yield trials in the central - western region of Venezuela. Interciencia. 27(11):20-624.
- Rincones, C. 1985. Control de malezas en caña de azúcar en Venezuela. Caña de azúcar. 3(1):5-20.
- Rodríguez, O. y V. González. 1984. Caracterización de variedades de caña de azúcar en Venezuela. Caña de azúcar (2):89-108.
- SAS. 2000. The SAS System. For Windows. Version 8. SAS Institute inc. Cary. North Carolina. EEUU.
- Silva, E. 1995. Ensayo sobre germinación de 12 variedades comerciales en el área de influencia del Central Pastora. Fundazúcar, Venezuela. Boletín Nº 17:13-16.
- Uzcátegui, C. 1985. Mejoramiento genético de la caña de azúcar en Venezuela (1962-1982). II selección de variedades Introducidas. Caña de azúcar. 3(1):21-33.
- Uzcátegui, C. y J. Bastardo. 1988. Evaluación de variedades de caña de azúcar en el Valle de Aragua. Período 1985-1989. Caña de azúcar. 6(2):75-104.
- Valle, A. 2001. Recomendaciones agronómicas sobre la caña de azúcar con fines paneleros. Boletín Divulgativo CENIAP. 1:14-18.
- Zérega, L., R. Rea, A. Díaz, P. Guerrero y T. Hernández. 2001. Caracterización agroecológica y su relación con la interacción genotipo ambiente en un ensayo final de variedades de caña de azúcar (*Saccharum* sp. Híbrido) en Venezuela. INIA - Yaracuy. Yaritagua. Venezuela. 13 p.

CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CANOABO EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA. II. SUELOS Y TIERRAS

CHARACTERIZATION OF THE RIVER BASIN CANOABO IN THE CARABOBO STATE, VENEZUELA. II. GROUNDS AND EARTH

Víctor A. Sevilla L.* y Juan A. Comerma G.**

* Investigador. Pequiven. Gerencia Agroambiental, Pequiven. Morón, estado Carabobo. Venezuela. E-mail: victor.sevilla@pequiven.com

** Investigador jubilado. INIA. E-mail: fliacomermas@cantv.net

RESUMEN

En un trabajo anterior se realizó una caracterización climática de la cuenca del río Canoabo, en sus suelos y la capacidad de uso de sus tierras, para dar bases a una mejor planificación agroambiental de la misma. Con ese objetivo se estudiaron los factores formadores de suelo, incluyendo la fotointerpretación de imágenes de satélite, un modelo digital de terreno, mapa de vegetación y cobertura actual y una identificación de materiales parentales. Todas esas capas digitalizadas se superpusieron en un Sistema de Información Geográfico (SIG) y se elaboró el mapa preliminar de unidades de suelo. Se chequearon 50 puntos en campo tanto del entorno geomorfológico, pendiente, cobertura, erosión, drenaje, como de sus perfiles de suelo, taxonomía y capacidad de uso. Los resultados mostraron una clara climosecuencia de suelos, con Humic Haplustults en las zonas de bosques altos más húmedos; más lavados en las zonas altas y más erosionados en las zonas inferiores con gran intervención antrópica, y finalmente Haplustepts, en los valles con materiales aluviales más recientes. La clasificación de las tierras por capacidades de uso arrojó un 12% de tierras clases I a IV, en los valles separándose por pendientes, un 60% de tierras clase V y VI, dominando esta última en laderas intermedias, principalmente por pendiente, mostrando gran intervención; y finalmente un 28% de tierras clase VII y VIII, que son las menos intervenidas y afortunadamente con gran cobertura boscosa. El principal conflicto de uso es la sobreutilización con los usos ganaderos, usualmente precedido por conucos de ocumo o ñame, y en menor medida con cítricas en laderas. Por otra parte, se tiene la subutilización en el valle principalmente con ganadería. Por ello la principal recomendación es la de intensificar el uso de la tierra en el valle e incorporar sistemas silvopastoriles y agroforestales en las laderas con prácticas de conservación de suelos y agua.

Palabras Clave: Evaluación de tierras; cartografía de suelos; conflicto en el uso de las tierras.

SUMMARY

The main land uses are citrus and bananas as well as extensive areas of grassland. In a previous paper a characterization of its climate was published. The objective of this paper is to present a soil characterization and a land capability that supports a better agroecological planning. For this purpose a characterization of the main soil forming factors was carried out; this included a photointerpretation of satellite imagery, a digital elevation model, a map of vegetation and land cover, and a map of parent materials. All these digitized layers were superimposed with a Geographical Information System (GIS) to produce a preliminary soil cartographic map. Fifty field sites were analyzed including its geomorphology, land use, erosion, drainage, soil profile, taxonomy and a land capability classification. Results showed a clear climosequence expressed by a Humic Haplustult in the more humid higher mountains, Haplustalf dominating the intermediate sideslopes, somewhat more leached in the higher slopes and shallower and eroded in the lower ones, and finally, Haplustepts in the lower valleys derived from more recent alluvial materials. Land Capability showed that in the valleys dominated the classes I to IV, while the sideslopes were mostly Class VI, and the high mountains, covered with forests, had class VII and VIII. Slope was the dominant factor to differentiate classes. The main land use conflict is overutilization of steep slopes by cattle and citrus, as well as underutilization of flat slopes in the valley. Consequently, the main recommendation is to intensify land use in the valleys and to develop more sustainable land use systems in the slopes, including soil conservation practices.

Key Words: Land evaluation; soil cartography; land use conflicts.

INTRODUCCIÓN

Trabajos previos han mostrado la importancia de la cuenca del río Canoabo en cuanto a la prestación de servicios ambientales y socio productivos, en especial la producción de agua para industrias y poblaciones del estado Carabobo al norte de Venezuela (Sevilla *et al.*, 2008a). Sin embargo, en ese mismo trabajo, se destacan problemas ambientales como la deforestación, contaminación y usos inadecuados de las tierras (ganadería en laderas), que han erosionado y degradado importantes superficies.

Esta cuenca, de 14 508 ha, dominada por laderas de altas pendientes, cubiertas parcialmente por bosques siempre verde, semidecíduos y decíduos, matorrales y herbazales de moderados a fuertes grados de intervención, alberga 6 500 personas, que aprovechan las tierras a través de la agricultura de subsistencia, la siembra de cítricos, café, cacao, ocumo, ñame, la avicultura y la cría extensiva de bovinos.

Esa doble función de la cuenca, lo ambiental y lo socioproductivo, plantea en este trabajo la necesidad de conocer adecuadamente los suelos, la capacidad de uso de sus tierras y posibles conflictos presente en la

utilización de las mismas, para así evaluar su fragilidad ambiental y realizar posteriormente una planificación agroecológica que oriente las áreas a preservar, a rehabilitar, así como las zonas que podrían soportar usos socio productivos sostenibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos

El estudio de los suelos de la cuenca del río Canoabo se fundamentó en la teoría de los factores formadores de suelo ($S = f(\text{Material parental, Relieve, Clima, Biota, y Tiempo})$, Dokuchaev, citado por Mogollón y Comerma (1994), es decir, que podría mencionarse que áreas enmarcadas bajo la mismas condiciones de cada uno de esos factores tendrían similares tipos de suelo. Por el contrario al cambiar alguno de ellos, se esperarían cambios en los suelos. Es por esto, que el estudio edáfico parte de un proceso de integración de los elementos que expresan esos factores de formación (ver Figura 1).

En primer lugar se desarrolló el componente geológico, para lo cual se utilizó el estudio efectuado por Palmaven (1999) y las cartas geológicas a escala 1:25 000 de la Cordillera de la Costa (Urbani y Rodríguez, 2003).

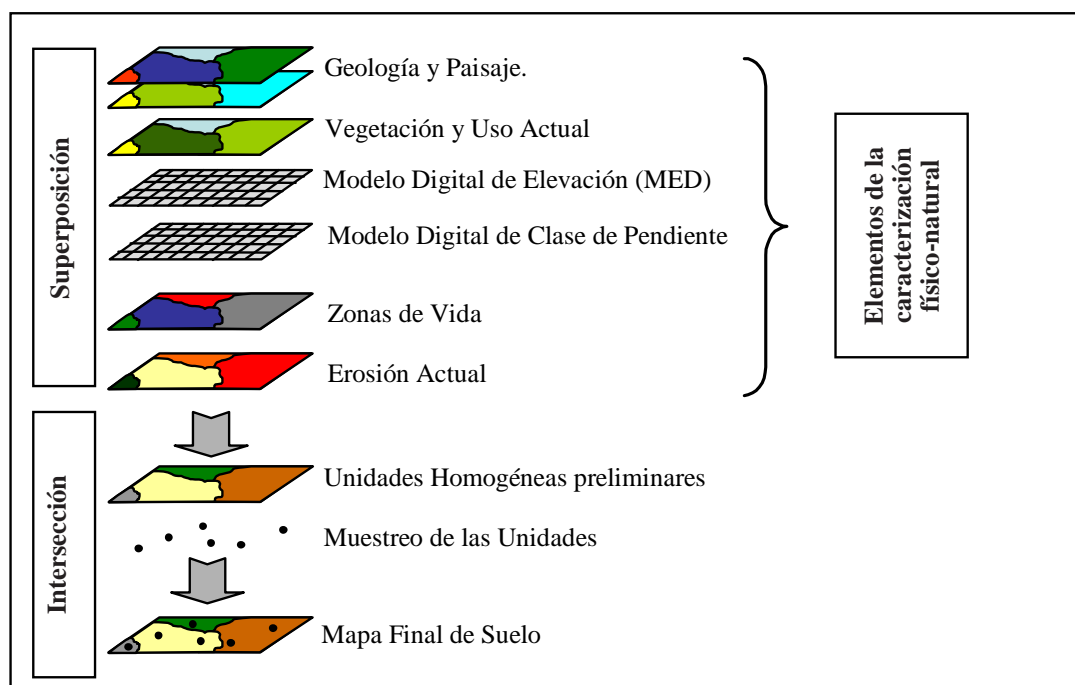


FIGURA 1. Integración de los factores formadores de suelos.

Posteriormente se realizó una caracterización de campo en más de 50 puntos (o sitios) para identificar las principales formaciones geológicas presentes, tipos de roca más frecuentes y elementos minerales que las componen, tratando de explicar así, aquellas características del paisaje y de los suelos, que se derivan de la geología superficial del área.

La caracterización geomorfológica se obtuvo de Elizalde *et al.* (2006), quienes identificaron y clasificaron las unidades de paisaje presentes en la cuenca, mediante la metodología de clasificación sistemática de paisajes de Elizalde (1983). Dada la escala de resolución cartográfica propuesta para este estudio (1:50 000), las unidades de paisaje fueron delimitadas hasta el nivel 7 de este sistema de clasificación.

Para elaborar la leyenda y delinear las unidades de paisaje, se procedió a revisar e interpretar la siguiente información:

- ◆ Cartas Geológicas a escala 1:25 000 (6547-II-NO, 6547-II-SO, 6547-III-NE, y 6547-III-SE) de la Cordillera de la Costa (Urbani y Rodríguez, 2003).
- ◆ Modelo Digital de elevación de la cuenca (MDE).
- ◆ Mapa de pendientes.
- ◆ Cartas Geográficas digitales a escala 1:25 000 y 1:100 000 (6547-II-SO, 6547-III-SE, 6547-III-NE, 6546-IV-NE y 6546-I-NO) del IGVS (1975).
- ◆ Ortofotomapas digitales a escala 1:65 000 (6547-II-SO y 6547-III-SE), (año de vuelo 1996).
- ◆ Coberturas vectoriales de hidrografía y curvas de nivel.
- ◆ Imagen de satélite LANDSAT 7 Enhanced Thematic Mapper Plus del 2001.

CUADRO 1. Intervalos y clases de pendiente.

| Nº | Clase | Porcentaje |
|----|--------------------------|------------|
| 1 | Sin limitaciones | 0 - 3 |
| 2 | Ligeras limitaciones | 3 - 8 |
| 3 | Moderadas limitaciones | 8 - 20 |
| 4 | Fuertes limitaciones | 20 - 45 |
| 5 | Severas limitaciones | 45 - 60 |
| 6 | Muy severas limitaciones | > 60 |

Fuente: Comerma y Arias (1971).

La estratificación del paisaje al nivel 7, se realizó a partir del análisis e interpretación del MDE, del mapa de pendientes obtenido del MDE con el comando Slope de ArcGIS 9, del tipo y densidad de drenaje, de la imagen de satélite y los ortofotomapas. Para las clases de pendiente se usaron los rangos del Sistema de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso (Comerma y Arias, 1971) según se expresan en el Cuadro 1.

A toda esta información se le superpuso la cobertura vectorial de vegetación y uso actual, generado por Lores (2006), y Zonas de Vida, con la finalidad de obtener las unidades homogéneas preliminares de suelo. Seguidamente, utilizando la vialidad, los centros poblados y la mayor variabilidad hipotética de los suelos, se seleccionaron 50 sitios de observaciones de campo, es decir una densidad de una muestra por cada 290 ha. Según Avery (1987), esta densidad de observaciones se corresponde con niveles de intensidad de levantamientos de suelos entre 3° y 4° orden. En aquellas zonas con mayor interés agrícola, la densidad correspondió con el 3° orden, en cambio, otras áreas, cubiertas de bosque y de poca accesibilidad por sus altas pendientes correspondieron más con la de 4° orden. De manera general estos niveles de intensidad son los frecuentemente utilizados para realizar estudios semidetallados de suelos.

Los sitios de observaciones establecidos incluyeron cortes de carretera, puntos de barrenos y calicatas. En ellos se desarrollaron tres grandes aspectos que proporcionaron valiosa información para la caracterización y clasificación de los suelos: (i) la descripción del entorno; (ii) descripción morfológica del perfil del suelo y (iii) la toma de muestra para análisis de laboratorio. En el primer punto se incluyeron características en los alrededores del punto de observación: formaciones geológicas, paisaje, pendiente general, forma de la pendiente, microrelieve, erosión, características de drenaje, ocurrencia de inundaciones, condiciones climáticas en el momento, tipo de cobertura vegetal y uso actual de las tierras. En el segundo punto se incluyó la descripción de la morfología del perfil del suelo. En este caso se describió la profundidad efectiva de los suelos, horizontes diagnósticos, textura, pedregosidad, color de los suelos, presencia de moteado o gleizado, estructura, compactación, consistencia, actividad biológica, cantidad y tamaños de raíces y porosidad.

Por último, se hizo el muestreo de suelos por horizontes para luego realizar análisis en el laboratorio de suelos del CENIAP (INIA), a través de métodos de rutina (Gilbert *et al.*, 1990a) y en casos especiales los de

distribución de tamaño de partículas, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases (Gilbert *et al.*, 1990b). Dichos análisis suministraron información sobre: pH, materia orgánica (MO), cationes disponibles, conductividad eléctrica y saturación con Al⁺³.

Se trató en lo posible que cada unidad preliminar tuviese un punto de chequeo, sin embargo, por razones de inaccesibilidad o simplemente por cuestiones de tiempo y presupuesto, algunas unidades carecieron del mismo. Para solventar esto se optó por un modelo de pedotransferencia simple, basado en los factores formadores de suelos y en los puntos ya levantados. A una unidad no chequeada se le asignó un punto caracterizado de la unidad más cercana que poseía similares condiciones, en cuanto a vegetación, geomorfología, pendiente, el grado de erosión y los números de meses húmedos.

Los suelos se clasificaron taxonómicamente hasta el nivel de subgrupo (USDA, 2003), considerada adecuada al nivel de la escala utilizada y densidad de muestreo empleado.

Con el objetivo de diseñar la leyenda del mapa de suelo, y facilitar su identificación en campo, se decidió que el tipo de paisaje era el primer elemento en la leyenda, luego el tipo de vegetación, dado que se pretende con estos trabajos la máxima preservación posible de la

vegetación natural, seguidamente la Taxonomía de los Suelos, con un sólo taxón en el caso de las consociaciones y dos en los casos de asociaciones o complejos y por último, se incluyeron las fases por pendiente y/o erosión (ver Figura 2).

Capacidad de uso de las tierras

La Clasificación de las Tierras por Capacidad de Uso, agrupa áreas de terreno con suelos y clima relativamente homogéneos, de acuerdo a sus limitaciones y potenciales para la producción sostenible agrícola vegetal, animal y forestal. Desde la clase I hasta la VIII, se van reduciendo las opciones de uso y se van aumentando los riesgos de deterioro. De la clase I a la IV se consideran tierras mecanizables. Este sistema da una calificación de la calidad de las tierras en un contexto de carácter nacional y por ello permite su comparación entre distintos territorios. Adicionalmente señala cuales son las principales limitantes generales, como Clima (C), Erosión (E), Suelo (S) y Drenaje (D), o más específicas, como pendiente (p), fertilidad (f), rocosidad (r), profundidad efectiva (h), entre otros.

La metodología utilizada fue la de Comerma y Arias (1971), con algunas actualizaciones realizadas por Comerma (2004). Se aplicó a cada observación de campo durante la realización del estudio de suelos y se llegó hasta el nivel de subclases específicas.

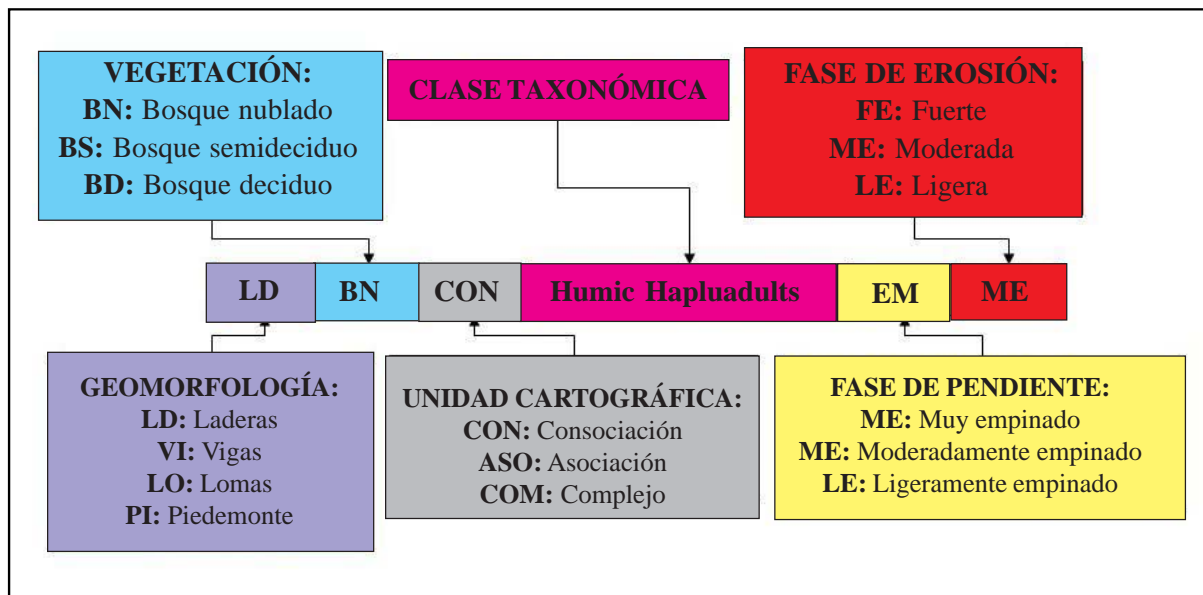


FIGURA 2. Leyenda del mapa de suelo.

CUADRO 2. Criterios empleados para la clasificación de las tierras según sus limitaciones por fertilidad.

| Toxicidad aluminio | Fósforo | Potasio | Materia orgánica | Limitaciones por fertilidad |
|--------------------|---------------------------|--------------|------------------|-----------------------------|
| Media a alta | Bajo | Bajo | Media o Baja | Severa |
| Media a alta | Alguno bajo y otra medio | | Media a alta | Fuerte |
| Baja | Bajo | Bajo | Media o Baja | Fuerte |
| Media a alta | Alguna es alto | | Media a alta | Moderada |
| Baja | Bajo | medio o alto | Baja o media | Moderada |
| Baja | Si alguno es medio o alto | | Media a alta | Ligera |

Dentro de los factores involucrados en las subclases, el factor fertilidad, requirió ciertos cálculos para lo cual se decidió realizar análisis de laboratorio con la finalidad de medir los nutrimentos fósforo, potasio, calcio y magnesio, el porcentaje de MO y el pH de cada horizonte de los suelos. En ciertos suelos ácidos se incluyó el Aluminio y a partir de ello se derivó una relación entre pH y saturación de Aluminio, la cual se aplicó a otros suelos ácidos. Se clasificaron según las tablas de Gilabert (1990a). La calificación final de fertilidad siguió las reglas desarrolladas en el Cuadro 2.

Establecimiento de posibles conflictos entre los usos de las tierras

Según Lewis (1992), citado por EDELCA, (2003d), el término conflicto se relaciona a la existencia de diferencias de intereses sostenidas en el tiempo y que se encuentran frecuentemente asociados a oposición, antagonismo, desacuerdo o incompatibilidad en el uso de la tierra. Los conflictos se identificaron utilizando la información: Mapas de Vegetación y Uso actual; Capacidad de Uso; Erosión; Modelo Digital de Elevación (MDE); Imagen Satelital LANDSAT7 e Índice de Vegetación. Cada conflicto tuvo algunas diferencias en cuanto a la información y metodología utilizada, por tal razón, se mencionan por separado:

a. Inundación actual y Riesgo de inundaciones por aguas del embalse: Estos conflictos plantean la inundación de las zonas agrícolas y pecuarias del valle del río Canoabo por las aguas del embalse y tributarios. Para obtenerlo se empleó el MDE y las cotas de las aguas del embalse proporcionados por Hidrocentro, la más actualizada de 272 m.s.n.m., en diciembre 2005, y la de máxima superficie del espejo

de agua o de 277 m.s.n.m., es decir la cota de alivio de la represa. Utilizando el comando CONTOUR del módulo Grid de ArcGis versión 9,0 (ESRI, 2005), se extrajo del MDE las líneas de las cotas mencionadas, y a partir de ella las poligonales que expresan los límites de las zonas bajo inundación actual y potencial.

b. Sobreutilización y subutilización de las tierras: tiene su origen, en la incompatibilidad entre el uso actual de las tierras y la capacidad que poseen las mismas de sostener una agricultura ecológica y duradera. Este último aspecto fue estimado empleando el sistema de clasificación por capacidad de uso (Comerma y Arias, 1971). La situación de sobreutilización de las tierras se agrava si la misma ocurre en áreas que presentan fuerte erosión. De manera general la sobreutilización se da, donde el uso actual es más intenso al permitido en las tierras respectivas y, la subutilización ocurre donde los usos actuales son menos intensivos que lo que pudieran soportar esas tierras con esas limitantes naturales.

Para obtener los conflictos de uso: a) fue ubicado cada uso actual dentro de las ocho (VIII) clases del sistema de clasificación por capacidad de uso; b) luego se superpuso a los mapas de capacidad de uso y erosión actual. c) Se obtuvo la diferencia entre el uso actual y la capacidad de uso, y si el resultado era positivo (> 0) ocurría sub utilización; si era cero el uso era conforme; si el resultado era negativo (< 0) acontece una sobre utilización. Finalmente, utilizando el mapa de erosión actual, se identificó si la sobreutilización ocurría en áreas con moderada o fuerte erosión.

c. Fragmentación del hábitat en el bosque nublado:

Consiste en la deforestación del bosque nublado a partir de los 800 m.s.n.m. Se consideró sólo en este bosque ya que presenta mayor densidad y biodiversidad. Esta fragmentación genera graves consecuencias sobre la preservación de especies de fauna y flora al ocasionar la fragmentación de su hábitat, así mismo, afecta la conservación de ecosistemas que cumplen funciones como: producción de agua, drenajes naturales, trampas de sedimentos y captación de CO₂. Para lograr la ubicación del conflicto se utilizó el MDE, la imagen de satélite y el índice de vegetación, donde fueron ubicadas las zonas deforestadas.

restante 582 (4,01 %) Haplustepts. Lo anterior resulta de la uniformidad del material parental, de un paisaje relativamente estable con un clima no muy variable, lo cual ha permitido un grado mediano de desarrollo pedogenético, y es expresado por el sufijo Hapl. Tanto los Alfisoles como los Ultisoles tienen en común la presencia de iluviación de arcilla, como un endopedón argílico, y una acumulación mediana a baja de MO.

La Figura 4, muestra que en la cuenca hay una clara expresión de una Climosecuencia siendo este el principal factor diferenciador de los suelos, ante una relativamente uniforme distribución de los otros factores de formación. Esta climosecuencia se expresa así en dos características fundamentales de los suelos, por una parte el mayor lavado hasta grandes profundidades en los suelos en las zonas más húmedas (Ultisoles) y por otra, la mayor acumulación de MO en la parte superior en los climas más fríos, que corresponde con los más húmedos y con mayor cobertura vegetal (Humic Hapludults).

Por otra parte se tiene que los suelos que ocurren en áreas con un período seco mayor y a menor elevación, produce suelos del tipo Alfisoles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelos

En el Cuadro 3 y La Figura 3, se observa que los suelos en la cuenca son bastante uniformes, al menos a nivel de Grandes Grupos. Unas 9759 ha (67,26%) son Haplustalfs, 3933 ha (27,1%) son Hapludults y el

CUADRO 3. Superficie y porcentajes del mapa de suelos.

| Unidad cartográfica de suelo | Superficie (ha) | % |
|---|-----------------|------|
| LA-BS-ASO-Typic Haplustalfs - Ultic Haplustalfs-ME-LE | 2753 | 19,0 |
| LA-BN-CON-Humic Hapludults-ME-LE | 2341 | 16,1 |
| LA-BD-CON-Typic Haplustalfs-ME-LE | 1967 | 13,6 |
| LA-BN-CON-Humic Hapludults-EM-LE | 1304 | 9,0 |
| LA-BD-COM-Typic Haplustalfs - Inceptic Haplustalfs - Lithic Ustorthents-ME-FE | 1117 | 7,6 |
| LA-BS-ASO-Typic Haplustalfs - Ultic Haplustalfs-EM-LE | 712 | 4,9 |
| VA-BD-COM-Fluventic Haplustepts - Aquic Haplustepts - Vertic Epiaquepts-PL-LE | 631 | 4,4 |
| PI-BD-ASO-Typic Haplustalfs - Typic Haplustepts-PL-ME | 563 | 3,9 |
| LA-BD-COM-Typic Haplustalfs - Inceptic Haplustalfs - Lithic Ustorthents-ME-ME | 448 | 3,1 |
| PI-BD-ASO-Typic Haplustalfs - Typic Haplustepts-PL-FE | 426 | 2,9 |
| LA-BD-CON-Typic Haplustalfs-EM-LE | 259 | 1,8 |
| Embalse | 234 | 1,6 |
| LO-BD-CON-Typic Haplustalfs-ME-LE | 219 | 1,5 |
| VI-BS-CON-Typic Haplustalfs-EM-LE | 206 | 1,4 |
| LA-BN-CON-Humic Hapludults-LE-LE | 165 | 1,1 |

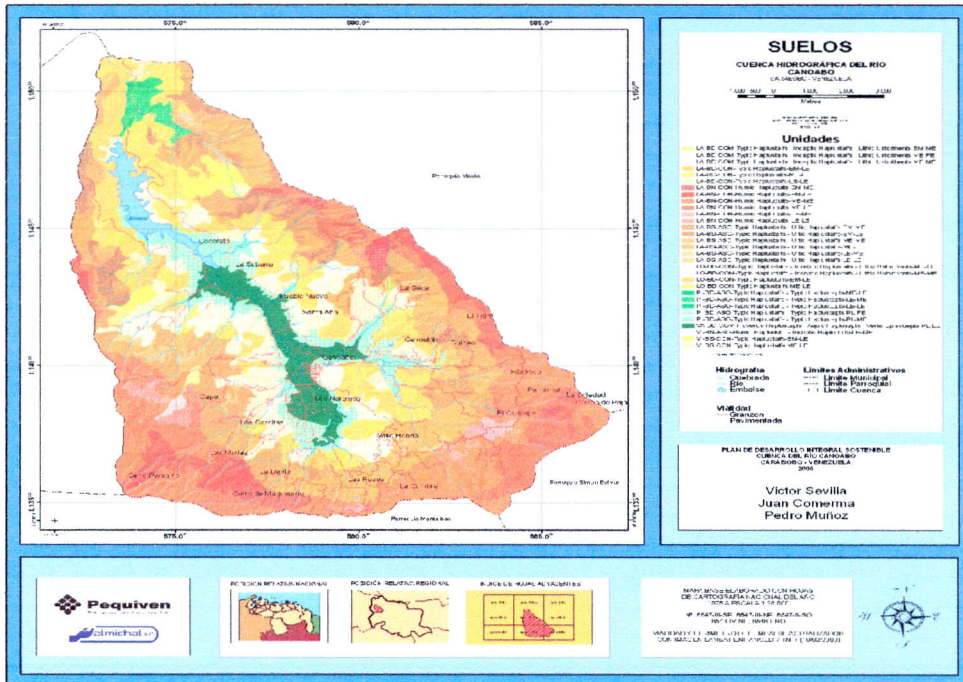


FIGURA 3. Mapa de Suelo.

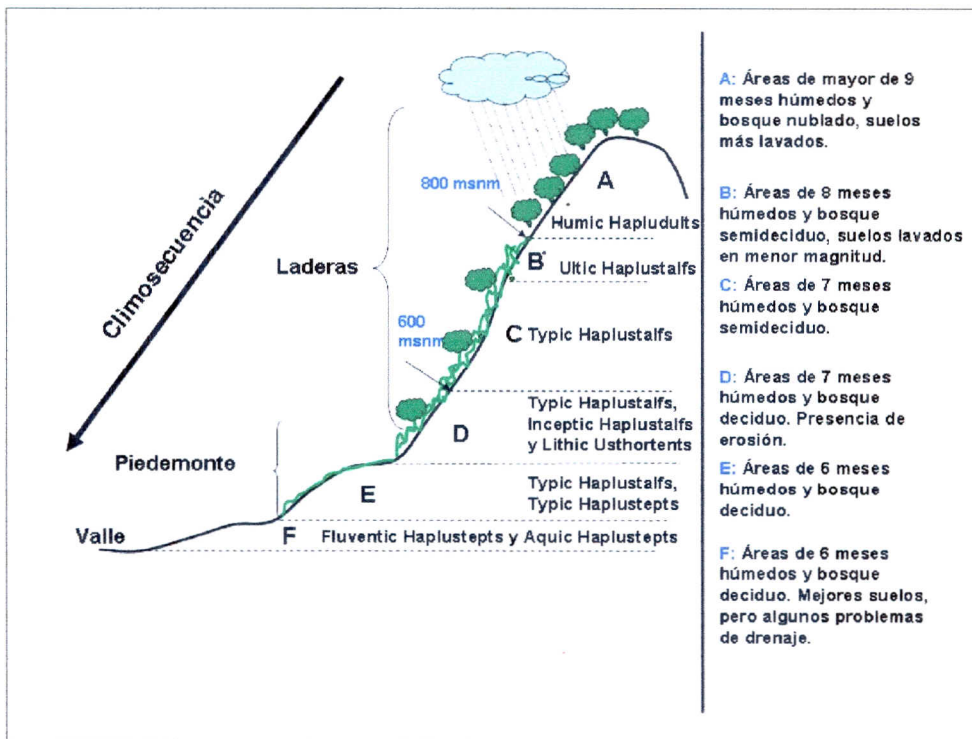


FIGURA 4. Climosecuencia de los Suelos.

Las otras diferencias de menor monto están reflejadas en los subgrupos. De la leyenda se puede ver que los subgrupos de los componentes principales son todos Typic, excepto los Humic o más ricos en MO que ocurren en los sitios más altos y boscosos de la cuenca. Pero, por otra parte, los subgrupos de los suelos secundarios son fundamentalmente de dos clases: los Inceptic y Lithic que principalmente reflejan que han sido erosionados y truncados, un poco o mucho de los perfiles, respectivamente. En la zona de transición entre Ultisoles y Alfisoles se tienen los subgrupos Ultic Haplustalfs, que reflejan un mayor grado de lavado de bases y, consecuentemente, un estado transicional hacia los Ultisoles más lavados.

Como un resumen general, los suelos de la cuenca son:

- ◆ Ácidos en superficie, reflejo del material parental y del tiempo de evolución o de lavado por la lluvia.
- ◆ Profundidad mediana a alta, reflejando que, a pesar de las pendientes fuertes que predominan, los paisajes son relativamente estables, ayudado esto por las buenas coberturas de vegetación.
- ◆ Contenidos medios de MO, reflejo de la vegetación o los usos de pastizales o plantaciones; la principal excepción son los altos valores de las zonas más altas, húmedas y de menor temperatura.
- ◆ Texturas predominantemente medias (Francas), lo cual es reflejo de la naturaleza y uniformidad del material parental; sólo en el piedemonte sujeto a erosión hay concentraciones residuales de esqueleto grueso (grava) en superficie; así mismo, los suelos del valle, más jóvenes, reflejan la sedimentación diferencial entre los diques (arenosos) y las napas o cubetas (medianas a finas).
- ◆ Suelos de colores pardos o rojizos reflejando el material parental y la buena condición de drenaje.
- ◆ Como reflejo de las características anteriores, la fertilidad de los suelos se clasificó como media a baja, por la acidez, lavado de bases y mediano a bajo contenido de nutrimentos, especialmente, en sus horizontes superiores.

Capacidad de uso de las tierras

La Figura 5, presenta el mapa de esta variable, en el cual se puede ver que sólo alrededor de 1 747 ha

(12,04%) serían tierras arables o dentro de las primeras 4 clases. Dentro de ellas, sólo las clases I y II no presentan limitaciones de pendiente y se encuentran en el valle; las clases III y IV si tienen como factor común las pendientes, con la diferencia que la clase III, con 3 a 8% de pendiente está en los bordes del valle, mientras la clase IV, con pendientes entre 8 y 20% se encuentra en las laderas de la zona sur y alta de la cuenca, en especial en zonas que la población ya ha venido usando en agricultura.

En cuanto a las tierras de la clase V en adelante, es de señalar que las más extensas son las de la clase VI, la cual ocupa cerca de 5 097 ha (35,13%) y en todos los casos la limitante principal es la pendiente, siendo las otras limitantes la erosión actual, la reducida profundidad efectiva y, sólo en casos excepcionales, la presencia de grava en superficie. Esta clase se encuentra en las laderas medias bajo un bosque semidecídulo y matorrales de moderada intervención, y en las faldas de las montañas con pendientes entre 20 a 45%, rodeando el valle, donde se evidencia una alta actividad antrópica (ganadería y cítricos). La clase V ocupa unas 4 078 ha (28,1%) y se comporta muy similar a la VI, a diferencia que posee algunas áreas bajo bosque nublado con poca intervención, sin embargo, la mayoría está en el bosque semidecídulo con uso ganadero y cítricos.

Por último, las tierras de las clases VII y VIII, que fundamentalmente deberían ser con fines de protección, ocupan 3 350 ha (23,09%) de la cuenca.

La clase VII se distribuye en dos escenarios: uno en la zona alta de bosque nublado con baja intervención y, dos en el área de laderas bajas donde se presentan los casos más fuertes de erosión, bajo un uso ganadero sin ninguna práctica de conservación. Por último la clase VIII, se ubica en las laderas medias alrededor de la cuenca, en aquellas zonas clasificadas con moderada erosión y en parte ocupada por un bosque semidecídulo y otra por herbazales usado en ganadería.

Conflictos entre los usos de las tierras

En la Figura 6 se muestran los principales conflictos en la cuenca.

a. Inundación actual y Riesgo de inundación por aguas del embalse: ciento noventa y dos hectáreas (1,32%) padecen inundación, ubicadas en los márgenes del embalse hasta la cota 272 m.s.n.m. Los riesgos de inundación se han incrementado, ya que en los últimos

años la cota del embalse ha superado los 272 m.s.n.m. (Hidrocentro, diciembre 2005), y la mayor frecuencia de ocurrencia de vaguadas, respaldan la posibilidad que, por primera vez, las aguas del embalse alcancen la cota del aliviadero (277 m.s.n.m.). Aunque es un conflicto potencial, el mismo podría adicionar unas 145 hectáreas (1%) a las zonas ya inundadas, afectando una considerable superficie del valle, las mejores tierras (Clase I, II y III), a las actividades socioeconómica, (cultivos de cítricos, musáceas, pastizales), y afectaría viviendas en La Sabana y el pueblo de Canoabo.

b. Sobreutilización de las tierras: unas 6 220 ha (42,87%) presentan sobre utilización de sus tierras, al ocurrir usos actuales intensivos en tierras con importantes limitantes (Clases V, VI, VII y VIII) lo que lo hace insostenible y degrada los recursos naturales.

La sobreutilización puede ser muy alta cuando los usos actuales y los conformes son diametralmente opuestos, o sólo ligera cuando el uso actual es sólo de una clase superior al conforme.

En la cuenca, la más perjudicial es la utilización de las tierras con ganadería sin prácticas de conservación, ubi-

cadadas en laderas de altas pendiente (20 a 45%) y que sufren de una fuerte erosión. Este conflicto alcanza el 23% de la cuenca. Otros usos conflictivos, son los cítricos en zonas altas de las montañas, con pendiente mayores 45% y sin cobertura del suelo. Este uso conflictivo es uno de los económicamente más atractivos, debido a su alta rentabilidad, pero si no se maneja muy selectivamente en sitios adecuados y con prácticas conservacionistas, se promovería la deforestación de bosques semidecíduos y nublados, favoreciendo la fragmentación del hábitat, los procesos erosivos y la alteración negativa del ciclo hidrológico de los ríos, con sus consecuentes efectos sobre el almacenamiento de agua y sedimentación del embalse.

c. Subutilización de las tierras: la zona sur del valle de río Canoabo, y en algunas áreas de piedemonte con pendientes menores de 8% y clasificadas según su capacidad de uso como clases I, II y III, están siendo utilizadas con pastizales o plantaciones de cítricos, los cuales podrían estar ubicados en suelos de clases más limitadas. Unas 880 ha (6,05%) de la cuenca están siendo subutilizadas, las cuales bien podrían ser utilizadas con cultivos más intensivos para la alimentación humana como hortalizas, cereales y leguminosas.

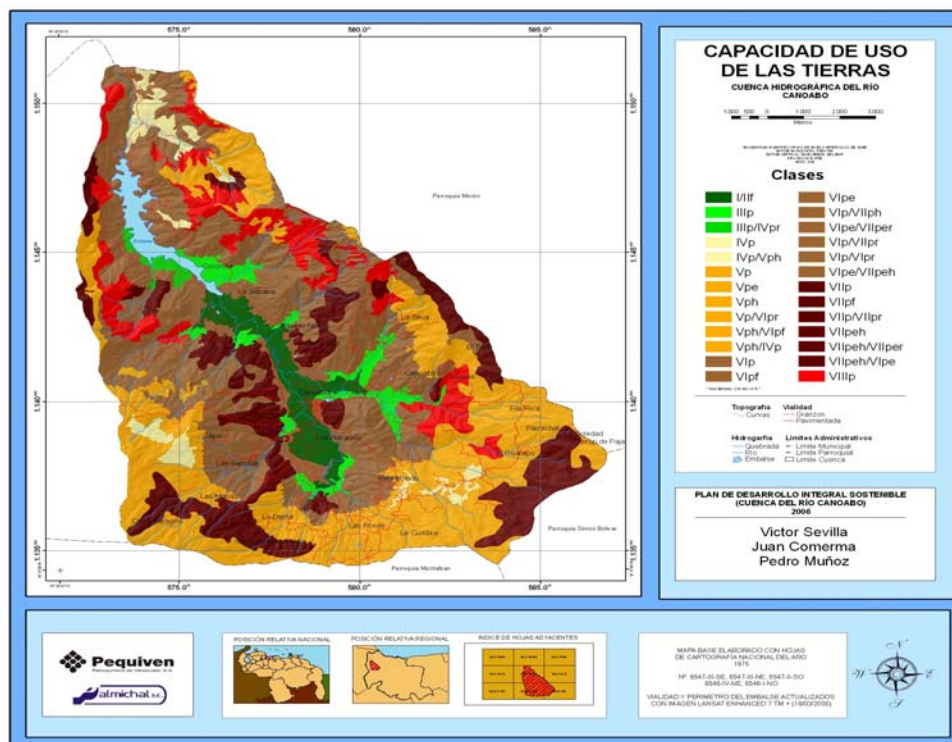


FIGURA 5. Mapa de capacidad del uso de las tierras.

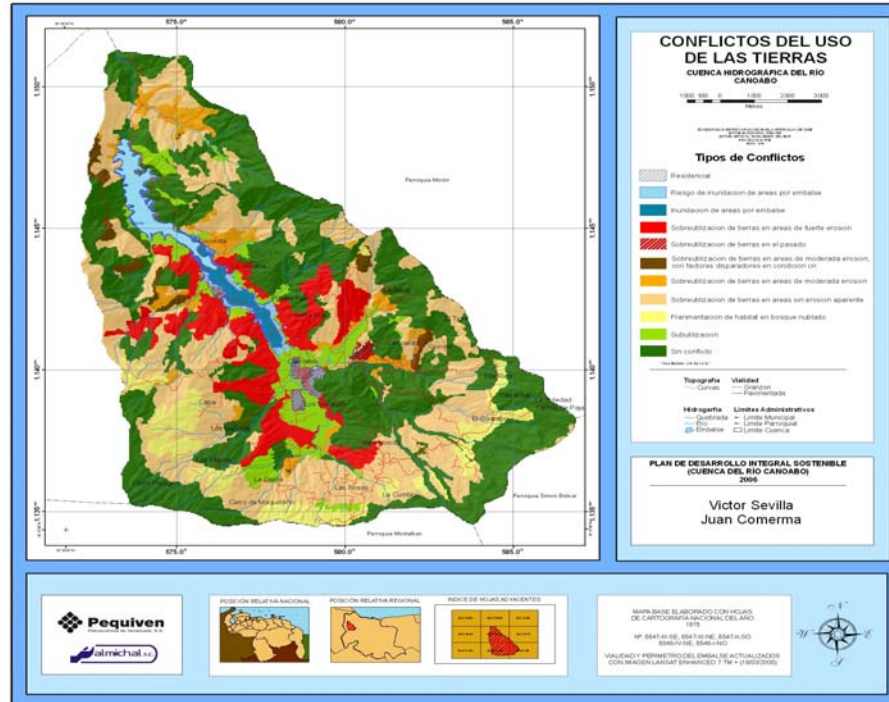


FIGURA 6. Mapa de conflictos del uso de las tierras.

d. Fragmentación del hábitat en el bosque nublado: unas 878 ha (22%) de las tierras sobre los 800 m.s.n.m, cubierta por bosques nublados con alta biodiversidad han sido deforestadas. Esto produjo una repoblación vegetal natural de características mono específica, en este caso dominada por helecho, tal vez debido a la acidez de los suelos y las bajas temperaturas. Esta vegetación no se caracteriza por proteger el suelo de la erosión laminar, ya que, bajo ella no crece otra vegetación. Esta fragmentación causa una interrupción del bosque nublado afectando el libre desarrollo de la flora y fauna, además de afectar los procesos de producción de agua e incrementar la erosión.

e. Áreas sin conflicto aparente: unas 5 958 ha (41,06%) no presentan conflictos en el uso de sus tierras. Son áreas de montaña altas con vegetación de bosque semidecídulo y nublado, donde no se aprecia erosión y actualmente no tienen uso, si no una densa cobertura natural.

CONCLUSIONES

- Los factores formadores de los suelos en la cuenca son relativamente uniformes a través de su superficie. El material parental está dominado por gneises y
- En cuanto a las tierras, clasificadas por su Capacidad de Uso, las mejores son las del valle, dominados por clases I y II, incluyendo algunas pequeñas áreas con

limitantes de drenaje. Las clases III y IV principalmente con limitaciones de pendiente se ubican en los abanicos y piedemonte. Sin embargo los usos actuales predominantes son la ganadería acompañada de cultivos permanentes como cítricas y musáceas. Las tierras de clase V y VI ocupan la gran mayoría de la cuenca; en ellas la pendiente continua siendo el principal factor limitante, pero también hay zonas con problemas de erosión y de poco espesor de suelo. Su uso actual es fundamentalmente ganadería y en las zonas mas elevadas, aprovechando excelentes condiciones climáticas se desarrolla la mandarina y el café. Las clases VII por causas de muy fuertes pendientes, corresponden afortunadamente con las áreas de mejor cobertura de bosques naturales de gran protección. La Clase VIII, abarca todas aquellas áreas de fuerte erosión en las laderas y faldas de las montañas, utilizadas en la actualidad en ganadería de bajos insumos y sin prácticas de conservación.

- Los principales conflictos por el uso de la tierra son, en primer lugar la sobreutilización intensa de las tierras por usos sin prácticas de conservación, como el ganadero en áreas empinadas y, el cultivo de cítricos en zonas altas, lo que ha provocado una erosión considerable. Segundo la fragmentación de hábitat en el bosque nublado y como tercero la subutilización de las tierras en el valle del río Canoabo. Otro conflicto de importancia es la inundación de la mitad de las áreas planas del valle.
- Se debe buscar una mejor correspondencia entre las clases de Capacidad de Uso y los usos a que se dediquen las tierras para ser mas sostenibles. Por una parte las zonas mas planas, no inundables, pueden someterse a usos más intensivos como musáceas, cultivos anuales y hortalizas, mientras las laderas deben incorporar usos mas conservacionistas como los silvopastoriles y los agroforestales y en todo caso incluyendo prácticas de conservación de suelo. Deben buscarse mecanismos administrativos para darle una mayor protección a las zonas de bosques en especial los nublados.

BIBLIOGRAFÍA

AVERY, B. 1987. Soil survey methods: a review, in Technical Monograph, Editor: Silsoe: Soil Survey & Land Resource Centre. 86 p.

COMERMA, J. y L. ARIAS. 1971. Un sistema para evaluar la capacidad de uso agropecuario de los terrenos de Venezuela. **In:** Primer seminario sobre clasificaciones interpretativas de suelos con fines agropecuarios. Maracay, Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. p. 1-19.

COMERMA, J. 2004. Capacidad de uso agrícola de las tierras en Venezuela. Informe técnico, PEQUIVEN, Morón. 34 p.

EDELCA. 2003d. Estudio Plan Maestro de la Cuenca del río Caroní. Conflictos de Usos de las Tierras de la Cuenca del río Caroní. Caracas Venezuela. 31 p.

ELIZALDE, G. 1983. Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisajes. Informe técnico. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, 43 p.

ELIZALDE, G., J. VILORIA y J. OCHOA. 2006. Caracterización Geomorfológica de la Cuenca del río Canoabo, en el estado Carabobo. Informe técnico. UCV, FAGRO, Maracay.

ESRI, 2005. ArcGis 9.0. Redland, California, USA. www.esri.com.

GILABERT, J.; I. LÓPEZ y R. PÉREZ. 1990a. Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia (análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad) FONAIAP-CENIAP. Maracay. 164 p. (Serie D N° 26).

GILABERT, J. y L. NIEVES. 1990b. Manual de Métodos Analíticos para Caracterizar Perfiles de Suelos. FONAIAP-CENIAP. Maracay. 164 p. (Serie D, N° 26).

LORES, C. 2006. Caracterización de la Cobertura Vegetal y el Uso Actual de la Cuenca del río Canoabo. Informe técnico. PEQUIVEN, Morón. 40 p.

MOGOLLON, L. y J. COMERMA. 1994. Suelos de Venezuela. PDVSA PALMAVEN, Editorial EXLIBRIS. 21 p.

PALMAVEN. 1999. Proyecto "Desarrollo Regional Occidente. Capítulo Carabobo (DRO-Carabobo)". Guacara. Estado Carabobo.

- SEVILLA, V., J. COMERMA y O. SILVA. 2008a. Caracterización de la cuenca del río Canoabo. I Análisis Climático y de Producción de agua. *Agronomía Trop.* 59(1):33-44.
- URBANI, F y J. A. RODRIGUEZ. 2003. Atlas geológico de la cordillera de la costa, Venezuela. Coedición FUNVISIS y UCV, iii + 146 p. (146 mapas a escala 1:25.000).
- USDA. 2003. Keys to Soil Taxonomy. Ninth Edition. http://soils.usda.gov/technical/classification/tax_keys/keysweb.pdf.

RENDIMIENTO DEL MAÍZ Y LAS ÉPOCAS DE SIEMBRA EN LOS LLANOS OCCIDENTALES DE VENEZUELA

CORN YIELD AND PLANTING DATE AT THE WESTERN PLAINS OF VENEZUELA

Pedro García*, Samuel Cabrera*, Jimmy Sánchez** y Alberto Pérez*

* Investigadores. INIA Portuguesa. Apdo. Postal 102, estado Portuguesa, Venezuela.

E-mail: scabrera@cantv.net, pejoga@cantv.net, alperez@inia.gov.ve

** ASOPORTUGUESA, AP102 - Portuguesa. Venezuela. E-mail: ASOPORTUGUESA@cantv.net

RESUMEN

Este estudio se realizó con el objetivo de determinar el efecto de la época de siembra sobre los rendimientos del maíz, en la región de los Llanos Occidentales de Venezuela. Se utilizó la información generada por el Programa de Asistencia Técnica de la Asociación de Productores Rurales del Estado Portuguesa (ASOPORTUGUESA), en el área sembrada durante el período de 2001 al 2003. En cada ciclo, se registró la fecha de siembra, nombre del productor y del cultivar, lote de terreno y localidad. A la cosecha, se registró el rendimiento obtenido en cada fecha de siembra, discriminado por cultivar, lote y localidad. Se establecieron 4 épocas de siembra, cada una cubriendo un margen de 15 días, comenzando en la primera quincena de mayo. Se realizó un análisis de varianza para cada año, considerando un arreglo factorial con 2 factores (Épocas y Cultivares) y un combinado a través de los años, con 3 factores (Años, Épocas y Cultivares), donde las repeticiones estuvieron representadas por los lotes de siembra de las unidades de producción. Se realizó un análisis de regresión con los diferentes años, para determinar el comportamiento del rendimiento a través de las épocas de siembra. El rendimiento del cultivo estuvo altamente influido por las épocas de siembra, cultivares y por los años. Se encontró una reducción promedio del rendimiento de 340 kg ha⁻¹ cuando se pasa de una época a la siguiente. Se determinó que la mejor época de siembra para la región de los Llanos Occidentales de Venezuela correspondió al mes de mayo.

Palabras Clave: Maíz; *Zea mays*; rendimiento; fecha de siembra.

SUMMARY

This study was carried out in order to determine the effect of planting date on corn yields at the western plains of Venezuela, using the information generated by the Technical Assistance Program of the Association of Rural Producers of the Portuguesa State (ASOPORTUGUESA), in the cropping season from 2001 to 2003. Planting date, farmer name, cultivar name, farm plot and location were registered each year. At harvest time, the yield for each planting date, cultivar, farm plot and location was recorded. There were considered four planting dates, each one consisting of 15 days, starting up the first in the first 15 days of may, when usually the commercial sowing in the region is started. The analysis of the variance was performed for each year, considering a factorial arrange with two factors (seasons and cultivar) and another analysis combined over years, considering a mixed model with tree factors (seasons, cultivar and year). A regression analysis was also computed for all years, in order to determine the effect of planting date on corn yield. Corn yield was highly affected by years, cultivars and planting date. We founded a mean reduction of 340 kg ha⁻¹ when it passed from a fortnight to another. We determine that may is the best corn planting date in the western plains of Venezuela.

Key Words: Corn; *Zea mays*; yield; planting date.

INTRODUCCIÓN

El clima es uno de los factores importantes para la producción de maíz, *Zea mays*, ya que la mayoría de la superficie de este cereal sembrada mundialmente, y más específicamente en Venezuela, se hace bajo condiciones de secano. Por ende, la producción está relacionada significativamente con la distribución y la cantidad de precipitación ocurrida durante el ciclo del cultivo y con la cantidad de radiación interceptada por el cultivo durante su ciclo de desarrollo. Adicionalmente, el peso seco de la parte aérea de la planta de maíz depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por el cultivo, la cual también puede variar con la temperatura (Otegui *et al.*, 1995).

Algunos estudios han demostrado que la temperatura puede alterar la expansión del área foliar y de esta manera, afecta la fracción de la RFA interceptada (Muchow y Carberry, 1989). La temperatura también perturba la duración del ciclo del cultivo (Allison y Daynard, 1979) y por ende el período de intercepción de la RFA.

De acuerdo a García y Villa Nova (1995), el crecimiento y desarrollo de las plantas dependen de su constitución genética, de las condiciones de suelo y clima en donde se ha establecido el cultivo. En general, el manejo de suelo y la parte genética son dominadas por el hombre, pero el clima no puede ser controlado, a no ser en una escala reducida. De igual manera estos autores afirman que dentro de las causas de pérdidas agrícolas, cerca del 50% se deben a deficiencias hídricas. En consecuencia, un plan de siembra que minimice el riesgo de ocurrencias de deficiencias hídricas en las fases más críticas del cultivo, deberá mejorar el rendimiento agrícola en la mayoría de los años.

Los Llanos Occidentales de Venezuela se caracterizan por presentar altas precipitaciones (1800-2000 mm/año), muy mal distribuidas, con suelos de origen aluvial, muy planos (0,2 a 0,3% de pendientes), con altos contenidos de arcilla y arena muy fina, lo que favorece la compactación natural (Brito y De Brito, 1983). Estas condiciones edáficas y climáticas típicas de la región determinan que la principal limitante de producción sean los excesos de humedad en el suelo (Cabrera y García, 2003). No obstante, la dependencia de la fenología sobre la temperatura implica claramente que en los trópicos el rendimiento de los cultivos está limitado por el poco tiempo para interceptar radiación, dictado por las temperaturas cálidas que aceleran la fenología del cultivo (Bolaños y Edmeades, 1993).

El inicio de la temporada de lluvias influye directamente sobre la época de siembra o inicio de la misma. Los grandes sistemas sinópticos que afectan a Venezuela con relación al inicio de las lluvias son: la convergencia intertropical (ITC) que es una zona de baja presión donde el aire sube y se forman nubes todo el tiempo, y la zona de alta presión del Atlántico donde el aire está bajando sin posibilidad de formación de nubes (Martello, 1995).

La temporada de lluvia en el país se inicia cuando estos dos sistemas de altas y bajas presiones se mueven hacia el norte, en cuyo momento toda Venezuela se cubre por un cinturón de nubes. El efecto de la alta presión sobre el ascenso de la ITC la inclinan al llegar al Noroeste de Venezuela, motivo por el cual la temporada de lluvia comienza en los Llanos Occidentales, después en el Valle Medio del Río Yaracuy y luego en los Llanos Centrales, con 15 a 30 días de diferencia.

El objetivo principal de este trabajo fue determinar la influencia de la época de siembra sobre el rendimiento, en siembras comerciales de maíz establecidas en la región de los Llanos Occidentales de Venezuela, estableciendo la época de siembra más apropiada para la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la mayor parte de la superficie sembrada por el programa de financiamiento de maíz de la Asociación de Productores Rurales del Estado Portuguesa (ASOPORTUGUESA), en los ciclos de siembra comprendidos desde el 2001 hasta el 2003. En el Cuadro 1 se presentan los cultivares que participaron en cada ciclo de siembra considerados en el estudio, en donde se detalla el color del grano del material y las empresas de donde provienen. En promedio, el estudio incluyó unas 200 unidades de producción, que representaron alrededor de 18 mil hectáreas de maíz en cada ciclo de siembra, distribuidas en los principales municipios productores del rubro en la región de los Llanos Occidentales de Venezuela. En cada ciclo, se registró la fecha de siembra, especificando para cada productor: el cultivar utilizado, lote de terreno y localidad. Después de efectuada la cosecha, se registró el rendimiento neto acondicionado de grano de maíz, discriminado por: fecha de siembra, cultivar, lote y localidad.

Se establecieron 4 épocas de siembra, cada una cubriendo un margen de 15 d (2 épocas por mes), comenzando

en la primera quincena de mayo, época en que comúnmente se inicia la siembra comercial en la región y que está altamente asociada al inicio de las lluvias. La información se registró en una planilla diseñada para tal fin; la misma fue procesada en una hoja de cálculo relacionando el rendimiento con su respectiva época de siembra. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA)

para cada año, considerando un arreglo factorial con dos factores, bajo un diseño de bloques al azar, donde las repeticiones o bloques estuvieron representadas por los lotes de siembra en cada unidad de producción considerada para el estudio, con manejo agronómico y condiciones edafoclimáticas homogéneas y los factores fueron las épocas de siembra y los cultivares.

CUADRO 1. Cultivares de maíz que participaron en el período del estudio, color de grano, y empresa obtentora.

| Entrada | Cultivar | Años incluidos | Color de grano | Empresa obtentora del cultivar |
|---------|-----------------|----------------|----------------|---|
| 1 | C-114 | 1, 2, 3 | B | Monsanto |
| 2 | C-191 | 1, 2, 3 | B | Monsanto |
| 3 | C-580 | 1, 2, 3 | B | Monsanto |
| 4 | C-224 | 2, 3 | B | Monsanto |
| 5 | C-4004 | 2, 3 | A | Monsanto |
| 6 | C-505 | 2 | A | Monsanto |
| 7 | HIMECA-3002 | 1, 2, 3 | B | Híbridos Mejorados C.A. (HIMECA) |
| 8 | HIMECA-92-1 | 1, 2, 3 | B | Híbridos Mejorados C.A. (HIMECA) |
| 9 | HIMECA-2000 | 1 | B | Híbridos Mejorados C.A. (HIMECA) |
| 10 | P-30B87 | 1, 2, 3 | B | Pioneer de Venezuela |
| 11 | P-30F94 | 1, 2, 3 | B | Pioneer de Venezuela |
| 12 | P-3086 | 1, 2 | B | Pioneer de Venezuela |
| 13 | P-30R92 | 2 | B | Pioneer de Venezuela |
| 14 | P-3041 | 2, 3 | A | Pioneer de Venezuela |
| 15 | SEFLOARCA-02 | 1, 2, 3 | B | Semillas Flor de Aragua C.A. (SEFLOARCA) |
| 16 | SEFLOARCA-98 | 1, 2 | B | Semillas Flor de Aragua C.A. (SEFLOARCA) |
| 17 | SK-198 | 1, 2, 3 | B | Semillas Híbridas de Venezuela C.A (SEHIVECA) |
| 18 | TOCORON-350 | 1, 2 | B | Semillas Aragua (SEMARA) |
| 19 | TOCORON-370 | 1, 2, 3 | B | Semillas Aragua (SEMARA) |
| 20 | TOCORON-528 | 1, 2, 3 | B | Semillas Aragua (SEMARA) |
| 21 | PORTUGUESA-2002 | 1, 3 | B | Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) |
| 22 | INIA-QPM-2 | 2 | B | Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) |
| 23 | DANAC-2002 | 1 | B | Fundación para la Investigación Agrícola DANAC |
| 24 | DANAC-9006 | 2, 3 | B | Fundación para la Investigación Agrícola DANAC |
| 25 | HS-9 | 1 | B | Semillas Cristiani Burkard S. A. |
| 26 | HS-11 | 1 | B | Semillas Cristiani Burkard S. A. |
| 27 | HS-13 | 1, 2 | B | Semillas Cristiani Burkard S. A. |
| 28 | HR-363 | 3 | B | Productora de Semillas (PROSEMILLAS) |
| 29 | FUNIP-5 | 1, 3 | B | Fundación para la Investigación Agrícola y la Promoción Tecnológica (FUNIAPROT) |
| 30 | CHORO-1 | 2 | B | Agropecuaria "El Choro" |
| 31 | SV-353 | 1 | B | Semillas Valle |
| 32 | MEZCLA | 2 | B | Mezcla de diferentes cultivares |

1, 2 y 3, hace referencia a los años 2001, 2002 y 2003, respectivamente.

A y B, significan cultivares de maíz de grano amarillo y blanco, respectivamente.

En el ciclo de siembra 2001, sólo se incluyeron los cultivares que tuvieron representación en las 4 épocas de siembra establecidas. Adicionalmente, se realizó un análisis combinando con los 3 años (2001 al 2003), considerando un modelo mixto con 3 factores (Años, Épocas y Cultivares); los análisis dentro de años y el combinado fueron realizados utilizando el Procedimiento GLM del SAS (SAS Institute, 2002), que permite la realización de ANOVAS con datos desbalanceados, utilizando el comando Random para la estimación de los componentes de varianza de cada fuente de variación, lo cual facilitó la determinación del divisor apropiado para cada efecto considerado en el modelo.

En la derivación de los cuadrados medios esperados y para la realización de las pruebas de F, las épocas y cultivares se consideraron efectos fijos, mientras que las repeticiones, años y las interacciones con años fueron considerados efectos aleatorios. El término de error apropiado para cada fuente de variación establecida en el modelo, estuvo basado en las esperanzas de los cuadrados medios. Previo a la realización del ANOVA se comprobaron los supuestos básicos, conforme a Steel y Torrie (1988). Finalmente, se realizó un análisis de regresión, para determinar el efecto de las épocas de siembra sobre el rendimiento de grano, utilizando las medias de las repeticiones obtenidas en cada época de siembra establecida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza individual realizado para los años 2001 al 2003 detectó diferencias altamente significativas para la interacción cultivares por épocas en todos los años, lo cual significa que el efecto de las épocas de siembra sobre el rendimiento de grano no fue igual en los diferentes cultivares considerados en el estudio (Cuadro 2). En las Figuras 1, 2 y 3, construidas sólo con los cultivares que fueron registrados al menos durante 3 de las 4 épocas establecidas en el estudio, se observa el comportamiento de los cultivares a través de las épocas de siembra, donde se evidencia la respuesta diferencial de los mismos, lo que era de esperarse, dada la diversidad de los cultivares muestreados.

No obstante, en dichas Figuras, de manera general, se evidencia que todos los materiales presentaron la misma tendencia a disminuir el rendimiento en la medida que se avanza en las épocas de siembra. También se detectó diferencias estadísticas importantes ($P \leq 0,01$) para el efecto principal de los 2 factores en estudio, lo que sugiere que al menos 2 de los cultivares y 2 de las épocas fueron diferentes en la media de los rendimientos mostrados. En los 3 años de estudio, los análisis de varianza determinaron que el rendimiento del cultivo estuvo altamente influido por las fechas de siembra en la región (Cuadro 2).

CUADRO 2. Cuadrados medios del análisis de varianza realizado sobre el rendimiento en grano de maíz, para los años 2001 al 2003.

| Fuente de Variación | Año 2001 | | Año 2002 | | Año 2003 | |
|---------------------|----------|-------------|----------|------------|----------|------------|
| | GL | | GL | | GL | |
| Repeticiones | 2 | 833298 ** | 36 | 511329 * | 14 | 3120593 ** |
| Épocas | 3 | 28807170 ** | 3 | 3918104 ** | 3 | 9133568 ** |
| Cultivares | 21 | 1294332 ** | 24 | 2930220 ** | 18 | 997272 ** |
| Cultivares*Época | 60 | 447992 ** | 40 | 1221292 ** | 16 | 1638880 ** |
| Error | 152 | 43278 | 529 | 127650 | 167 | 88168 |
| R ² | | 0,96 ** | | 0,69 ** | | 0,89 ** |
| CV(%) | | 5,68 | | 16,47 | | 7,79 |

GL = representan los grados de libertad del análisis de varianza realizado para cada año.

R²= Coeficiente de determinación del modelo lineal utilizado

* y ** Indica diferencias significativas a 5% y 1%, respectivamente.

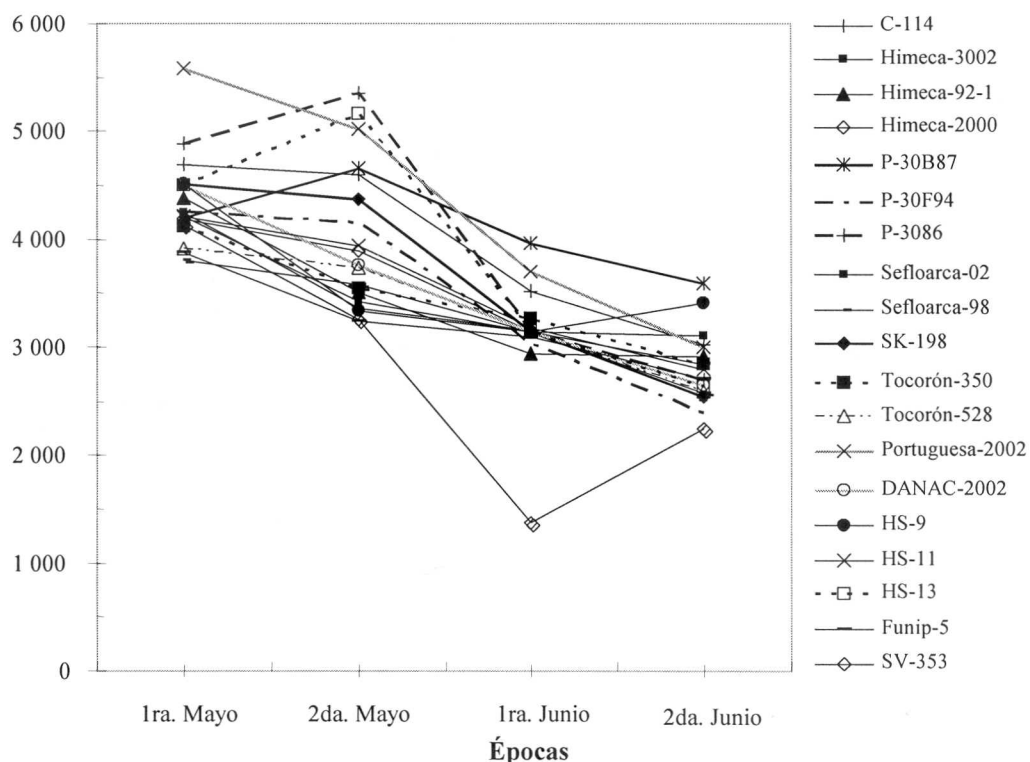


FIGURA 1. Rendimiento de maíz según la época de siembra registrado en diferentes cultivares establecidos en los Llanos Occidentales de Venezuela en el ciclo de siembra 2001.

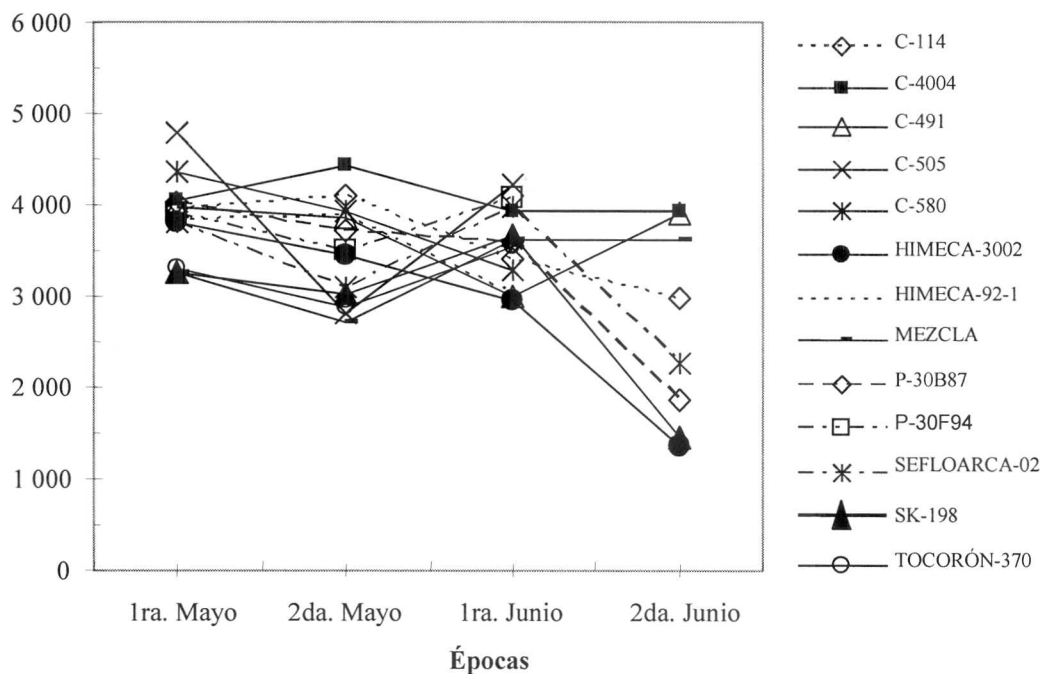


FIGURA 2. Rendimiento de maíz según la época de siembra registrado en diferentes cultivares establecidos en los Llanos Occidentales de Venezuela en el ciclo de siembra 2002.

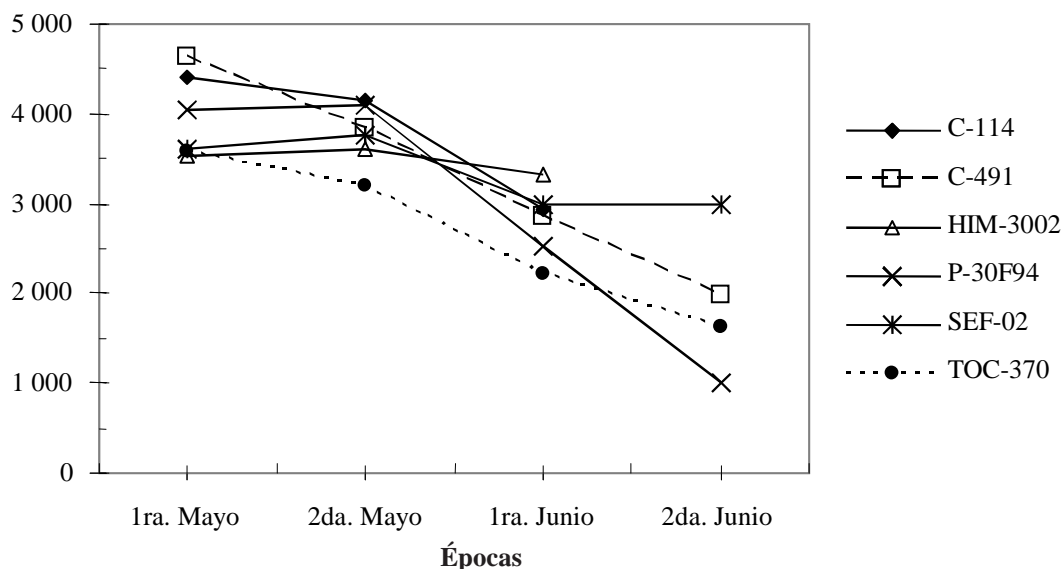


FIGURA 3. Rendimiento de maíz según la época de siembra, registrado en diferentes cultivares establecidos en los Llanos Occidentales de Venezuela, en el ciclo de siembra 2003.

En el análisis realizado con los 3 años en conjunto se encontró diferencias estadísticas importantes ($P \leq 0,01$) para la interacción de segundo orden AñoXCultivares XÉpoca, lo cual implica que el comportamiento de los cultivares a través de las épocas no fue igual en los 3 años estudiados, por lo que dicho comportamiento tiene que ser estudiado en cada año en particular (Cuadro 3). Las interacciones de primer orden AñoXCultivar y AñoXÉpoca también resultaron altamente significativas, indicando que el rendimiento de grano de los cultivares y el observado en las épocas de siembra varió a través de los años, lo que también sugiere que el análisis de los efectos simples de ambos factores tiene que realizarse en cada año en particular (Cuadro 3).

Los resultados de los análisis de varianza sugieren que durante los tres ciclos de siembra considerados en este estudio, el rendimiento de maíz en la zona se vio altamente afectado por las fechas de siembra. Swanson y Wilhem (1996) encontraron que las siembras realizadas antes o después de la fecha óptima de siembra resultaban en una reducción significativa del índice de área foliar, de la producción de materia seca total y del rendimiento. Igualmente encontraron que los rendimientos del maíz se redujeron más rápidamente cuando la fecha de siembra se retardó que cuando ésta se efectuó más temprana. Los resultados encontrados en el estudio corroboran la importancia de definir las fechas óptimas de siembra en el cultivo del maíz.

CUADRO 3. Cuadrados medios y valores de F del análisis de varianza realizado sobre el rendimiento en grano de maíz, según el combinado de 3 años.

| Fuente de variación | Grados de libertad | Cuadrados Medios | F |
|----------------------|--------------------|------------------|----------|
| Año | 2 | 6383419 | 61,01 ** |
| Repetición / Año | 52 | 1226206 | 11,72 ** |
| Época | 3 | 27333934 | 13,19 ** |
| Cultivares | 31 | 2308001 | 2,49 ** |
| Cultivares*Época | 72 | 802999 | 0,84 |
| Año*Época | 6 | 2072448 | 19,81 ** |
| Año*Cultivares | 31 | 928881 | 8,88 ** |
| Año*Cultivares*Época | 42 | 953611 | 9,11 ** |
| Error | 849 | 104628 | |
| | R ² | 0,81 ** | |
| | CV(%) | 13,78 | |

R²= Coeficiente de determinación del modelo lineal utilizado.
 ** Indica diferencias significativas al 1%.

En las zonas templadas, por ejemplo, Otegui *et al.* (1995) demostraron que el potencial de rendimiento del maíz parece estar más limitado por la cantidad de radiación solar disponible cerca del período de floración (determinante del número de granos en la mazorca) que la disponible durante el llenado del grano (determinante del peso del grano). Por otro lado, Bergamaschi *et al.* (2004) indican que el maíz por ser una especie de metabolismo C4, tiende a expresar su máxima productividad cuando la etapa de máxima área foliar coincide con una mayor disponibilidad de radiación solar, siempre que no haya déficit hídrico.

La prueba de medias realizada para las 4 épocas, tanto para los años 2001, 2002 y 2003, así como también para comparar el rendimiento considerando los años en conjunto, determinaron diferencias significativas entre las diferentes épocas estudiadas (Cuadro 4). En todos los años, la mejor época de siembra coincidió con la primera quincena de mayo, en donde se obtuvieron los rendimientos más altos; no obstante, en el año 2003, los rendimientos observados en todo el mes de mayo no fueron estadísticamente ($P \leq 0,05$) diferentes entre sí, hallándose sólo diferencias entre estas épocas y las correspondientes al mes de junio, lo cual difiere de lo observado en los otros 2 años, en donde los rendimientos registrados en la primera quincena de mayo superaron significativamente a los niveles de productividad registrados en las épocas restantes (Cuadro 4). Estas diferencias observadas pueden atribuirse a las diferencias climáticas presentes entre los 3 años considerados en este estudio (Figuras 4 y 5).

De manera general, en el Cuadro 4 también se observa que los niveles de productividad en el año 2001 fueron mayores a los observados en los otros 2 años, todo lo cual podría deberse a que en el 2001 las condiciones de clima fueron mucho más favorables para el desarrollo del cultivo.

Las precipitaciones ocurridas, en el ciclo de desarrollo del cultivo, en el año 2001, fueron menos abundantes y estuvieron mejor distribuidas que en el 2002 y 2003 (Figura 4). De igual manera, los meses de junio a agosto del año 2001 presentaron, en promedio, alrededor de 2 horas más de brillo solar comparado con el 2002 y 2003 (Figura 5). Esto significa que en el ciclo de cultivo de 2001 la etapa de máxima área foliar del cultivo contó con mayor disponibilidad de insolación, lo cual se traduce en una mayor eficiencia fotosintética en la planta y por ende en mayor producción de materia seca que posteriormente pudo trasladarse al grano, tal como lo establecido por Bergamaschi *et al.* (2004).

CUADRO 4. Media del rendimiento de maíz obtenida para cada época de siembra, en los años 2001 al 2003 y según el combinado a través de los años.

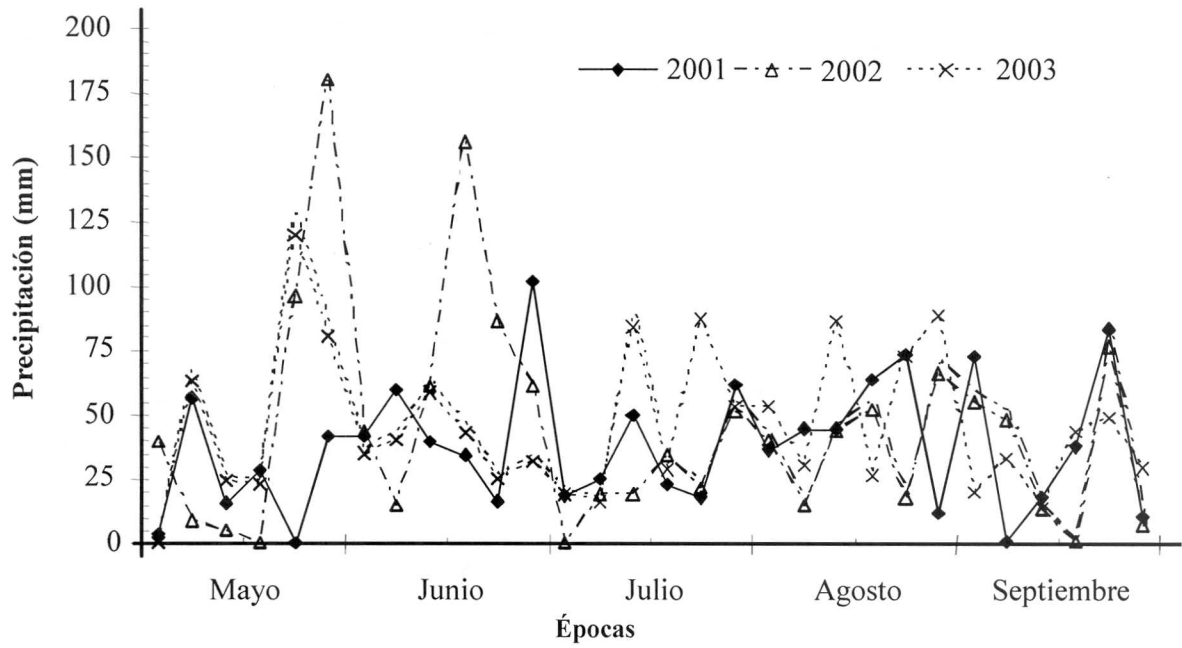
| Épocas | Año 2001 | Año 2002 | Año 2003 | Combinado |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1ra. Mayo | 4399 a | 3967 a | 4077 a | 4070 a |
| 2da. Mayo | 3996 b | 3569 b | 4044 a | 3716 b |
| 1ra. Junio | 3123 c | 3534 b | 3041 b | 3313 c |
| 2da. Junio | 2803 d | 2938 c | 1871 c | 2629 d |
| Media | 3580 | 3502 | 3258 | 3432 |
| MDS | 100,99 | 289,57 | 206,63 | 142,78 |

Letras iguales indican diferencias no significativas entre las épocas para cada año.

MDS = Mínima diferencia significativa a 5%.

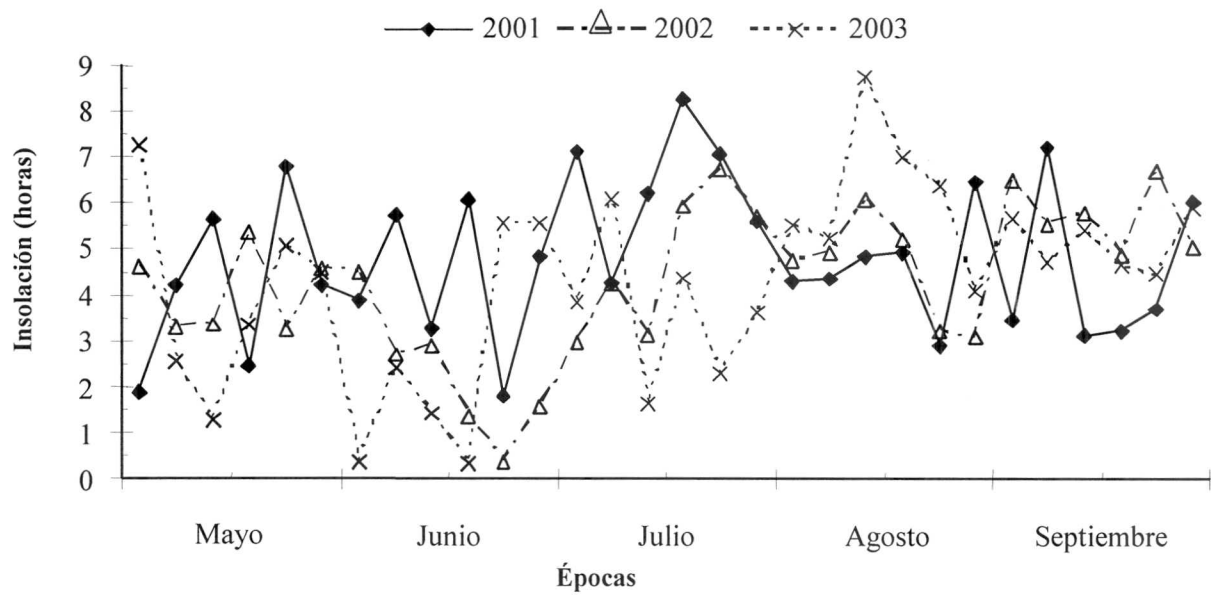
En la Figura 4 también se observa que en el año 2002 se presentó un período de sequía aproximadamente entre los días 10 al 25 del mes de mayo, lo cual determinaría los menores promedios de rendimientos mostrados en la segunda quincena de mayo de ese año, comparado con el 2001 y 2003. Del mismo modo, los niveles más bajos de productividad observados en la segunda quincena de junio de 2003, pudieron ser originados por los mayores niveles de precipitación registrados entre julio y parte de agosto, aunado a una menor disponibilidad de horas de brillo solar en dicho período de ese año, comparado con lo observado en el 2001 y 2002 (Figuras 4 y 5).

De acuerdo con los resultados del análisis combinado, en promedio se observó una merma en rendimiento de alrededor de 750 kg (18,60%) entre la primera quincena de mayo y la primera quincena de junio, mientras que respecto de la segunda quincena de junio la merma fue de aproximadamente 1440 kg ha⁻¹, que representa un 35,4%. Entre la segunda quincena de mayo y la primera quincena de junio hubo una reducción de aproximadamente un 10,8% (403 kg ha⁻¹) y entre la segunda quincena de mayo y la segunda quincena de junio alcanzó cerca del 30% (1087 kg ha⁻¹) (Cuadro 4). En los 3 años estudiados se observó una clara tendencia a disminuir los rendimientos cuando se avanza en la época de siembra.



Fuente: Estación Metereológica del INIA, Turén estado Portuguesa.

FIGURA 4. Precipitación media mensual registrada en Turén en los años 2001 al 2003.



Fuente: Estación Metereológica del INIA, Turén estado Portuguesa.

FIGURA 5. Insolación media mensual en Turén desde 2001 al 2003.

El análisis de regresión determinó que para el año 2001 la merma del rendimiento fue de alrededor de 565 kg ha⁻¹, cuando se pasa de una época a la siguiente (Figura 6). Esta disminución del rendimiento al pasar de una época a otra se ubicó en aproximadamente 263 kg ha⁻¹ en el año 2002 (Figura 7), que representa cerca de un 50% menor a la observada en el año anterior, mientras que en el ciclo de siembra de 2003 la pérdida fue de aproximadamente 772 kg ha⁻¹.

Esta disminución en la pérdida del rendimiento, al avanzar en las fechas de siembra en el año 2002, se debió a la poca diferencia en los rendimientos observados en las 3 primeras épocas de siembra. Al analizar en forma conjunta los 3 años considerados en el estudio, se encontró que hay un promedio de reducción del rendimiento de alrededor de 340 kg cuando se pasa de una época a la siguiente (Figura 9).

En todos los años y en el combinado por años, la regresión fue altamente significativa y el modelo explicó una alta proporción de la variación observada en el rendimiento (Figuras 6 a la 9). Estos resultados ponen de manifiesto la alta influencia que tiene el clima sobre los rendimientos del cultivo del maíz, sobre todo la cantidad y distribución de las precipitaciones. En este sentido Benacchio *et al.* (1988) señalan que en áreas tropicales, el régimen de precipitaciones, y en consecuencia la humedad tanto edáfica como atmosférica son los mayores responsables de la variación de rendimientos que se observa, aún dentro de una misma zona.

La humedad, además de su efecto directo sobre la producción, afecta en forma indirecta la insolación y otros factores ambientales, en particular la radiación neta, disponible para los procesos vitales de la planta. De acuerdo a Comerma y Paredes (1978), en las áreas tropicales el factor precipitación es el que realmente caracteriza a la vasta gama de ecosistemas, aún a una misma altitud sobre el nivel del mar.

CONCLUSIONES

- Los rendimientos de maíz estuvieron altamente influidos por los años, los cultivares y por la época de siembra.
- La disminución media del rendimiento en función de la época de siembra fue mayor en el año 2003 que en los otros 2 años, pero los rendimientos del año 2001 fueron significativamente superiores a los observados en el año 2003.
- La mejor época de siembra para la región de los Llanos Occidentales de Venezuela correspondió al mes de mayo.
- En promedio, el rendimiento de maíz se reduce en aproximadamente 340 kg ha⁻¹ cuando se pasa de una época a la siguiente.

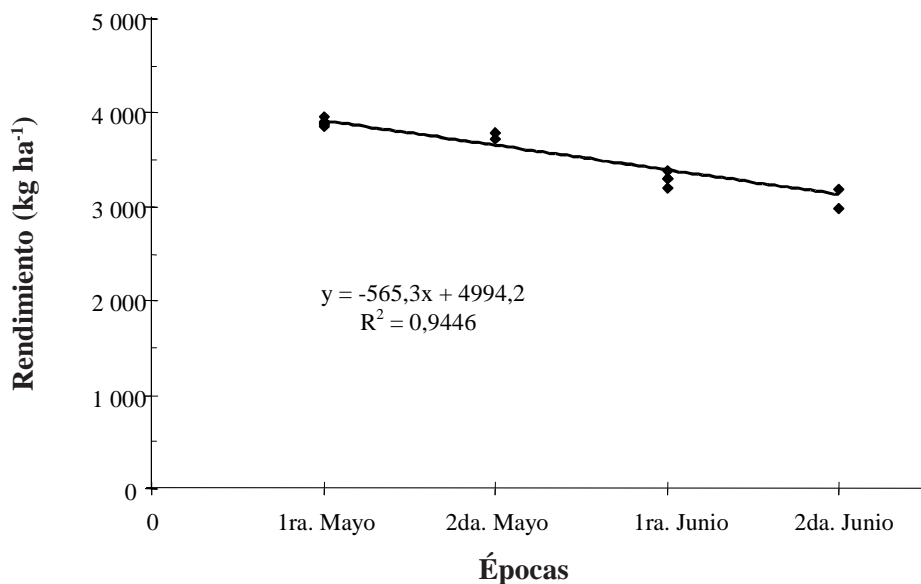


FIGURA 6. Rendimiento de maíz según la época de siembra en el año 2001.

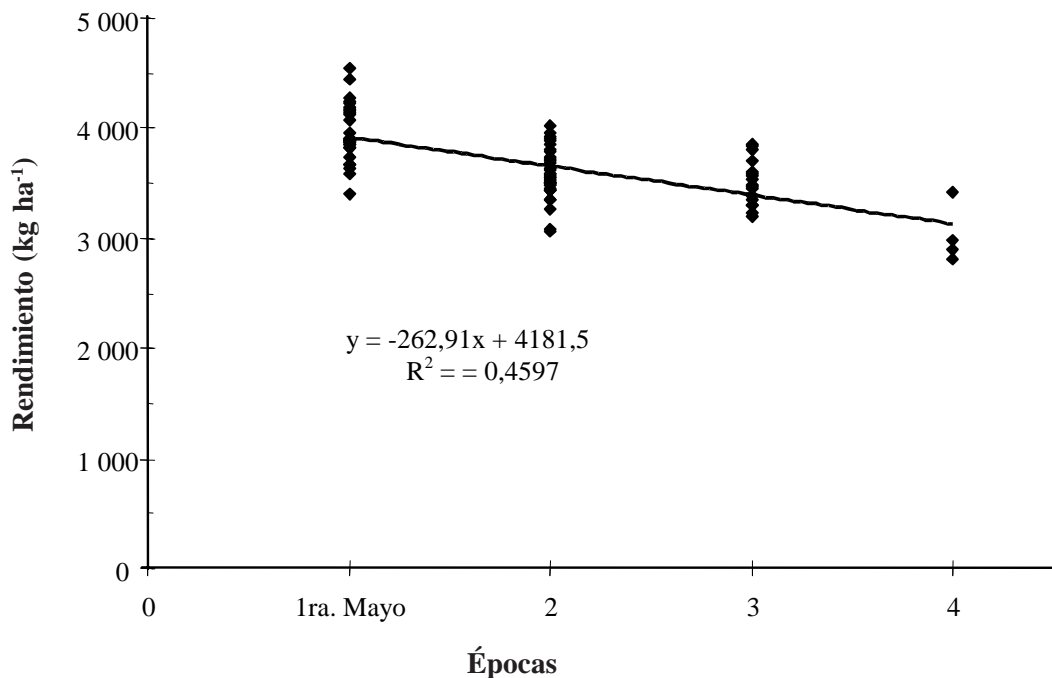


FIGURA 7. Rendimiento de maíz según la época de siembra en el año 2002.

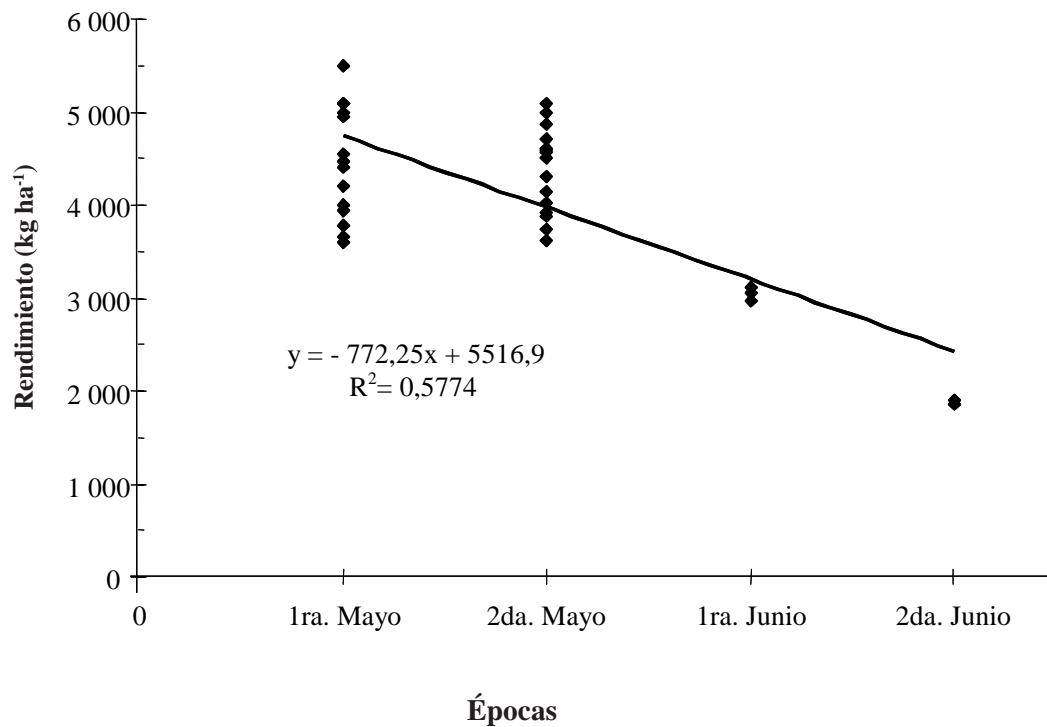


FIGURA 8. Rendimiento de maíz según la época de siembra en el año 2003.

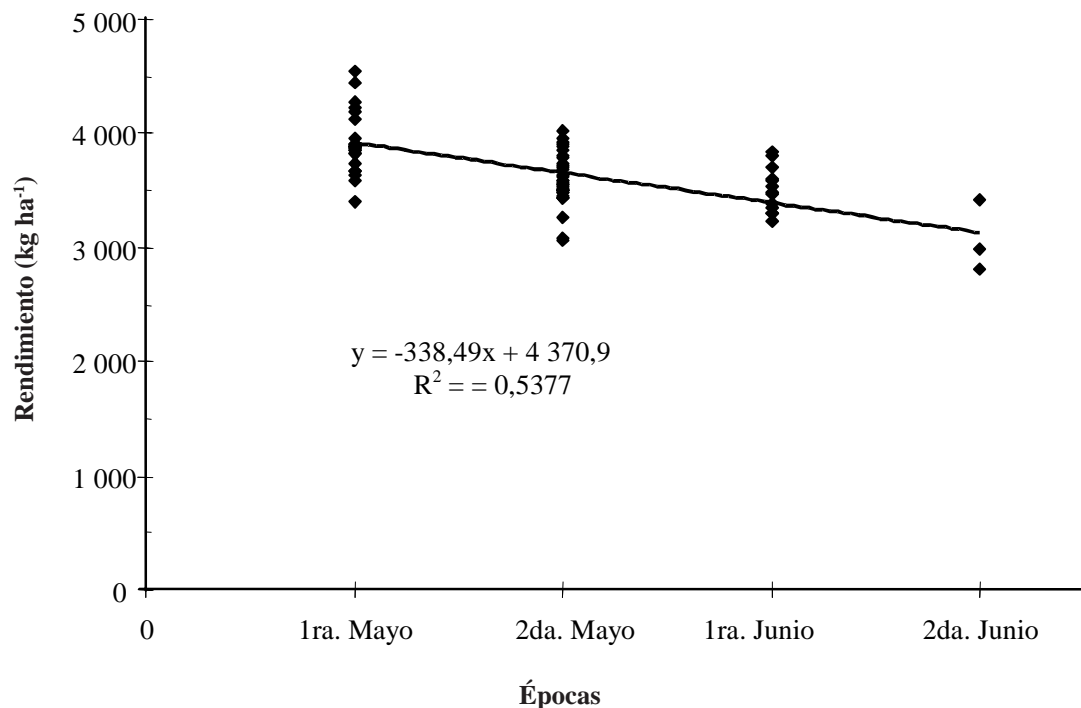


FIGURA 9. Rendimiento de maíz según la época de siembra en los años 2001 al 2003.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a la Asociación de Productores Rurales del estado Portuguesa (ASOPORTUGUESA), especialmente al Departamento Técnico por el apoyo brindado y permitirnos utilizar la información generada por dicho Departamento para realizar el trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Allison, J. and T. Daynard. 1979. Effect of change in time of flowering, induced by altering photoperiod or temperature, on attributes related to yield in maize. *Crop Sci.* 19:1-14.
- Benacchio, S., R. Cañizales, A. Bejarano, W. Avilan y W. Cánchica. 1988. Zonificación agroecológica del cultivo de maíz (*Zea mays*) en el país. FONAIAP. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela. 44 p. (IIAG. Serie C, N° 10-26).
- Bergamaschi, H., G. Daimago, J. Bergonci, B. C. Menegassi, A. Müller, F. Cominan e H. B. Machado. 2004. Distribuição hidrica no periodo critico do milho e produção de grãos. *Pesq. Agropec. Bras.* 39(9):831-839.
- Bolaños, J. y G. Edmeades. 1993. La fenología del maíz. **In:** Síntesis de resultados experimentales del PRM 1992. Vol. 4, 251-261.
- Brito, P. y J. de Brito. 1983. Caracterización agroclimática de la región de los Llanos Occidentales de y sus relaciones con el ciclo del maíz. FONAIAP - CENIAP. Maracay.
- Cabrera, S. y P. García. 2003. Evolución del cultivo del Maíz en Venezuela. Cabrera S. (Ed.). INIA, ASOPORTUGUESA. Araure, Portuguesa. 54-67 p.
- Comerma, J. y R. Paredes. 1978. Principales limitaciones y potencial agrícola de las tierras en Venezuela. *Agronomía Trop.* XXVIII(2):71-85.

- García T. e N. Villa Nova. 1995. Épocas de plantío de milho em função das deficiências hídricas no solo em Camará -PR. *Pesq. Agropec. Bras.* 30(4):505-514.
- Martello, M. 1995. Los análisis probabilísticos y las imágenes de satélites en el pronóstico de lluvias en Venezuela. **In:** III Curso de Actualización en Maíz. Fundación DANAC.
- Muchow, R. and P. Carberry. 1989. Environment control of phenology and leaf growth in a tropically-adapted maize. *Field Crops Res.* 20:221-236.
- Otegui, M., M. Nicolini, R. Ruiz and P. Dodds. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agron. J.* 87:29-33.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT 9 user's guide. SAS Inst., Cary, NC.
- Steel, R. y J. Torrie. 1988. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. 2da edición, McGraw-Hill /Interamericana, México. 622 p.
- Swanson, S. P. and W. W. Wilhelm. 1996. Planting date and residue rate effects on growth, partitioning, and yield of corn. *Agron. J.* 88:205-210.

EVALUACIÓN DE ATRAYENTES ORGÁNICOS PARA LA CAPTURA DE ADULTOS DE *Opsiphanes cassina* FELDER, DEFOLIADOR DE LA PALMA ACEITERA

EVALUATION OF ORGANIC ATTRACTANTS TO CATCH ADULT *Opsiphanes cassina* FELDER, OIL PALM DEFOLIATOR

Gladys Rodríguez*, Ramón Silva-Acuña*, Renny Barrios Maestre*, Asdrúbal Díaz*, Rafael Cásaes**, Eutimio González** y Emilio Milano*.

* Investigadores. INIA Monagas. Apdo. Postal 184 Z.P.201. Maturín, estado Monagas. Venezuela.
E-mail: grodriguez@inia.gob.ve; rsilvacuna@inia.gob.ve

** Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Zoología Agrícola.
Apdo. 4579. Maracay 2101-A, estado Aragua. Venezuela.

RESUMEN

Con el propósito de evaluar la eficiencia de atrayentes para la captura de adultos de *Opsiphanes cassina*, fueron conducidos dos ensayos donde se evaluó una formulación básica compuesta de: melaza, levadura y urea, en las dosis de 1 litro (l), 15 g y 10 g, respectivamente. Para el primer ensayo se evaluaron los siguientes tratamientos: Testigo (mezcla de 1 l de melaza + 150 g levadura); y otros 5 tratamientos representados por la fórmula básica diluida en 1,00; 0,75; 0,50; 0,25 y 0,00 l de agua. El segundo ensayo fue similar al primero, pero se incorporó un tratamiento con la fórmula básica disuelta en 1,25 l de agua. Se colocó 100 ml del atrayente en un recipiente de 250 cc, en una trampa consistente de una bolsa plástica transparente de 1,00 m de altura y 0,60 m de ancho. Los ensayos se efectuaron en la Agropecuaria El Águila de la Empresa Palmonagas y se evaluaron con frecuencias de 2 a 4 días. Los tratamientos fueron distribuidos en el diseño bloques al azar con 4 repeticiones. Los valores de captura se transformaron en mariposas/trampa/día, permitiendo determinar la fluctuación poblacional del insecto en los ensayos; los mismos se analizaron estadísticamente y se compararon por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Se constató que los tratamientos constituidos por la fórmula básica diluida en 1,00 ó 0,75 l de agua presentaron las mayores capturas y no difirieron estadísticamente. Se recomienda incorporar estos tratamientos en un programa de manejo integrado del insecto.

Palabras Clave: Manejo integrado; *Elaeis guineensis* Jacq; trampa; *Opsiphanes cassina*; melaza; levadura, urea.

SUMMARY

In order to evaluate the efficiency of some attractants for the capture of adults of *Opsiphanes cassina*, two experiments were carried out, in which a basic formulation of molass, yeast and urea were evaluated, in doses of 1 liter, 15 g and 10 g, respectively. In the first experiment the following treatments were evaluated: control (a mixture of molass + 150 g of yeast) and five additional treatments, with the basic formulation diluted into 1.00; 0.75; 0.50; 0.25 and 0.00 liters of water. The second experiment was similar to the first one, but it had one more treatment, represented by the basic formula dissolved in 1.25 liters of water. 100 ml of each attractant in a recipient of 250 cc were placed in a trap consisting of a transparent plastic bag of 1.00 m high and 0.60 m wide. The experiments were conducted at the Agropecuaria El Aguila, of the Palmonagas Company and they were evaluated with frequencies from two to four days. The treatments were arranged in a random block design with four replications. The values of capture were transformed in moths/trap/day to determine the insect population fluctuation in the essays, this values were analyzed statistically and their mean compared using the Tukey test at 5% of probability. The treatments with the basic formulation, with 1.00 or 0.75 liters of water, shown the largest captures, and there were not statistical differences between them. This mix can be used in a program of Integrated Pest Management.

Key Words: Integrated pest management; *Elaeis guineensis* Jacq; *Opsiphanes cassina*; trap; molasses; yeast; urea.

INTRODUCCIÓN

El aceite de palma aceitera representa más del 90% de la producción de oleaginosas en Venezuela; por ello, es considerada la primera fuente de materia prima para el abastecimiento nacional de aceites y grasas vegetales (Bustamante, 2002; Boada, 2002). El cultivo muestra una serie de ventajas comparativas frente a cultivos tradicionales oleaginosos, especialmente en lo que se refiere a su alta productividad, que alcanza de 4 a 6 t de aceite/ha, y que supera en aproximadamente 10 veces la producción de soya y girasol (Díaz y Barrios, 2002; González *et al.*, 1999).

Las grandes extensiones de las plantaciones de palma aceitera conforman áreas muy amplias dedicadas al monocultivo, susceptibles a múltiples problemas fitosanitarios, entre ellos, reviste importancia económica el lepidóptero *Opsiphanes cassina*, que por su elevada capacidad defoliadora, puede originar considerables daños en la planta en poco tiempo (Chinchilla, 2003; Cenipalma, 2000; Aldana *et al.*, 1999).

Para *O. cassina* los métodos de control son ocasionalmente necesarios (Howard *et al.*, 2001) y van dirigidos a los adultos, a las larvas o a ambos. El manejo de sus poblaciones se basa principalmente en la integración de medidas de control mecánico, etológico y biológico, lográndose un control eficiente, económico y seguro para el ambiente. Para aplicar las medidas de control es indispensable mantener una vigilancia fitosanitaria permanente, que detecte los focos iniciales de la plaga (Chung *et al.*, 1996; Zenner y Posada, 1992; Genty *et al.*, 1978).

Dentro de las medidas que tienen efecto sobre el comportamiento de *O. cassina*, probablemente los atraentes en combinación con las trampas de adultos, constituyen la herramienta más eficaz para el seguimiento y control de sus poblaciones desde la perspectiva del manejo integrado de plagas, debido a que los adultos son fuertemente atraídos por fuentes carbohidratadas y proteicas (Chinchilla, 2003).

Actualmente, se está generalizando el uso de la trampa sugerida por Loria *et al.* (2000 a,b) para el control de los adultos de *O. cassina*, en trampeos masivos, que también puede utilizarse en el monitoreo para la determinación de los períodos de emergencia de adultos y de la dinámica poblacional. Del mismo modo, los señalados autores recomiendan como atrayente a la melaza (100 ml) combinada con levadura (15 g).

Desde 1989, defoliaciones importantes de *O. cassina*, han sido observadas en Palmonagas C.A., en las localidades de El Zamuro y Vuelta Larga del estado Monagas, Venezuela (Díaz *et al.*, 2000). También este insecto se ha presentado en intensos ataques en la C.A. Bananera Venezolana, en el municipio Veroes, estado Yaracuy (Perdomo *et al.*, 1996; Fonaiap, 1991) y en Palmeras Diana del Lago C.A., estado Zulia (Damas, 1996).

Debido a la importancia que reviste *O. cassina* en las zonas palmeras de Venezuela, fueron conducidos 2 ensayos con el propósito de evaluar la eficiencia de una formulación básica compuesta de: Melaza (1l), levadura (15 g) y urea (10 g), en diferentes diluciones para la captura de adultos del insecto, con la finalidad de disponer de alternativas económicas y sin riesgos ecológicos, que puedan incorporarse en Programas de Manejo Integrado de plagas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: los ensayos se realizaron en la plantación El Águila, la cual pertenece a la Empresa Palmeras de Monagas CA (Palmonagas) localizada a 9° 33' 59" N y 62° 55' 22" O, a la altitud de 36 m. Esta ubicada en la jurisdicción del municipio Maturín, a 28 km al este de la alcabala de Veladero. Esta plantación posee 1 550 ha de palma aceitera, sembradas con los materiales genético Deli x Avros, provenientes de Costa Rica y Colombia y Deli x La Mé del África, establecidas en 1990, 1991 y 1992; plantadas en tresbolillo a una distancia de 9 x 9 m.

El área donde se localiza la plantación pertenece a zonas biológicas de transición entre el bosque seco tropical y el bosque húmedo tropical. Los suelos que predominan en el área estudiada son de tipo Ultisoles. Las lluvias disminuyen en el sentido noreste-suroeste, con valores de precipitación cercanos a los 1 800 mm, distribuidos de forma bimodal, caracterizado por un período lluvioso, con pico de máxima en julio y otro pico de menor magnitud en noviembre-diciembre, correspondientes a el lapso denominado "lluvias de norte". En general, la zona se caracteriza por temperaturas medias mensuales superiores a los 24 °C; la humedad relativa es alta durante todo el año, los valores se mantienen por encima del 76% (Palmonagas - Cofor, 1990).

La trampa: consiste en una bolsa plástica transparente con dimensiones de 1,00 m de altura y 0,60 m de ancho (Figura 1). La entrada de la bolsa se mantuvo parcialmente abierta, mediante un aro de alambre dispuesto

en forma ovalada, por donde las mariposas logran entrar caminando, o bien doblando sus alas y dejándose caer dentro de la misma y, debido al patrón perturbado del vuelo, no tienen posibilidad de escapar. En la parte inferior de la trampa se hicieron 3 agujeros de 7 mm de diámetro, para el drenaje en la época de lluvia, evitando de esta manera la descomposición de las mariposas. Las trampas se colocaron suspendidas en el estipe de la planta, con la entrada a una altura aproximada de 1,50 m del suelo.



FIGURA 1. Trampa utilizada para la captura de adultos de *Opsiphanes cassina* Felder.

Formulaciones atrayentes: en los 2 ensayos las trampas se cebaron con una formulación básica (FB) elaborada con 1 l de melaza, 15 g de levadura (a base de *Saccharomyces cerevisiae*), 10 g de urea en diferentes diluciones de agua corriente y un tratamiento testigo compuesto de melaza (1 l) + levadura (150 g). Esta suspensión atrayente fue desarrollada originalmente por Loria *et al.* (2000 a, b).

En este estudio se agregaron los componentes agua y urea para acelerar el proceso de fermentación de la melaza.

El primer ensayo se realizó en el área codificada A3 norte - Vía 3, y los muestreos se efectuaron desde el período comprendido entre 27 de agosto/2005 hasta el 20 septiembre/2005, con frecuencia de 3 a 4 d. En el Cuadro 1 se describen los tratamientos evaluados.

El segundo ensayo, se estableció en el área identificada como A6 norte, y los muestreos se realizaron de 2 a 4 d, con predominio de evaluaciones cada 2 d, en una situación de "brote"; entre el 05 de febrero/2006 hasta el 17 de marzo/2006.

Los tratamientos evaluados fueron similares a los del primer ensayo, en este caso sólo se incorporó un tratamiento en las mismas proporciones de la formulación básica, pero disueltas en 1,25 l de agua (denominado en este caso T7).

CUADRO 1. Tratamientos evaluados en dos ensayos para captura de *O. cassina* en plantaciones comerciales de palma aceitera.

| | Ensayo 1 | | | | Ensayo 2 | | | |
|----|----------|----------|------|--------|----------|----------|------|--------|
| | Melaza | Levadura | Urea | Agua | Melaza | Levadura | Urea | Agua |
| T1 | 1 l | 150 g | 0 g | 0 l | 1 l | 150 g | 0 g | 0 l |
| T2 | 1 l | 150 g | 10 g | 1,00 l | 1 l | 150 g | 10 g | 1,00 l |
| T3 | 1 l | 150 g | 10 g | 0,75 l | 1 l | 150 g | 10 g | 0,75 l |
| T4 | 1 l | 150 g | 10 g | 0,50 l | 1 l | 150 g | 10 g | 0,50 l |
| T5 | 1 l | 150 g | 10 g | 0,25 l | 1 l | 150 g | 10 g | 0,25 l |
| T6 | 1 l | 150 g | 10 g | 0 l | 1 l | 150 g | 10 g | 0 l |
| T7 | - | - | - | - | 1 l | 150 g | 10 g | 1,25 l |

Se utilizó en total 24 y 28 trampas para el primero y segundo ensayo, respectivamente. Se emplearon 4 trampas con cada una de las formulaciones atrayentes; las mismas fueron distribuidas al azar en el área experimental, colocándolas en el estipe de la planta, separadas por 3 palmas en las interpalmas y de 2 hileras en las interlineas.

En el interior de la trampa se introdujo un envase plástico transparente de 250 ml de capacidad, que contenía 100 ml de cada uno de los atrayentes; el envase se sujetó con un alambre para mantenerlo firme y evitar el derrame del líquido. En cada evaluación se completaba el faltante de la suspensión y se ubicaban a una nueva posición de acuerdo a asignaciones previamente aleatorizadas.

Las mariposas capturadas se separaron con base a su dimorfismo sexual, los machos son de menor tamaño y presentan un penacho de pelos en el ángulo anal de las alas posteriores así como manchas de color naranja en las alas y además, las mismas forman ángulo recto con el cuerpo cuando plegadas dorsalmente; mientras que en las hembras las manchas son amarillas y forman ángulo agudo en curvatura con el cuerpo. Se determinó el total de mariposas y el número de hembras y machos, y cada una de estas variables se expresó en MTD (mariposas/trampa/día) aplicando la fórmula: $MTD = N^{\circ} \text{ total de mariposas} / N^{\circ} \text{ trampas} \times \text{lapso evaluación (días)}$.

Para cada ensayo se determinó la fluctuación poblacional de *O. cassina* sumando en cada fecha de evaluación los resultados de las capturas de todos los tratamientos para las variables total de hembras y machos, expresados en MTD.

Método estadístico: los tratamientos fueron distribuidos en el diseño bloques al azar con 4 repeticiones. Las variables mariposas/trampa/día (MTD) fueron transformadas a la expresión $v_x + 1$ y analizados estadísticamente y, sus valores promedios comparados por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Formulaciones atrayentes: de manera general, se observó en el primer ensayo, que al aumentar la dilución de la formulación básica se incrementó la captura de hembras, machos y el total (hembras + machos), expresados en MTD. A través del análisis de varianza se constataron diferencias entre los tratamientos al 1% de probabilidad (Cuadro 2).

CUADRO 2. Análisis de varianza del total de hembras (TH); total de machos (TM) y total de hembras más machos (THM) expresados en mariposas/trampa/día (MTD) capturados en trampas con 6 suspensiones atrayentes. Agropecuaria El Águila, Monagas, Venezuela. 27 agosto - 17 septiembre/2005. (Ensayo N° 1).

| FV | Cuadrados Medios | | | |
|--------------|------------------|----------|----------|----------|
| | GL | TH | TM | THM |
| Tratamientos | 5 | 136,15** | 148,32** | 216,44** |
| Bloques | 3 | 9,02 | 3,04 | 30,80 |
| Error | 15 | 15,03 | 12,13 | 31,13 |
| CV(%) | | 67,22 | 60,85 | 75,68 |

** Significativo por la prueba de F al 1 % de probabilidad.

La comparación de las medias para cada una de las variables (Cuadro 3), indica que los tratamientos donde se empleó la formulación básica en las diluciones de 1,0 l y 0,75 l de agua presentaron los mayores valores de captura. Para el caso de la variable total de hembras (TH) el tratamiento con mayor dilución (1 l) se comportó estadísticamente igual al de 0,75 l de agua, difiriendo de los tratamientos con 0,50, 0,25, de la formulación básica sin dilución y de la mezcla propuesta por Loria et al (2000 a,b), presentando los menores valores de captura de hembras (TH). Este patrón de comportamiento estadístico se constató para las variables machos (TM) y para el total de hembras + machos (THM), siendo idéntico para estas variables, ya que guardan proporciones semejantes en los valores promedios de los tratamientos. Es importante destacar que también las mayores capturas correspondieron a los tratamientos con la formulación básica disuelta en 1,00 y 0,75 l de agua con 2 515 y 978 mariposas, respectivamente.

Análogamente para el segundo experimento, se constató diferencias significativas entre tratamientos por la prueba de "F" al 1 % de probabilidad (Cuadro 4), ratificando de esta manera la diferencia existente entre las diversas concentraciones de la formulación básica del atrayente.

Las variables TH, TM y THM presentaron similar patrón de comportamiento estadístico. Se observó que los trata-

mientos con las diluciones de 1 l y 0,75 l capturaron la mayor cantidad de mariposas. La suspensión atrayente donde la FB fue diluida en 0,5 l se comportó estadísticamente igual al tratamiento donde se mezcló 1 l de melaza y 150 g de levadura (Loria *et al.*, 2000 a, b) y difirió de la FB diluida a 1,25; 0,25 y de FB sin diluir, las cuales exhibieron los más bajos números de capturas (Cuadro 5).

En ambos ensayos se confirma la solidez de los resultados, ya que las suspensiones atrayentes fueron significativamente diferentes, verificándose el mismo patrón de comportamiento para las diluciones de la Formulación Básica, FB (1 l melaza+ 15 g levadura + 10 g urea) en 1 y 0,75 l de agua, representados en los valores de captura de las variables hembras, machos y ambos (hembras + machos); los cuales, siempre fueron superiores al resto de los tratamientos, incluyendo a la propuesta por Loria *et al.* (2000 a,b) y a la FB sin diluir.

La baja efectividad de estas mezclas, probablemente se deba a que las mismas se endurecen y pierden su poder de atracción, especialmente en la época de sequía.

En el segundo experimento se observó la inconveniencia de diluir la FB en 1,25 l de agua; en este caso, las capturas para las 3 variables disminuyeron drásticamente hasta el punto de ubicarse en los menores valores. En estos resultados se evidencia la necesidad de que

los componentes de las suspensiones atrayentes deben hallarse en volúmenes adecuados que permitan incrementar la eficiencia de la trampa.

La formulación inicialmente propuesta por Loria *et al.* (2000 a,b) de un 1 l de melaza y 150 g de levadura, fue estadísticamente inferior a la formulación básica compuesta por 1 l de melaza, 15 g de levadura y 10 g de urea, particularmente para las diluciones de 1 l y 0,75 l de agua. En relación a este comportamiento Bateman y Morton (1981), señalaron que el amoníaco (NH₃) liberado de los hidrolizados proteicos contenidos en mezclas atrayentes colocados en trampas, ejercen una fuerte atracción para algunas especies de moscas de las frutas; resultados similares fueron confirmados para la "mosca de la guayaba" *A. striata* (Rodríguez *et al.*, 2000) por lo que se supone la existencia de un efecto análogo sobre *O. cassina*.

En las mezclas de 1 l y 0,75 l de agua, la fuente nitrogenada (urea) favoreció la fermentación de los azúcares contenidos en la melaza y en consecuencia la liberación de los gases atrayentes en tasa adecuada. A pesar de que las mezclas de 1 l de melaza + 150 g levadura (propuesta por Loria *et al.*, 2000 a,b), la FB sin diluir y la FB diluida en 1,25 l de agua, tenían contenidos proteicos, probablemente no se obtuvo mejores resultados debido a que el medio acuoso no se hallaba en volúmenes apropiados que permitiera la liberación de cantidades adecuadas de amoníaco.

CUADRO 3. Comparaciones de medias del total de hembras; total de machos y total de hembras y machos expresados en mariposas/trampa/día (MTD) capturados en trampas con 6 suspensiones atrayentes. Agropecuaria El Águila, Monagas, Venezuela. 27 agosto - 17 septiembre/2005. (Ensayo N° 1).

| Tratamientos | Total de hembras | | Total de machos | | Total H y M | |
|--|------------------|----------|-----------------|---------|-------------|---------|
| | VR | VT | VR | VT | VR | VT |
| 1 l de melaza + 150 g levadura | 0,66 | 1,29 C | 1,13 | 1,46 C | 2,03 | 1,74 B |
| Formulación básica ¹ + 1,00 l de agua | 212,45 | 14,61 A | 262,74 | 16,24 A | 326,25 | 18,09 A |
| Formulación básica + 0,75 l de agua | 131,48 | 11,51 AB | 92,32 | 9,66 AB | 223,70 | 14,99 A |
| Formulación básica + 0,50 l de agua | 16,31 | 4,16 BC | 18,36 | 4,40 BC | 34,76 | 5,98 B |
| Formulación básica + 0,25 l de agua | 2,31 | 1,82 C | 0,44 | 1,20 C | 2,57 | 1,89 B |
| Formulación básica | 0,44 | 1,20 C | 0,85 | 1,36 C | 1,34 | 1,53 B |

¹ Formulación básica = 1 l de melaza + 15 g de levadura + 10 g de urea.

VR = Valores Reales VT = Valores transformados en $\sqrt{x+1}$

Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey P≤5%).

CUADRO 4. Análisis de varianza del total de hembras (TH); total de machos (TM) y total de hembras más machos (THM) expresados en mariposas/trampa/día (MTD) y transformados en $\sqrt{x+1}$. (Ensayo 2).

| FV | Cuadrados Medios | | | |
|--------------|------------------|------------|------------|-------------|
| | GL | TH | TM | THM |
| Tratamientos | 6 | 9 447,78** | 7 364,94** | 16 799,44** |
| Bloques | 3 | 559,61 | 216,50 | 744,89 |
| Error | 18 | 518,20 | 355,25 | 868,08 |
| CV(%) | 42,26 | 39,47 | 40,88 | |

Los altos valores de los coeficientes de variación (Cuadros 1 y 3), son inherentes a la estructura de los tratamientos, ya que se evaluaron diluciones muy efectivas, en las cuales, se obtuvieron cifras extremas de captura de adultos en contraste con tratamientos de muy baja efectividad.

Fluctuación poblacional

La fluctuación poblacional del total de adultos de *O. cassina* y su relación con los tratamientos y la precipitación ocurrida durante los muestreos en los dos ensayos 1 y 2 se observa en las Figuras 2 y 3, respectivamente. El lapso de presencia de adultos en el campo fue variable; en el primer ensayo fue muy corto de aproximadamente tres semanas y el período crítico (punto de máxima poblacional) ocurrió en la primera observación, a los 3 días después de instaladas las trampas, coincidiendo con el inicio de la emergencia de los adultos (Figura 2). En la mencionada Figura, se observa que antes de iniciarse la generación de adultos se produjeron 11 mm de lluvia.

En el segundo experimento, el período de emergencia de adultos duró 5 semanas, durante este lapso se detectaron 2 puntos de máxima poblacional (Figura 3), el primero sucedió a los 17 d (tercera semana) y el segundo a los 24 d (cuarta semana) después de haberse iniciado la emergencia de las mariposas. Se presentaron lluvias de 38 mm antes de expresarse la primera alza de captura de adultos, luego continuaron lluvias incipientes de 2 a 4 mm antes de ocurrir el segundo pico poblacional, posteriormente escasearon las precipitaciones hasta la culminación de la generación de adultos.

CUADRO 5. Comparaciones de medias del total de hembras; total de machos y total de hembras y machos expresados en mariposas/trampa/día (MTD). Ensayo 2.

| Tratamientos | Total de hembras | | Total de machos | | Total H y M | |
|-------------------------------------|------------------|---------|-----------------|---------|-------------|---------|
| | VR | VT | VR | VT | VR | VT |
| 1 l de melaza + 150 g levadura | 376,1 | 19,4 BC | 308,1 | 17,6 BC | 711,4 | 26,7 BC |
| Formulación básica + 1,25 l de agua | 282,3 | 16,8 C | 230,0 | 15,2 C | 513,4 | 22,7 C |
| Formulación básica + 1,00 l de agua | 15 355,2 | 123,9 A | 11 706,2 | 108,2 A | 27 069,1 | 164,5 A |
| Formulación básica + 0,75 l de agua | 13 471,2 | 116,1 A | 10 842,1 | 104,1 A | 24 328,8 | 156,0 A |
| Formulación básica + 0,50 l de agua | 3 647,2 | 60,4 B | 2 902,1 | 53,9 B | 6 556,8 | 81,0 B |
| Formulación básica + 0,25 l de agua | 1 332,7 | 36,5 BC | 1 002,6 | 31,7 C | 2 345,4 | 48,4 BC |
| Formulación básica | 14,4 | 3,9 C | 11,7 | 3,6 C | 26,0 | 5,2 C |

1 Formulación básica = 1 l de melaza + 15 g de levadura + 10 g de urea.

VR = Valores Reales VT = Valores transformados en $\sqrt{x+1}$

Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $P \leq 5\%$).

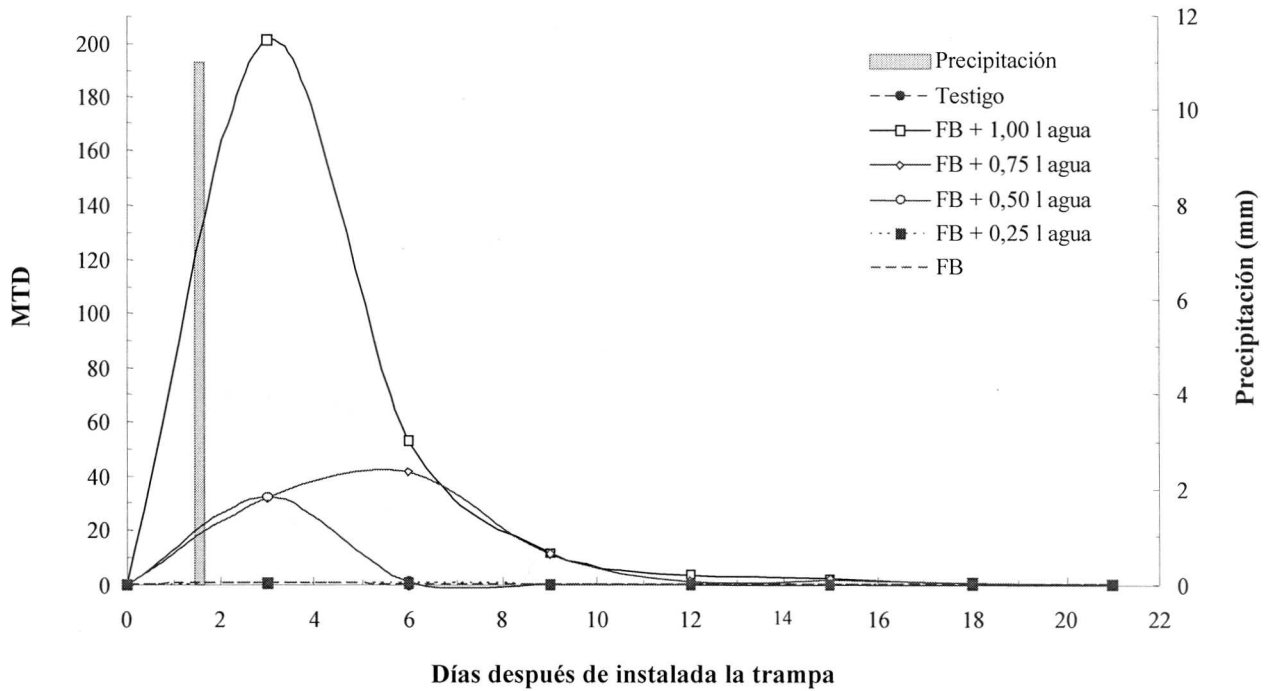


FIGURA 2. Fluctuación poblacional de adultos de *O. cassina* Felder (MTD=mariposas/trampa/día) capturados en trampas con 6 suspensiones atrayentes. Agropecuaria El Águila, Monagas, Venezuela. 27 agosto - 17 septiembre/2005. (Ensayo N° 1).

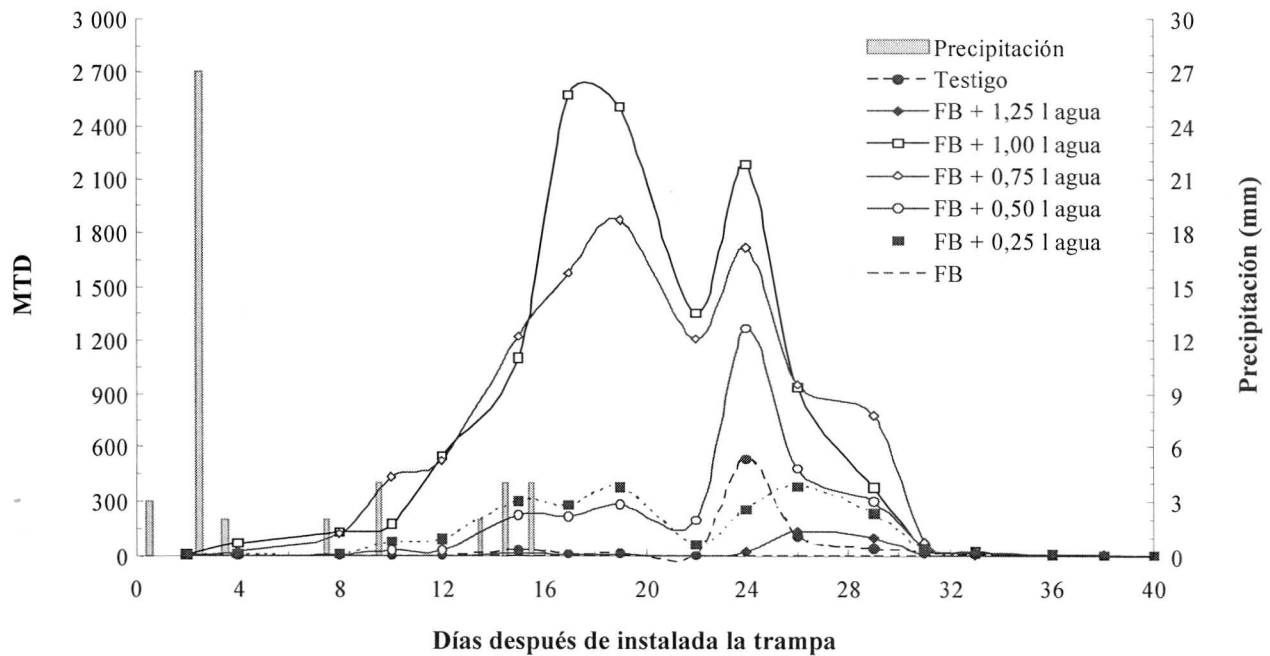


FIGURA 3. Fluctuación poblacional de adultos de *O. cassina* Felder (MTD=mariposas/trampa/día) capturados en trampas con 7 suspensiones atrayentes. Agropecuaria El Águila, Monagas, Venezuela. 05 febrero - 17 marzo/2006. (Ensayo N° 2).

En ambos ensayos, las trampas fueron colocadas precisamente antes de iniciarse el ciclo de emergencia de adultos, por lo que se pudo determinar completamente la expresión de las generaciones durante los lapsos de experimentación. Los períodos de presencia de adultos fueron muy parecidos a los lapsos señalados por Rodríguez *et al.* (2008), Rodríguez (2006), Loria *et al.* (2000 a,b) y Aldana *et al.* (1999). Los períodos críticos o puntos de máxima poblacional no concuerdan con la apreciación de dos semanas de Loria *et al.* (2000 a,b), sin embargo; coinciden con los de Rodríguez *et al.* (2008) y Rodríguez (2006), quienes señalaron que el período crítico es variable, y que en algunos casos se presenta en la cuarta o quinta semana, pero que ocurre con mayor frecuencia en la tercera semana después de la emergencia de los adultos.

En los dos experimentos, los períodos de detección del insecto en la Agropecuaria El Águila armonizan con trabajos previos realizados por Rodríguez (2006) en esta finca, donde se ha determinado que durante los meses de febrero y septiembre se han presentado alzas poblacionales, y que la precipitación es el factor desencadenante de la emergencia de los adultos.

denante de la emergencia de los adultos, por lo cual, es considerada la variable climática más importante en el crecimiento poblacional de *O. cassina*, debido a que la condición fenológica de las palmas ofrece mejor calidad de alimento para el desarrollo de las larvas.

Las fluctuaciones poblacionales para las hembras y los machos, observadas en las Figuras 4 y 5, presentan un patrón de comportamiento similar al de las Figuras 2 y 3. En general, hubo tendencia de dominancia de hembras sobre los machos en una proporción de 2,0:1,0 y 1,3:1,0 para el primer y segundo ensayo, respectivamente, este comportamiento es ventajoso, ya que las hembras son las responsables de la infestaciones iniciales en las plantas. Estos resultados no concuerdan con los señalados por Rodríguez *et al.* (2008) y Rodríguez (2006) en los que siempre se observó dominancia de los machos sobre las hembras en las diferentes plantaciones de palma aceitera donde se determinó la fluctuación poblacional de *O. cassina*. Este comportamiento podría explicarse por los cambios que ocurrirían en las poblaciones del insecto vinculados a las condiciones agroecológicas de las plantaciones.

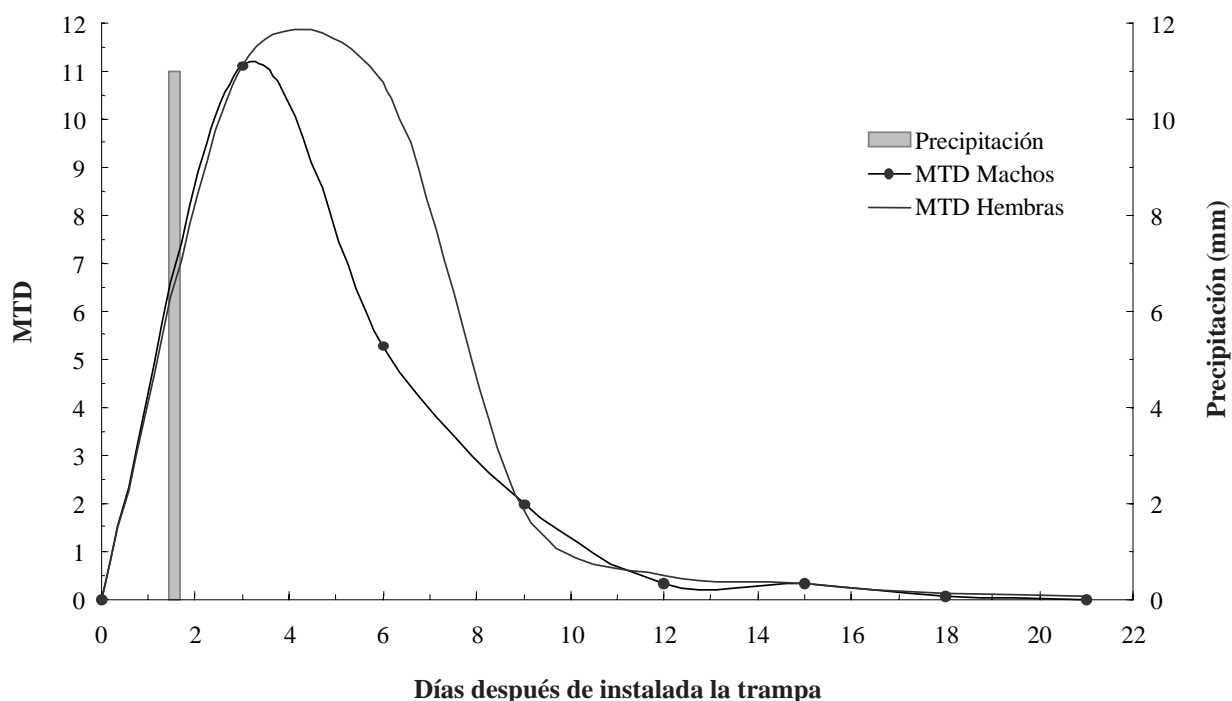


FIGURA 4. Fluctuación poblacional de adultos de ambos sexos de *O. cassina* Felder (MTD= mariposas/trampa/día) capturados en trampas. Agropecuaria El Águila, Monagas, Venezuela. 26 agosto - 17 septiembre /2005. (Ensayo N° 1).

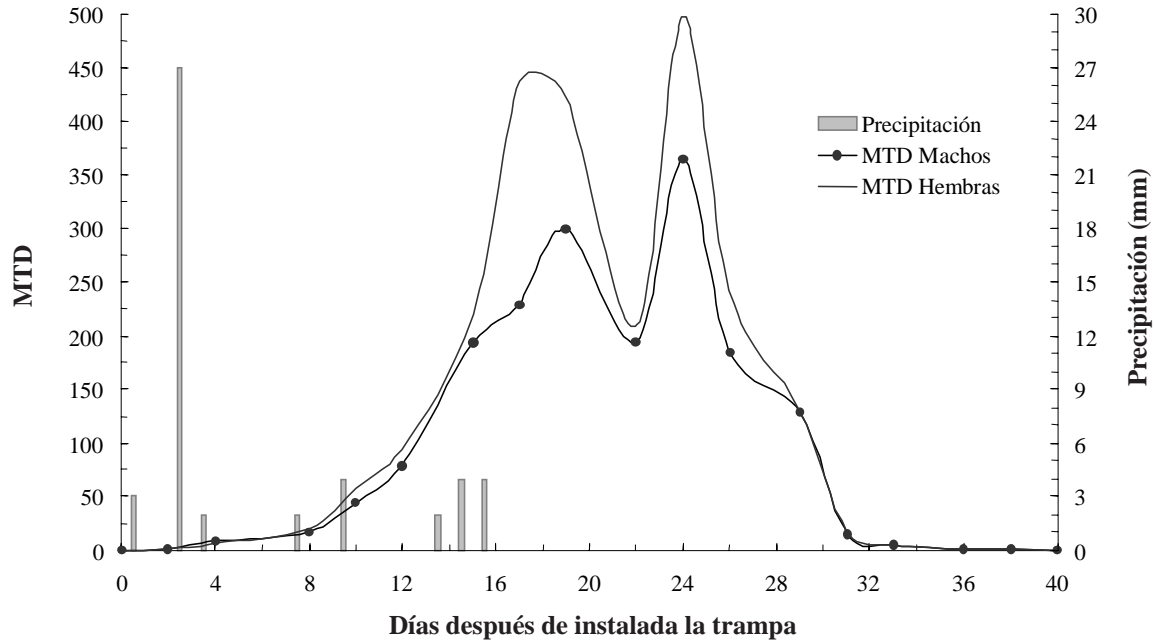


FIGURA 5. Fluctuación poblacional de adultos de ambos sexos de *O. cassina* Felder (MTD= mariposas/trampa/día) capturados en trampas. Agropecuaria El Águila, Monagas, Venezuela. 05 febrero - 17 marzo/2006. (Ensayo N° 2).

CONCLUSIONES

- Las trampas cebadas con melaza, levadura y urea, en dosis de 1 l, 15 g y 10 g, respectivamente, utilizando diluciones de 1 l ó 0,75 l de agua fueron las más eficientes en la captura de *Opsiphanes cassina*.
- Los componentes de la mezcla atrayente son de fácil adquisición, económicos y amigables con el ambiente.
- Se recomienda el monitoreo constante de las poblaciones de la plaga utilizando la trampa, el atrayente y las dosis indicadas para determinar incrementos poblacionales que puedan convertirse en un problema económico, y de esa manera incrementar la densidad de trampas a fin de realizar el control etológico de manera efectiva.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), al personal directivo de la Empresa Palmeras de Monagas CA (Palmonagas) por habernos permitido establecer los

ensayos en la plantación El Águila, y al colega Ursulino Manrique, quien siempre nos ha brindado apoyo en la misión de entregar los productos de la investigación a los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldana J. A., J. Fajardo y H. Calvache. 1999. Evaluación de dos diseños de trampas para la captura de adultos de *Opsiphanes cassina* Felder (Lepidoptera: Brassolidae) en una plantación de palma de aceite, Palmas 20(2):23-29.
- Bateman M. A. and T.C. Morton. 1981. The importance of ammonia in proteinaceous attractants for fruit flies (Family: Tephritidae), Aust J Agric Res., 32:883-903.
- Cenipalma. 2000. Plagas de la palma de aceite en Colombia. Santafé de Bogotá: Fedepalma - Cenipalma. 90 p.
- Chinchilla C. 2003. Manejo integrado de problemas fitosanitarios en palma aceitera *Elaeis guineensis* en América Central. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). 67: 69 -82.

- Chung, C., S. Sim, K. Hon y K. Ramli. 1996. Sistema de inspección y vigilancia para el manejo integrado de los gusanos comedores de follaje en palma de aceite Palmas. 17(4):51-57.
- Damas, D. 1996. Metodología de evaluación y control de insectos defoliadores de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) utilizados por palmeras Diana del Lago, C.A., estado Zulia, Venezuela. **In:** Memórias I Encuentro Nacional de Palmicultores. Acupalma, Fundesol, Fonaiap, Est. Exp. Monagas. Maturín. p. 33.
- Díaz, A. y R. Barrios. 2002. Tecnologías y experiencias del cultivo de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). **In:** Comisión de Estudios Interdisciplinarios-Rectorado UCV. Seminario Palma aceitera e Industria Oleoquímica, Industrialización, Aplicaciones y Mercado. Caracas-Venezuela. p. 29-48.
- Díaz, A., C. González, V. Villalba y G. Rodríguez. 2000. Evaluación de insectos defoliadores y de sus enemigos naturales en plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) del oriente de Venezuela, Palmas., 21:195-200. (Nº especial, tomo I).
- Díaz, A., C. González y V. Villalba. 1996. Identificación de insectos defoliadores y de sus enemigos naturales en plantaciones de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) del estado Monagas. **In:** Memorias I Encuentro Nacional de Palmicultores. Acupalma, Fundesol, Est. Exp. Monagas, Fonaiap. p. 25.
- Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP). 1991. El cultivo de la Palma Aceitera. Maracay. Ven. Fonaiap/ Fundesol. 240 p. (Serie paquetes Tecnológicos 9).
- Genty, Ph., R. Desmier De Chenon y J. P. Morin. 1978. Las plagas de la palma aceitera en América Latina, Oleagineux (número especial). 33(7):326-420.
- González, V., E. Ortiz, A. Sandoval, A. Olivera De Los Santos, E. Domínguez, L. Ávila, A. Alejo, A. Palacios y M. Coutiño. 1999. Tecnología para la producción de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. México: Inifap, Libro Técnico 4. 177 p.
- Howard, F., D. Moore, R. Giblin-Davis and R. Abad. 2001. Insects on palms. Ascot (UK): CABI Publishing. 400 p.
- Loria, R., C. Chinchilla, J. Domínguez y R. Mexzon. 2000 a. Una trampa sencilla y efectiva para capturar los adultos de *Opsiphanes cassina* F. (Lepidoptera: Nymphalidae) en palma aceitera. **In:** Memorias 2do Cong.. Lat. de Palma Aceitera. P 106-112.
- Loria, R., C. Chinchilla, J. Domínguez and R. Mexzon. 2000 b. Observations on the behavior of the pest in oil palm, ASD Oil Palm Papers., 21:1-8.
- Palmas de Monagas - Consultores Forestales [PALMONAGAS - COFOR]. 1990. Evaluación de impacto ambiental del proyecto de plantaciones de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) Municipio Maturín, Edo. Monagas. Informe final. TOMO I. 48 p.
- Perdomo, A., L. Matheus, C. Jiménez y R. Sánchez. 1996. Experiencia del control integrado de *Opsiphanes cassina*. **In:** Memorias I Encuentro Nacional de Palmicultores. Acupalma, Fundesol, Est. Exp. Monagas, Fonaiap. p 43.
- Rodríguez González, G., R. Silva-Acuña, R. Cásares Moizant y A. Díaz. 2008. Fluctuación Poblacional de adultos de *Opsiphanes cassina* Felder (Lepidoptera: Nymphalidae) en plantaciones de palma aceitera, *Elaeis guinnensis* Jacq., en el estado Monagas, Venezuela . (Aceptado su publicación en la revista Entomotrópica, año 2008).
- Rodríguez, G. 2006. Biología, Fluctuación Poblacional y Estrategias de control de *Opsiphanes cassina* Felder, defoliador de la palma aceitera, *Elaeis guinnensis* Jacq., en el estado Monagas, Venezuela. Tesis Doctoral. Maracay, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 134 p.
- Rodríguez González, G., R. Silva-Acuña, E. González y E. Milano. 2000. Evaluación de trampas y formulaciones atrayentes para la captura de la mosca de la guayaba, *Anastrepha striata* Schiner (Diptera: Tephritidae) en Santa Bárbara, Monagas, Venezuela, Bol Entomol Ven., 15(1): 49-60.
- Zenner De Polania, I. y F. Posada. 1992. Manejo de insectos, plagas y benéficos de la palma africana. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Manual de Asistencia Técnica 54. 124 p.

CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE CLONES DE MUSÁCEAS CON NIVELES DE RESISTENCIA A SIGATOKA NEGRA EN EL MUNICIPIO VEROES, ESTADO YARACUY, VENEZUELA¹

AGRONOMIC CHARACTERIZATION OF CLONES OF MUSACEAS WITH LEVELS OF BLACK RESISTANCE TO SIGATOKA IN THE MUNICIPALITY VEROES, YARACUY STATE, VENEZUELA¹

Giomar Blanco*, Julitt Hernández*, Alexis Pérez*, Alfonso Ordosgoitti**,
Gustavo Martínez** y Edward Manzanilla**

¹ Trabajo financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA)

* Investigadores. INIA-Yaracuy, km 3, sector La Ermita, vía Aeropuerto Las Flores, municipio Cocorote, estado Yaracuy.
E-mail: gblanco@inia.gob.ve.

** Investigador jubilado. INIA-CENIAP. Av. Universidad, edificio 8, Maracay, estado Aragua. Venezuela.

RESUMEN

Para evaluar las características agronómicas de clones de musáceas con niveles de resistencia resistentes al hongo, *Mycosphaerella fijiensis*, causante de la sigatoka negra, se realizó un ensayo bajo un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones y 3 plantas como unidad experimental en el Asentamiento Campesino Las Peñas, municipio Veroes de estado Yaracuy. Se comparó el 'FHIA 01', 'FHIA 02' y 'Yangambi km 5' con el 'Cambur Manzano' (altamente susceptible a la enfermedad). Para este fin se determinaron los atributos: inicio de floración y cosecha, peso del racimo, largo y diámetro del dedo medio de la segunda mano y número de dedos totales por racimo, durante 2 ciclos productivos. El 'FHIA 02' y el 'Yangambi km 5' resultaron los más precoces en cuanto al inicio de floración y cosecha en ambos ciclos evaluados, y aunque el 'FHIA 01' obtuvo mayor peso de racimo y mayor longitud del dedo medio durante el primer ciclo, mostró retraso en el inicio de cosecha durante el segundo ciclo. Los resultados obtenidos permiten concluir que los clones 'FHIA 02' y 'Yangambi km 5' se comportaron como los más precoces y presentaron un número de dedos totales promedio por racimo y un peso promedio de racimo superior al testigo de la zona 'Cambur Manzano', representando una aceptable alternativa para los productores de musáceas del estado Yaracuy.

Palabras Clave: Fenología; FHIA; *Musa* sp.; *Mycosphaerella fijiensis*; Yangambi km 5.

SUMMARY

Some agronomic characteristics of clones of *Musa* with levels of resistance to black sigatoka, *Mycosphaerella fijiensis*, were evaluated in 'Las Peñas' locality, Veroes county, Yaracuy State, in a complete randomized block design with three replications and three plants as experimental units. The FHIA 01, FHIA 02 and Yangambi km5 materials were compared against the 'Cambur Manzano' which is highly susceptible to black sigatoka. The following plant parameters were evaluated during two productive cycles: days to flowering, days to harvesting, bunch weight, length and diameter of the middle finger from the second hand, and number of fingers per bunch were evaluated. The FHIA 02 and Yangambi km 5 were the clones with the earliest time at flowering and harvesting stages in both cycles. Despite the FHIA 01 showed the highest values for bunch weight and length of the middle finger, it was the latest to reach harvesting stage during the second cycle. Yangambi km 5 exhibited a similar middle finger length that the Cambur Manzano; however, Yangambi km 5 showed a higher bunch weight. The Yangambi km 5, represents a acceptable alternative for plantain farmers in the area.

Key Words: Fenology; FHIA; *Musa* sp.; *Mycosphaerella fijiensis*; Yangambi km 5.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela la producción de musáceas es de gran importancia económica, debido a que sus productos son comercializados a nivel nacional e internacional, además de ser un alimento de gran valor nutritivo y de frecuente consumo en todo el territorio nacional. Estos cultivos son considerados generadores de ingresos a bajos insumos, sobre todo a nivel de pequeños productores, como es el caso del estado Yaracuy. Sin embargo, al igual que en otros rubros, la producción de musáceas está limitada por varios factores (Hernández y Zamora, 2000), entre los cuales la sigatoka negra ha tenido un efecto devastador en las plantaciones desde su aparición en el país.

Según Mourichon *et al.* (1997), la sigatoka negra causada por el hongo, *Mycosphaerella fijiensis*, fue encontrada por primera vez en la costa suroeste de Viti Levu en Fiji en 1963 y de allí se extendió a través del Pacífico, identificándose en América Latina a principios de 1972 en Honduras. En Venezuela, el primer trabajo de esta enfermedad, se realizó a través del Servicio Autónomo de Sanidad Agropecuaria (SASA), en el municipio Catatumbo al Sur del Lago de Maracaibo, estado Zulia (Martínez *et al.*, 1999), desde donde se extendió al resto del país, llegando al estado Yaracuy, en 1994, constituyéndose, desde el punto de vista tecnológico, un factor crítico relevante, que amerita investigación en los pequeños sistemas de producción de plátano y banano.

Esta enfermedad ha causado grandes pérdidas en las plantaciones debido a la severidad de la infección en el follaje, disminuyendo su capacidad productiva; y por ende, la producción, ya que se ha encontrado que existe una relación directa entre el número de hojas y el peso del racimo (Rodríguez *et al.*, 1999), causando, además, aumento de los costos de producción, reducción de la superficie sembrada, aumento de la tasa de desempleo, sustitución por otros rubros y ventas de las unidades de producción; ésto agravado por un deficiente manejo agronómico, uso de materiales susceptibles a la enfermedad y escasa o nula atención al sector (Hernández y Zamora, 2000).

Por su parte, Nava (1997) señala que la sigatoka negra, es considerada como el factor crítico relevante en estos cultivos, disminuyendo la capacidad productiva de la planta y afectando los ingresos, sobre todo, de los pequeños productores.

Por otra parte, la naturaleza compleja de este patógeno le da un gran potencial de adaptación a nuevas condiciones climáticas, a nuevos fungicidas y genotipos hospederos (Ploetz, 2000); además, los costos de fungicidas químicos son tan elevados que están prohibido para pequeños productores, estando sólo accesible para las grandes exportadoras multinacionales (Hibler y Ardí, 1994); por lo que se plantea convivir con dicha enfermedad, siendo el uso de clones con niveles de resistencia a la sigatoka negra, una alternativa a evaluar en pequeños sistemas de producción.

La introducción de resistencia a la sigatoka negra en bananos y plátanos a través de programas de mejoramiento convencional se ha basado en el uso de la resistencia existente en especies del género *Musa*, especialmente *Musa acuminata* y en cultivares diploides tales como 'Paka' (AA) y 'Pisang lilin' (AA). Los híbridos provenientes de estos programas, están siendo probados en campo en áreas seleccionadas alrededor del mundo en el Internacional Musa Testing Programe (IMTP) organizado por el INIBAP (Mourichon *et al.*, 1997). Se han identificado tetraploides del programa de mejoramiento de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) con resistencia a sigatoka negra, que tienen un potencial para su cultivo en muchos países (Mourichon *et al.*, 1997). Sin embargo, debido a que en algunos materiales mejorados se ha detectado el Banan Streak Virus (BSV), es necesaria su evaluación en campo, no sólo para verificar si este virus se manifiesta en la plantación; sino también, para investigar sobre la adaptabilidad de estos materiales y su aceptación en zonas productoras.

En Venezuela, la siembra de plátano se basa exclusivamente en 'Plátano Hartón' y en el banano tipo 'Cavendish'. Sin embargo, se han realizado estudios como los de García y Sosa (2001), Valerio *et al.* (2003) y Gómez *et al.* (2006) donde se ha evaluado el comportamiento de clones mejorados presentados como resistentes a sigatoka negra, como alternativas para estos pequeños productores. En el INIA Yaracuy, desde el año 2006, también se viene realizando investigación sobre el comportamiento de estos materiales en las principales zonas productoras del estado.

Dentro de los materiales señalados como resistentes a sigatoka negra, en Colombia, el 'FHIA 02' es considerado como uno de los materiales más precoces, presentando junto al 'FHIA 01', mejores rendimientos cuando se compara con otros materiales locales. Sin embargo, tanto el 'FHIA 02' como el 'FHIA 01' presentan baja

aceptación en el mercado colombiano (Navarro y Gómez, 1998). A pesar de esto, los niveles de resistencia a la sigatoka negra en el 'FHIA 01' (altamente resistente) y 'FHIA 02', resistente según Navarro y Gómez (1998) y las alternativas de uso agroindustrial por presentar pulpa con baja tasa de oxidación (Aguilar, 2006) hacen pensar en estos materiales como una alternativa para los pequeños productores.

Basados en lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue evaluar las características agronómicas de los materiales con niveles de resistencia a la sigatoka negra 'FHIA 01', 'FHIA 02' y 'Yangambí km5', en comparación con el 'Cambur Manzano', en el Asentamiento Campesino (AC) Las Peñas del municipio Veroes del estado Yaracuy.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el AC Las Peñas, municipio Veroes, estado Yaracuy, el cual se caracteriza por presentar una precipitación anual promedio de 1 350 mm, una temperatura promedio anual de 31,5 °C y humedad relativa aproximada de 80%. En cuanto a las características edáficas de la zona, los análisis de suelo realizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua del INIA Yaracuy, reflejan, en promedio, la presencia de suelos francos arenosos, bajos en potasio y materia orgánica, muy bajos en fósforo (P), alto en calcio (Ca), con pH 5,6 y sin problemas de salinidad, pero con limitaciones de drenaje.

Se sembraron cormos previamente desinfectados con una mezcla de oxiclورو de cobre y carbofuran (500 g y 250 cm³/ 200 l de agua, respectivamente) por inmersión durante 1 min, bajo un sistema tradicional de cuadrado, a una distancia 2,9 m x 2,9 m. La fertilización se realizó según la recomendación a partir del análisis de suelo (90 g/planta de N + 90 g/planta P₂O₅ + 140 g/planta K₂O) aplicados en forma fraccionada: con 45% de la dosis a los 20 días después de la siembra (DDS) y el 55% restante a los 4 meses después de la siembra.

El diseño experimental utilizado fue un bloque al azar con tres repeticiones y tres plantas como unidad experimental. Los tratamientos consistieron en tres materiales resistentes a sigatoka negra: 'FHIA 01' (*Musa AAAB*), 'FHIA 02' (*Musa AAAA*) y el 'Yangambí km 5' (*Musa AAA*), y un material susceptible: 'Cambur Manzano' (*Musa AAB*), que es el material producido en la zona.

Durante tres ciclos productivos se determinaron las siguientes variables: a) Variables reproductivas: días a floración y días a cosecha (expresados en DDS; b) Variables Productivas: largo del dedo central de la segunda mano (LD), perímetro del dedo central de la segunda mano (PD), peso del racimo (PR) y número de dedos totales promedio por racimo (NDT), determinados al momento de la cosecha.

Los datos se analizaron a través del Programa Statistix for Windows®. Se realizó el análisis de varianza, y en los casos donde se detectó diferencias estadísticas entre los tratamientos, se procedió a realizar la prueba de media de Tukey con un $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se presentan los resultados de las variables reproductivas número de días a floración (DF) y días a cosecha (DC) en los clones resistentes y susceptibles a sigatoka negra en tres ciclos productivos, para el cual el análisis estadístico detectó diferencias significativas entre los materiales evaluados. Se observa, que durante el primer ciclo (período), los clones resistentes a sigatoka negra, 'FHIA 02' y el 'Yangambi km 5' mostraron mayor precocidad en cuanto a floración y cosecha (205 y 233 DF, respectivamente y 327 DC para ambos clones), comparados con el clon susceptible 'Cambur Manzano'; quien junto al 'FHIA 01', presentaron mayor retraso en alcanzar la fase reproductiva (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con lo señalado por Navarro y Gómez (1998) quienes encontraron, en un estudio realizado en Colombia, que el 'FHIA 02' se mostró como el más precoz comparado con materiales locales. De forma similar, Daniells (2002) señala que el 'FHIA 02' toma 327 días a partir de la siembra para llegar a cosecha. En el caso del 'Yangambi km 5', el tiempo en alcanzar la cosecha fue mucho menor al presentado para el primer ciclo de este cultivar en otros países como Brasil en 448,1 DC (Da Silva Junior *et al.*, 2002).

Aunque el 'Yangambi km 5' y el 'FHIA 02' mostraron un comportamiento similar durante el segundo ciclo (Cuadro 1), no hubo diferencias significativas en cuanto a DF con el 'Cambur Manzano'. Sin embargo, superaron al 'FHIA 01' quien siguió comportándose como el material más tardío en llegar a DF y DC. Durante el tercer ciclo productivo, el 'Yangambi km 5' y el 'FHIA 02', tuvieron un comportamiento similar, mostrando mayor precocidad comparado con el 'FHIA 01' y el 'Cambur

Manzano'. Este comportamiento observado en estos materiales durante los tres ciclos refleja la estabilidad de respuesta de los mismos.

Con respecto a las variables de producción, los análisis estadísticos mostró diferencias significativas entre tratamientos para las variables PR, NDT y LD (Cuadro 2). Durante el primer ciclo del cultivo, el mayor PR y la mayor longitud y grosor de los dedos lo obtuvo, como era de esperarse por sus características productivas, el 'FHIA 01' (21,1 kg/racimo, 19,6 y 14,2 cm, respectivamente) como se aprecia en el Cuadro 2, coincidiendo con lo observado por Surga *et al.* (2000), pero inferior a lo presentado por Dadzie (1998) para este cultivar (30 a 40 kg). Navarra y Gómez (1998) también mostraron estudios realizados en Colombia que el rendimiento promedio de los clones 'FHIA 01' y 'FHIA 02' fue de 26,8 t ha⁻¹ superando a los clones locales 'Valeri' y 'Gran Enano' que sólo alcanzaron 9,8 t ha⁻¹ en promedio.

Se obtuvo, además, que en términos generales, el 'Yangambi km 5' se comportó en forma similar al 'Cambur Manzano', en cuanto al perímetro del dedo medio de la segunda mano; sin embargo, presentó mayor peso del racimo que el material susceptible. Durante el segundo ciclo, el 'Yangambi km 5', mantuvo un mayor

peso (17 kg), comparado con los materiales restantes, comportándose como un material más estable y superando los registros obtenidos en otros países de 17,79 kg (Da Silva Junior *et al.*, 2002), mientras que el 'FHIA 01' disminuyó ligeramente el PR para este ciclo.

De igual forma, el 'Yangambi km 5' presentó un mayor NDT promedio por racimo (151 dedos) comparable con el alcanzado por el 'FHIA 01' (156 dedos), durante el primer ciclo (Cuadro 2) y superior a lo mostrado por Da Silva Junior *et al.* (2002) para este cultivar para ese mismo ciclo, alcanzando un valor mayor para esta variable durante el segundo ciclo evaluado (221 dedos por racimo) lo que hace pensar en este material como una alternativa para los productores.

Un comportamiento similar fue observado durante el tercer ciclo (Cuadro 2), donde el 'Yangambi km 5' alcanzó valores de PR y NDT muy superiores al resto de los materiales evaluados, mientras que el resto de los parámetros evaluados permanecieron muy similares al comparar los tratamientos. Sin embargo, durante este ciclo no se registraron para la fecha de culminación del ensayo, valores para los parámetros productivos del 'FHIA 01' debido a que como se mencionó anteriormente, para ese momento no había alcanzado la fase reproductiva.

CUADRO 1. Días a floración (DF) y días a cosecha (DC) expresado en días después de la siembra (DDS) en materiales con niveles de resistencia a sigatoka negra comparadas con un material susceptible, en el AC Las Peñas del municipio Veroes, estado Yaracuy, durante tres ciclos productivos.

| Ciclo | Variable reproductiva | Clon | | | |
|-------|-----------------------|-----------|-----------|-----------------|------------------|
| | | 'FHIA 01' | 'FHIA 02' | 'Yangambi km 5' | 'Cambur Manzano' |
| I | DF (DDS) | 264b | 205a | 233a | 264b |
| | DC (DDS) | 382b | 327a | 327a | 373b |
| II | DF (DDS) | 407b | 281a | 288a | 288a |
| | DC (DDS) | 720c | 596b | 394a | 562b |
| III | DF (DDS) | – | 417a | 421a | 561b |
| | DC (DDS) | – | 514a | 518a | 621b |

Análisis estadísticos $\alpha = 0,05$

CUADRO 2. Longitud del dedo medio de la segunda mano (LD), perímetro del dedo medio de la segunda mano (PD), perímetro del pedúnculo (PP), peso del racimo (PR) y número de dedos totales por racimo (NDT), en materiales con niveles de resistencia a sigatoka negra comparadas con un material susceptible, en el AC Las Peñas del municipio Veroes, estado Yaracuy, durante tres ciclos productivos.

| Ciclo | Clon | Variables productivas | | | | |
|-------|------------------|-----------------------|---------|---------|---------|----------------|
| | | LD (cm) | PD (cm) | PP (cm) | PR (kg) | NDT (unidades) |
| I | 'FHIA 01' | 19,6a | 14,2 | 22,3 | 21,1a | 156a |
| | 'FHIA 02' | 16,4b | 13,8 | 21,3 | 15,5b | 130b |
| | 'Yangambi Km 5' | 12,9c | 11,2 | 20,4 | 14,6b | 151a |
| | 'Cambur Manzano' | 12,0c | 11,0 | 21,8 | 11,7c | 137b |
| II | 'FHIA 01' | 19,2a | 12,6 | 18,8 | 16,4a | 101b |
| | 'FHIA 02' | 16,3b | 11,9 | 17,6 | 14,4b | 108b |
| | 'Yangambi Km 5' | 13,9c | 10,8 | 24,3 | 17,0a | 221a |
| | 'Cambur Manzano' | 13,7c | 12,0 | 17,0 | 10,3c | 98b |
| III | 'FHIA 01' | – | – | – | – | – |
| | 'FHIA 02' | 17,0a | 12,51 | 19,5 | 16,8b | 138b |
| | 'Yangambi Km 5' | 14,8b | 11,01 | 22,0 | 24,5a | 238a |
| | 'Cambur Manzano' | 13,4b | 12,3 | 15,9 | 9,0c | 91c |

CONCLUSIÓN

- Se podría concluir que el 'Yangambi km 5', junto con el 'FHIA 02', fueron los materiales más precoces tanto en el inicio de floración como en cosecha. Además de presentar un PR promedio y un NDT promedio por racimo, superior al testigo de la zona ('Cambur Manzano'), demostrando una mayor estabilidad ante los cambios climáticos, representando una aceptable alternativa para los productores de musáceas del estado Yaracuy.

AGRADECIMIENTO

Al señor Luis Tejeda y demás productores de "Las Peñas", municipio Veroes del estado Yaracuy, por su colaboración y participación activa en la ejecución de este ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar M., J. F. 2006. Híbridos de banana desarrollados pela FHIA. In: Proceedings XVII Reunião Internacional da Associação para cooperação nas Pesquisas sobre banana no Caribe e na América tropical, 15 a 20 outubro de 2006, Joinville-Santa Catarina, Brasil p.173-177.
- Dadzie, B. K. 1998. Post-harvest characteristics of black sigatoka resistant banana, cooking banana and plantain hybrids. Technical Guidelines INIBAP 4. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France. 75 p.
- Daniells, J. 2002. FHIA 02- More than a black sigatoka resistant replacement variety? Banana Topics Newsletter No. 32. 3 p.

- Da Silva Junior, J. F., R. J. M. de Moura, S de O. e Silva, J. Gouveia, V. F. Dos Santos y A. R. Lopes Junior. 2002. Evaluación de cultivares e híbridos de banano y plátano en el trópico húmedo del estado de Pernambuco, Brasil (1er Ciclo). **In:** Memorias XV Reunión Internacional Acorbat 2002. Sección Ecofisiología. pp. 441-445.
- García, A, y L. Sosa. 2001. Caracterización agronómica del híbrido de plátano FHIA-21 (*Musa* AAAB) resistente a sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* M.) en el Municipio Baralt, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 18:117-123.
- Gómez, C., J. G. Surga, S. Magaña-Lemus, J. Vera, H. Rosales y N. Pino. 2006. Manejo orgánico de siete clones de banano (*Musa*) en condiciones de bosque seco tropical.: I. Fenología. **In:** Proceedings XVII Reunião Internacional da Associação para coope- ração nas Pesquisas sobre banana no Caribe e na América tropical, 15 a 20 octubre de 2006, Joinville- Santa Catarina, Brasil. p. 348.
- Hernández, J. y S. Zamora. 2001. Desarrollo rural sosteni- ble para la zona platanera del Asentamiento Campesino Macagua-Jurimiquire, municipio Veroes, estado Yaracuy. ISBN 980-6477-05-7. Editado por la Gobernación del Estado Yaracuy. 98 p.
- Hibler, M. and D. Hardy. 1994. Breeding a better banana. IDRC: Resources: Book: Reports: Vol.22, No.1. 6 p.
- Martínez, G., R. Pargas y D. Muñoz. 1999. La sigatoka negra y su avance en el territorio venezolano: Implicaciones socioeconómicas. [http:// www.fonaiap.gov.ve/publica/divulga/fd59/ sigatok.html](http://www.fonaiap.gov.ve/publica/divulga/fd59/sigatok.html). 4 p. Fecha de consulta: 10/03/04.
- Mourichon, X., J. Carlier and E. Fouré. 1997. Sigatoka leaf spot diseases. Black leaf streak disease (black sigatoka). Sigatoka disease (yellow sigatoka). *Musa* Disease Fact Sheet No. 8. s/p.
- Navarro, E. E. y L. E Gómez C. 1998. Evaluación de híbridos y clones de plátano y banano tolerantes a la sigatoka negra en el Centro-Sur del departamento de Tolima, Colombia. *Infomusa* 7(2):14-16.
- Nava, C. 1997. El plátano, su cultivo en Venezuela. ISBN 980-296-559-6. Impreso en Ediciones Astro Data S.A (Maracaibo-Venezuela). 135 p.
- Ploetz, R. 2000. La enfermedad más importante del banano y el plátano: Una breve introducción a la historia, importancia y manejo de la sigatoka negra. **In:** Memorias Reunión ACORBAT 2000. Mesa redonda Sigatoka negra. p. 117.
- Rodríguez, V., D. Bautista, O. Rodríguez y L. Díaz. 1999. Relación entre el balance nutricional y la biometría del plátano (*Musa* AAB subgrupo Plátano cv. Hartón) y su efecto sobre el rendimiento. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 16:425-432.
- Surga Rivas, J. G., M. Warer, G. Laboren, E. Salazar, G. Martínez, M. Belloso, I. Dorantes, A. Delgado, L. Rangel, M. Espinoza, E. Manzanilla, R. Pargás, D. Torrealba y E. Díaz. 2001. Estudio y evaluación de clones élites de musáceas bajo diferentes zonas edafoclimáticas. [http://www.ceniap.fonaiap.gov.ve/ bdigital/congresos/jornadas/web/jsurga.html](http://www.ceniap.fonaiap.gov.ve/bdigital/congresos/jornadas/web/jsurga.html). 3 p.
- Valerio, R., H. Lindorf y E. García de García. 2002. Anatomía foliar comparada de ocho cultivares de banano con relación a la resistencia o susceptibilidad a la Sigatoka (amarilla y negra). *Agronomía Trop.* 52(4):507-521.

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, FÍSICA, QUÍMICA, MINERALÓGICA Y GÉNESIS DE UN PEDÓN SÓDICO ALCALINO UBICADO EN PAPELÓN, ESTADO PORTUGUESA¹

MORPHOLOGICAL, PHYSICAL, CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION AND GENESIS OF AN ALKALINE SODIC PEDON FROM PAPELÓN, PORTUGUESA STATE¹

José P. Guerrero-Alves*, Idefonso Pla-Sentís** y Ángel Valera*

¹Trabajo financiado por el FONACIT (Proyecto PEM 2001001622).

* Profesores. Universidad "Rómulo Gallegos". Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA). San Juan de los Morros 2301, Guárico-Venezuela. ** Profesor. Universidad Central de Venezuela. Instituto de Edafología. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RESUMEN

De los 831 millones de hectáreas que la FAO/UNESCO señala mundialmente para suelos afectados por sales, más del 50% (434 millones de hectáreas) son suelos sódico-alcálicos. Con el propósito de identificar factores y procesos que intervienen en la génesis de suelos sódicos, un pedón sódico-alcálico en la planicie aluvial del río Portuguesa se caracterizó morfológica, física, química y mineralógicamente. Los resultados señalan: porcentajes de sodio intercambiable (PSI) hasta 43%, acumulación de NaHCO_3 , pHs elevados ($> 8,5$), densidades aparentes (D_a) muy altas (hasta $2,03 \text{ Mg m}^{-3}$), conductividades hidráulicas ($< 0,5 \text{ mm h}^{-1}$) y macroporosidades muy bajas ($< 3,4\%$) en el Btn y Cn, precipitación de CaCO_3 , mineralogía mixta destacada por clorita, interestratificado 10/14m, cuarzo y micas. Se infiere que el suelo se origina, primero, con materiales trabajados por acción del hielo glaciar en los Andes venezolanos durante el período árido Pleistocénico. Posteriormente, durante el Holoceno más húmedo y cálido, fueron acarreados y depositados en la planicie del río Portuguesa donde interaccionaron con aguas con NaHCO_3 en las microdepressiones. Estas sales de sodio en solución se formaron por intemperización de silicatos sódicos del núcleo cristalino de la cordillera andina o por acumulación de materia orgánica, en ambiente reductor, que eliminó sulfatos como H_2S . La evolución del suelo permitió migración de arcilla, sustitución progresiva en el complejo de cambio de iones divalentes por sodio, precipitación de CaCO_3 , formación del horizonte nátrico, eliminación de sales en drenaje y, finalmente, cuando las sales totales disminuyeron hasta niveles críticos, ocurrió degradación de estructura.

Palabras Clave: Génesis de suelos; hidrólisis alcalina; carbonato de sodio; carbonato de calcio.

SUMMARY

Salt-affected soils are a major factor limiting plant growth and productivity of crop plants. Out of the 831 million hectares that the FAO/UNESCO reports worldwide as salt affected soils more than 50 % (434 million hectares) are alkaline-sodic soils. This study was conducted in order to identify factors and processes in the genesis of an alkaline-sodic soil from the alluvial plains of Portuguesa River. Morphological, physical, chemical and mineralogical attributes were determined. Results indicated exchangeable sodium percentage (ESP) up to 43 %, NaHCO_3 accumulation, high pHs (> 8.5), very high bulk densities (up to 2.03 Mg m^{-3}), both low hydraulic conductivity ($< 0.5 \text{ mm h}^{-1}$) and macroporosity values ($< 3.4\%$) in Btn and Cn horizons, CaCO_3 precipitation, mixed mineralogy characterized by chlorite, interstratified 10/14m, quartz and micas. It was inferred that the soil was produced, first, from materials grounded by glacial ice action in Venezuelan Andes during the arid phase of Pleistocene. Later, during the Holocene humid and warmer climate, sediments were transported and deposited in plains of Portuguesa River and then interacted with NaHCO_3 rich waters in micro-depressions. Alkaline sodium salts could be formed by weathering of sodic silicates in rocks from Venezuelan Andes or from accumulation of organic matter in a reduction environment with elimination of sulfates as H_2S . The soil evolved to promote clay migration, substitution of Ca-Mg by sodium in soil exchange complex, CaCO_3 precipitation, natric horizon formation, elimination of salts in deep drainage, and finally, when total salt quantities diminished to critic levels the degradation of soil structure was produced.

Key Words: Soil genesis; alkaline hydrolysis; sodium carbonate; calcium carbonate.

RECIBIDO: junio 12, 2007

ACEPTADO: mayo 14, 2008

INTRODUCCIÓN

Los suelos afectados por sales (salinos y alcalinos) corresponden a una de las principales causas que limitan el crecimiento de las plantas y la productividad de los cultivos a escala mundial. De los 831 millones de hectáreas que la FAO/UNESCO señala para suelos afectados por sales, más del 50% (434 millones de hectáreas) corresponde a suelos sódicos alcalinos (Jin *et al.*, 2006). Las principales limitaciones que experimentan estos suelos son la drástica restricción en el movimiento del agua, la gran compactación natural subyacente que les confiere una gran dureza y que impide un adecuado desarrollo radicular y los elevados valores de pH producto de los contenidos relativamente elevados de bicarbonato de sodio. Esto último prácticamente excluye la presencia de iones divalentes (Ca y Mg) y oligoelementos en la solución del suelo y trae como consecuencia desordenes nutricionales en las plantas.

En Venezuela, suelos sódicos y salino-sódicos han sido estudiados en la cuenca del Lago de Maracaibo, llanos Centro-Occidentales (estados Apure, Cojedes, Guárico y Portuguesa), algunas áreas dispersas en los estados Falcón, Lara y Yaracuy, la cuenca del Lago de Valencia y en parte del estado Monagas (Comerma y Arias, 1974; Schargel, 1984 y 1988; Pla Sentis, 1985; García-Miragaya *et al.*, 1990; Guerrero, 1998; Guerrero-Alves *et al.*, 2004 y 2007).

Los suelos sódicos se caracterizan por presentar porcentajes de sodio intercambiable (PSI) > 15 o relaciones de adsorción de sodio (RAS) > 13 (mmol l⁻¹)^{1/2}, conductividades eléctricas en el extracto de saturación (CE) < 4,0 dS m⁻¹ (Salinity Laboratory Staff, 1954; Soil Survey Staff, 1999) y pH en pasta saturada que puede ser > 8,5 (Salinity Laboratory Staff, 1954); aunque el pH no es un criterio diagnóstico de sodicidad (Van Beek y Van Breemen, 1973) porque existen suelos sódicos con pH menor que 8,5. No obstante, suelos con valores elevados de pH (>8,5) tienen generalmente grandes cantidades de sodio asociadas a la acumulación de sales de sodio (bicarbonatos y carbonatos) con hidrólisis alcalina (Cruz-Romero y Coleman, 1975; Gupta y Abrol, 1990; Guerrero-Alves *et al.*, 2002, 2004, 2007) y relativamente elevado contenido de carbonatos precipitados (insolubles) de iones divalentes (Ca y Mg; Gupta y Abrol, 1990).

Por su parte, Guerrero (1998) señaló que un recuento de los procesos que determinan la magnitud de la

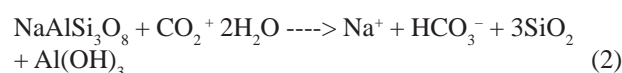
alcalinidad residual (ALCR) puede ser útil para identificar los factores asociados con la formación de suelos alcalinos (pH > 8,5). La ALCR, también denominada Carbonato de Sodio Residual (CSR) según Guerrero-Alves *et al.*, 2007, puede escribirse como:

$$ALCR = [Na^+] + [K^+ - [Cl^-] - 2[SO_4^{2-}] - [NO_3^-]] \quad (1)$$

y corresponde a la porción de la alcalinidad total asociada a bicarbonatos y carbonatos de iones monovalentes (Van Beek y Van Breemen, 1973) y los corchetes [] se refieren a concentraciones molares de las especies en solución.

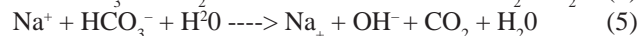
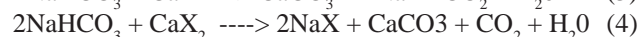
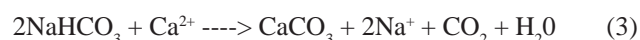
La ecuación (1) sugiere que los incrementos en ALCR son producto de incrementos en [Na⁺] y/o [K⁺] o en disminuciones en las concentraciones de aniones diferentes a bicarbonatos y carbonatos (Cl⁻, SO₄²⁻ o NO₃⁻) y como el K⁺ se encuentra habitualmente en muy bajas cantidades en la solución del suelo, el aumento de la ALCR podría ser sólo atribuible a la acumulación de sales alcalinas de sodio. Consecuentemente, si en el medio existen incrementos de Na⁺ y los contraiones son cloruros o sulfatos no hay ganancia neta de ALCR (Guerrero-Alves *et al.*, 2004, 2007) por lo que suelos que acumulan Na₂SO₄ y NaCl no deberían considerarse sódicos, aún teniendo valores de RAS elevados (Pla, 1985; Gupta y Abrol, 1990), porque pueden ser desodificados sin enmiendas.

La intemperización de la albita (NaAlSi₃O₈), una plagioclasa sódica presente en rocas y sedimentos en alrededor de 0,60% (Lerman *et al.*, 2007), puede ser escrita como:



y da cuenta, entre otras, de la producción de bicarbonato de sodio en la naturaleza.

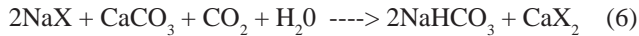
Cuando se acumula en el suelo, el bicarbonato de sodio puede experimentar la serie de reacciones siguiente:



La 3 y la 4 (Guerrero-Alves *et al.*, 2004) prevén la precipitación de carbonatos de Ca-Mg y la 5 (hidrólisis del ión bicarbonato) del origen de valores de pH elevados en suelos sódicos alcalinos (Guerrero-Alves *et al.*, 2004). Por otra parte, la reacción 3 permite explicar la

acumulación conjunta de sales neutras de sodio, como cloruros y sulfatos, y la 4 equivale a la sodificación del complejo de intercambio.

Por otra parte, el incremento de pHs con la dilución (mayor relación suelo-agua) en suelos sódicos alcalinos puede ser interpretado, basados en el inverso de la reacción 4:



donde la producción de bicarbonato y su hidrólisis posterior justifica tal incremento.

El propósito de este trabajo fue el de caracterizar morfológica, física, química y mineralógicamente un suelo sódico alcalino de Papelón (estado Portuguesa) e inferir su posible génesis en el ambiente fisiográfico de los llanos occidentales de Venezuela.

Se da particular atención a los factores y procesos que en este suelo podrían estar involucrados en el desarrollo de acidez superficial, la formación del horizonte nátrico, la precipitación de carbonatos de Ca-Mg y el uso de la alcalinidad residual como un indicador cualitativo y cuantitativo de la acumulación de sales alcalinas de

sodio y la eventual sodificación del complejo de cambio. Por otra parte, también se discuten aspectos relacionados con la dinámica climática del Cuaternario en los Andes venezolanos para inferir si la concentración de sales alcalinas de sodio en el suelo fue producto de la intemperización de silicatos por el CO₂, de la reducción de sulfatos por acción de la materia orgánica del suelo o de ambas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio. El área de estudio se encuentra en la planicie aluvial del río Portuguesa que, al igual que el río Guanare, nace en la cordillera de los Andes y confluye con éste, aguas abajo, antes de desembocar en el río Apure, un tributario del Orinoco.

El pedón sódico alcalino allí seleccionado (UTM: 448 536 E; 989 886 N; Figura 1) correspondió a un Natraqualfs y se ubicó en la Estación Pecuaria Papelón (nombre que se usará en lo sucesivo para referirlo), perteneciente a la Empresa Rental de la Universidad Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora" (REUNELLEZ).

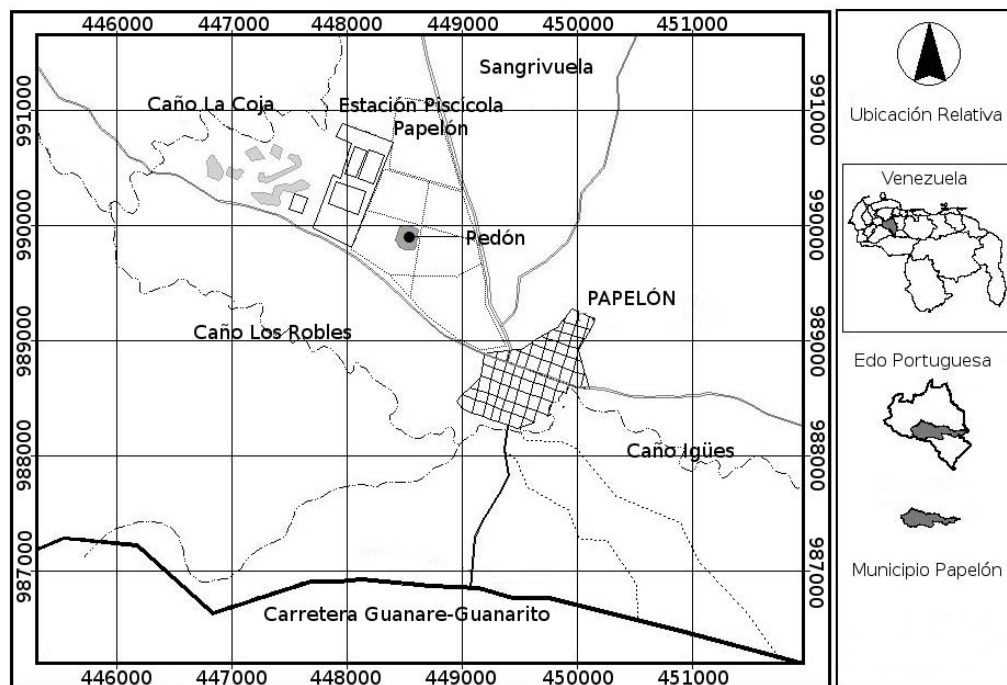


FIGURA 1. Ubicación aproximada del pedón Papelón (UTM: 448 536 E; 989.886 N) en el área de estudio.

Los Natraqualfs representan un área relativa de un 20% dentro de una asociación con Tropaqualfs y Haplustalfs (Schargel *et al.*, 1988). Desde el año 1982, los suelos de la Estación fueron deforestados y colocados bajo producción; arroz durante el período de lluvias seguido por sorgo sembrado a finales del mismo período. No obstante, a pesar de obtenerse buenos rendimientos en términos generales para el arroz, en los Natraqualfs el sorgo no logró completar su ciclo secándose las plantas antes de formar la panoja (Schargel *et al.*, 1988).

Descripción del suelo en el campo, muestreo y análisis físicos de campo y laboratorio. La descripción del perfil fue realizada según procedimientos del Soil Survey Division Staff (1993). Por otra parte, cilindros representativos de suelo (no disturbados) fueron tomadas en superficie con un toma muestra tipo Uhland (Pla Sentís, 1983) y en el tope de los restantes horizontes genéticos (calicata escalonada) mediante un procedimiento que permitió esculpir e introducir manualmente un cilindro de suelo en los contenedores metálicos (Guerrero-Alvis, 1998). Las determinaciones en las muestras no disturbadas incluyeron conductividad hidráulica en régimen saturado, distribución de macro y microporosidad y densidad aparente (D_a) según Pla Sentís (1983). Sobre el tope de cada horizonte genético también se realizaron determinaciones de D_a por el método del hoyo (Pla Sentís, 1983).

Además, muestras disturbadas de suelo fueron tomadas desde la superficie, cada 10 cm, hasta los 250 cm. Los detalles del muestreo y del procesamiento de las muestras disturbadas para análisis físico se encuentran en Guerrero-Alves *et al.* (2004). En las muestras disturbadas destinadas para análisis físico se determinó distribución de tamaño de partículas (método de Bouyoucos) y fraccionamiento de arena (Pla Sentís, 1983).

Análisis químicos de laboratorio. Los detalles del procesamiento de las muestras con fines químicos se encuentran en Guerrero-Alves *et al.* (2004). Estas muestras fueron utilizadas para medir pH en pasta saturada y obtener el extracto de saturación (ES) para la determinación de $Ca+Mg$, Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} (iones solubles), relación de adsorción de sodio (RAS) y conductividad eléctrica (CE) como lo explica U.S. Salinity Laboratory Staff (1954). Como todos los extractos de Papelón fueron coloreados, se usó el procedimiento de Robbins (1989) para clarificarlos. Las sales solubles [$Ca(HCO_3)_2+Mg(HCO_3)_2$, $NaCl$, Na_2SO_4 , $NaHCO_3$ y KCl] fueron ajustadas de acuerdo a la composición de iones solubles siguiendo un procedimiento

sugerido por Guerrero-Alves (1998) para garantizar electroneutralidad en los ES. Además, también se determinó la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) según lo planteado por U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) y carbonatos precipitados de calcio y magnesio (Pla Sentís, 1969). Todas las determinaciones químicas representan el promedio de tres determinaciones.

Mineralogía de las arcillas y de las arenas densas. Los tratamientos de saturación y calentamiento de las muestras de arcilla orientada se realizaron según Jackson (1969) y los espectros de difracción de rayos X fueron registrados con las condiciones delineadas en Guerrero-Alves *et al.* (2004). Los minerales identificados se cuantificaron como porcentaje (relativos al área total) basados en los picos de mayor intensidad (Malagón, 1979).

Las fracciones de las arenas densas se analizaron con un microscopio petrográfico (Malagón, 1979). La preparación de las muestras incluyó los procedimientos de Parfenoff *et al.* (1970) y Aleixandre y Pinilla (1968) y se describen con detalle en Guerrero-Alves *et al.* (2004). La cantidad de cada mineral identificado fue expresada en porcentaje, basado al total de todos los granos minerales identificados. Por otra parte, la proporción de intemperismo (Malagón, 1979) fue determinada como la relación de minerales resistentes (circón + turmalina) / minerales alterables (anfíboles + piroxenos) y fue usada como criterio para verificar posible uniformidad de materiales parentales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características morfológicas y físicas. El pedón sódico alcalino Papelón fue clasificado como un Vertic Natraqualfs, limoso fino, mixto, activo, isohipertérmico (Soil Survey Staff, 2006) y exhibió una secuencia de horizontes **Ap-En-Btn-Cn** con un espesor del solum de 104 cm (Cuadro 1). Los matices en húmedo de los horizontes vienen principalmente representados por 10YR (diferentes tonos marrones); aunque en el Btn2 también se encontraron matices 2.5YR (colores oliváceos distintivos de condiciones de mal drenaje).

Las texturas entre el **Ap** y el **Btn** fueron siempre francas o franco limosas presentando el horizonte **Cn**, en algunos casos, más del doble de arcilla que el de los horizontes precedentes y que lo clasificó como franco arcillo limoso (Cuadros 1 y 2).

CUADRO 1. Características morfológicas en el suelo Papelón (CM = color Munsell).

| Horizonte | Profundidad (cm) | CM Matriz (húmedo) | CM Moteados (húmedo) | a % | A % | Textura ‡ | Estructura # | Consistencia | Límite entre horizontes |
|-------------------------|------------------|--|---|------|------|-----------|--------------|------------------------|-------------------------|
| Ap | 0-10 | 10YR4/4, 10YR5/3 10YR3/2 | - | 36,3 | 7,8 | FL | 1, f, bcs | ld, fr, la, lp | plano y abrupto |
| En ^y | 10-20 | 10YR6/3, 10YR5/3 | 10YR5/2, 10YR5/6 | 37,4 | 15,1 | F | 0, ma | d, fr, la, lp | plano y abrupto |
| Btm1 ^{§, h, †} | 20-56 | 10YR6/2, 10YR5/1 | 10YR5/4, 10YR5/6 7,5YR5/6 | 32,6 | 18,2 | F-FL | 2-3, p, g-mg | d, fi-mfi, moa, mop | claro e irregular |
| Btm2 ^{h, †} | 56-104 | 2,5YR4/4, 2,5Y4/3 10YR4/5, 10YR4/6 10YR5/6 | 10YR5/2, 2,5Y5/2 2,5Y4/2, 10YR4/2 10YR4/1, 7,5YR5/6 | 29,1 | 18,9 | FL | 1, p, m | d, fi-mfi, moa, mop | irregular y difuso |
| 2Cn [§] | 104-200 | - | - | 8,3 | 32,6 | FAL | 1, p, m | d, fi-mfi, mua, mup | - |

‡ FL : franco limoso; F: franco; FAL : franco arcillo limoso

0 : sin estructura; 1 : débil; 2 : moderado; 3 : fuerte; f : fino; m : medio; g : grueso; mg : muy grueso; ma : masivo; p : prismática; bcs : blocosa subangular

ld : ligeramente duro; d: duro; fr : friable; fi: firme; mfi: muy firme; la: ligeramente adherente; moa: moderadamente adherente; mua: muy adherente; lp: ligeramente plástico; mop: moderadamente plástico; mup: muy plástico

‡ Presenta abundantes nódulos de Fe-Mn en la base del horizonte; † nódulos de Fe-Mn dispersos en la masa del horizonte; § pseudomicelios y masas pulverulentas blandas de carbonatos

† De pocas a frecuentes películas de arcilla

CUADRO 2. Atributos químicos* y físicos en el suelo Papelón determinados cada 10-cm de profundidad.

| Profundidad (cm) | pH | CE dS m ⁻¹ | PSI % | RAS (m mol l ⁻¹) ^{1/2} | (CaMg)p (CaMg)p | CIC | Na _{int} kg ⁻¹ | Na _{imp} | arena | arcilla | -----c mol ₍₊₎ kg ⁻¹ ----- | | af+amf (libre A) | esqueleto grueso |
|---------------------|------|--------------------------|----------|--|--------------------|-------|---------------------------------------|-------------------|-------|---------|--|-------------------|---------------------|---------------------|
| | | | | | | | | | | | Na _{int} | Na _{imp} | | |
| 0-10 | 5,18 | 0,702 | 2,88 | 1,95 | 0,24 | 8,32 | 0,24 | 1,06 | 36,3 | 7,8 | 41,19 | 37,98 | 0,26 | |
| 10-20 | 6,17 | 0,615 | 18,76 | 10,46 | 0,09 | 9,54 | 1,79 | 1,99 | 37,4 | 15,1 | 36,29 | 30,81 | 0,62 | |
| 20-30 | 7,26 | 1,113 | 33,69 | 18,63 | 0,22 | 12,91 | 4,35 | 3,81 | 34,9 | 19,0 | 33,12 | 26,83 | 0,21 | |
| 30-40 | 8,34 | 1,563 | 38,24 | 21,52 | 1,17 | 13,99 | 5,35 | 5,86 | 31,8 | 19,0 | 33,62 | 27,23 | 0,01 | |
| 40-50 | 8,89 | 1,631 | 39,39 | 24,71 | 9,00 | 13,66 | 5,38 | 6,04 | 31,6 | 17,3 | 31,86 | 26,35 | 0,20 | |
| 50-60 | 8,95 | 1,270 | 42,93 | 20,74 | 3,36 | 12,37 | 5,31 | 4,99 | 31,6 | 17,3 | 33,66 | 27,84 | 0,02 | |
| 60-70 | 8,69 | 1,312 | 42,81 | 22,15 | 2,30 | 12,24 | 5,24 | 4,80 | 31,3 | 19,0 | 36,61 | 29,65 | 0,03 | |
| 70-80 | 8,79 | 0,957 | 42,28 | 16,50 | 3,07 | 12,56 | 5,31 | 4,53 | 34,6 | 19,0 | 36,31 | 29,41 | 0,11 | |
| 80-90 | 8,73 | 1,064 | 37,27 | 18,26 | 2,29 | 12,37 | 4,61 | 4,89 | 30,2 | 17,9 | 31,29 | 25,69 | 0,09 | |
| 90-100 | 8,64 | 1,075 | 32,75 | 17,93 | 1,77 | 12,55 | 4,11 | 4,02 | 22,9 | 20,1 | 23,93 | 19,12 | 0,05 | |
| 100-110 | 8,42 | 0,970 | 35,25 | 16,58 | 1,68 | 12,03 | 4,24 | 4,28 | 20,1 | 19,3 | 20,67 | 16,68 | 0,06 | |
| 110-120 | 8,44 | 0,769 | 32,41 | 13,61 | 1,11 | 12,59 | 4,08 | 3,91 | 14,0 | 19,6 | 15,74 | 12,65 | 0,02 | |
| 120-130 | 8,38 | 0,821 | 30,58 | 14,14 | 0,93 | 13,44 | 4,11 | 4,18 | 11,7 | 21,8 | 11,48 | 8,98 | 0,03 | |
| 130-140 | 8,30 | 0,612 | 28,23 | 10,66 | 0,86 | 14,77 | 4,17 | 3,79 | 9,5 | 22,3 | 8,52 | 6,62 | 0,03 | |
| 140-150 | 8,14 | 0,339 | 26,29 | 7,63 | 0,30 | 14,95 | 3,93 | 3,69 | 9,5 | 22,3 | 8,71 | 6,77 | 0,00 | |
| 150-160 | 8,15 | 0,379 | 24,64 | 6,94 | 0,65 | 15,18 | 3,74 | 3,87 | 6,1 | 22,9 | 5,19 | 4,00 | 0,01 | |
| 160-170 | 8,12 | 0,272 | 23,60 | 5,98 | 0,06 | 18,18 | 4,29 | 3,61 | 6,1 | 33,5 | 4,66 | 3,10 | 0,00 | |
| 170-180 | 8,31 | 0,410 | 20,69 | 8,42 | 0,30 | 24,02 | 4,97 | 4,53 | 4,5 | 56,7 | 4,55 | 1,97 | 0,00 | |
| 180-190 | 8,45 | 0,532 | 19,79 | 9,19 | 5,63 | 24,61 | 4,87 | 4,71 | 3,9 | 55,6 | 3,92 | 1,74 | 0,01 | |
| 190-200 | 8,17 | 0,544 | 18,34 | 11,88 | 1,72 | 23,17 | 4,25 | 4,73 | 2,2 | 46,6 | 2,77 | 1,48 | 0,00 | |
| 200-210 | 8,05 | 0,432 | 17,70 | 8,61 | 0,53 | 25,82 | 4,57 | 4,46 | 6,1 | 46,1 | 4,38 | 2,36 | 0,00 | |
| 210-220 | 7,81 | 0,276 | 16,89 | 6,92 | 0,07 | 24,63 | 4,16 | 4,35 | 6,4 | 40,8 | 4,73 | 2,80 | 0,00 | |
| 220-230 | 7,85 | 0,357 | 15,47 | 4,89 | 0,09 | 22,89 | 3,54 | 2,99 | 5,6 | 37,4 | 3,89 | 2,44 | 0,05 | |
| 230-240 | 8,03 | 0,424 | 15,73 | 9,66 | 0,32 | 21,87 | 3,44 | 4,21 | 4,5 | 39,7 | 3,11 | 1,88 | 0,07 | |
| 240-250 | 7,98 | 0,486 | 14,89 | 8,53 | 0,19 | 22,36 | 3,33 | 4,07 | 4,2 | 43,3 | 2,39 | 1,36 | 0,00 | |

pH = pH para pasta saturada, CE = conductividad eléctrica para el extracto de saturación, PSI = porcentaje de sodio intercambiable, RAS = relación de adsorción de sodio, (CaMg)p = carbonatos precipitados de Ca y Mg, CIC = capacidad de intercambio catiónico, Na_{int} = sodio intercambiable, Na_{imp} = sodio intercambiable estimado por la ecuación 7, af+amf = arena fina + arena muy fina, A = arcilla.
*Promedio de tres determinaciones para pH, CE, PSI, RAS, (CaMg)p, CIC y Na_{int}.

El horizonte **Ap** mostró una consistencia ligeramente dura en seco y en húmedo fue friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico; infiriendo esto último un bajo contenido de arcilla. Por debajo del **Ap** se encontró un horizonte **En** de 10 cm, sin estructura (masivo), duro en seco, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico en húmedo. Subyacente al **En** se localizó un horizonte de acumulación de arcilla, **Bt**, el cual fue subdividido, a su vez, en dos subhorizontes: **Btn1** y **Btn2**.

El **Btn1** se caracterizó por poseer una estructura prismática entre moderada y fuerte y de gruesa a muy gruesa, mientras que el **Btn2** presentó una estructura prismática débil y media. Ambos fueron duros en seco y en condición húmeda se presentaron como firmes a muy firmes, moderadamente adherentes y moderadamente plásticos lo que refleja un mayor contenido de arcilla que los horizontes suprayacentes y califican al **Bt**, conjuntamente con los elevados contenidos de sodio, como un horizonte nátrico (**Btn**).

La función de profundidad de componentes estables, arena fina más arena muy fina (af+amf) sobre base libre de arcilla (Cuadro 2), es consistente con una uniformidad de materiales parentales hasta los 90 cm por lo que la acumulación de arcilla hasta esa profundidad tendría un origen iluvial. De la misma manera, la variación en la proporción de intemperismo (Cuadro 3) también es concordante con esa suposición. Por otra parte, la iluviación de arcilla fue corroborada por la descripción de pocas a frecuentes películas de arcilla en el horizonte **Btn** (Cuadro 1).

Con relación al horizonte **Cn**, éste exhibió una estructura prismática débil, media, con una consistencia dura en seco y de firme a muy firme, muy adherente y muy plástica en húmedo lo cual es un reflejo del contenido de arcilla mucho mayor que el de los horizontes precedentes; especialmente hacia el fondo del perfil (Cuadro 2). Como esto no es consistente con la iluviación de arcilla, pues en el **C** debería bajar su contenido, es posible que este comportamiento en la variación del contenido de arcilla (Cuadro 2) sea consecuencia de una discontinuidad litológica. Esto se desprende del análisis de las funciones de componentes estables con la profundidad (arena fina + arena muy fina sobre base libre de arcilla, Cuadro 2) y de la proporción de intemperismo (Cuadro 3).

Por otra parte, valores muy elevados de Da (1,85-2,03 Mg m⁻³) estuvieron presentes en los horizontes **Btn** y

Cn del suelo Papelón (Cuadro 4). Estas Da estuvieron asociadas a muy bajas macroporosidades ($\leq 3,4\%$) y conductividades hidráulicas ($\leq 0,5 \text{ mm h}^{-1}$; Cuadro 4) lo que confiere al suelo Papelón una muy baja permeabilidad al agua en esas zonas del perfil. Por esta razón, se infiere que el proceso de iluviación de arcilla debió ocurrir en condiciones de mejor permeabilidad donde es posible excluir una condición mucho más salina que la actual; tal como se discute más adelante. Por otra parte, estas características también fueron tomadas como base para clasificar este Natraqualfs en el Subgrupo Vertic (Soil Survey Staff, 2006).

CUADRO 3. Mineralogía de arenas densas y proporción de intemperismo (C+T)/(A+P) ♦, para horizontes genéticos seleccionados del suelo Papelón, obtenidos por microscopía de luz polarizada.

| Mineral | Horizontes | | | |
|-------------|---------------|------|------|------|
| | Ap | En | Btn1 | 2Cn |
| | ----- % ----- | | | |
| augita | 0,2 | – | – | – |
| biotita | – | 0,2 | 2,2 | – |
| cianita | – | – | 2,2 | – |
| circón | 10,6 | 17,4 | 4,6 | – |
| epidota | 2,4 | 0,8 | 1,4 | 0,3 |
| granate | – | – | 0,5 | – |
| hornblenda | 1,2 | 0,4 | 0,2 | 6,0 |
| moscovita | 13,4 | 12,2 | 11,4 | 87,5 |
| opacos | 62,6 | 64,7 | 74,2 | 6,2 |
| rutilo | 0,8 | 0,2 | 0,2 | – |
| tremolita | 0,4 | – | – | – |
| turmalina | 6,1 | 4,0 | 3,2 | – |
| zoisita | 2,4 | – | 2,0 | – |
| (C+T)/(A+P) | 9,3 | 53,5 | 39,0 | 0,0 |

♦ (C+T) = Circón + Turmalina; (A+P) = Anfiboles + Piroxenos.

Propiedades químicas. Los valores de PSI (> 15%) y CE (< 4 dS m⁻¹; Cuadro 3) están mostrando que el suelo Papelón satisface los requerimientos (Salinity Laboratory Staff 1954; Soil Survey Staff, 1999) para un suelo sódico, no salino, a todas las profundidades por debajo de los 10 cm. Sin embargo, valores de RAS > 13, también indicativos de suelos sódicos, sólo se presentan entre los 20-110 cm de profundidad. Por otra parte,

valores de pH en pasta saturada superiores a 8,5, que pronostican concentraciones elevadas de sales de sodio con hidrólisis alcalina, sólo se encuentran entre los 40-100 cm de profundidad. Sin embargo, la distribución de sales en el suelo Papelón (Cuadro 5) confirma, excepto para 0-10 cm, la acumulación de NaHCO_3 en todo el perfil, indicando que ésta es la más abundante y donde las sales de sodio restantes, NaCl y Na_2SO_4 , se encuentran en mucho menor proporción y siempre por debajo de $1 \text{ mmol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$ (excepto para Na_2SO_4 entre 0-10 cm). Por otra parte, el $\text{Ca}+\text{Mg}$ alcanzó concentraciones $\geq 1,0 \text{ mmol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$ sólo en los primeros 10 cm del perfil del suelo ($3,24 \text{ mmol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$), estando prácticamente ausentes los iones divalentes por debajo de esa profundidad.

Porta *et al.* (1999) señalan que los efectos desfavorables del Na_2CO_3 ya se dejan sentir a partir de concentraciones del orden de 0,05 a 0,1% de esta sal. Ello equivaldría a 0,1 a 0,2% de NaHCO_3 porque en esencia ambas sales son lo mismo, es decir, producen la misma especiación en solución acuosa (en equilibrio con el CO_2 atmosférico); sólo que el bicarbonato debería estar en una concentración que es el doble de la del carbonato por lo que dicta la estequiometría de estas sales (Nakayama, 1970). Sin embargo, 0,05% de Na_2CO_3 , asumiendo una D_a del suelo de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$, correspondería aproximadamente a unos $20 \text{ mmol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$; concentración que está ligeramente por encima [unos $5 \text{ mmol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$] de la cantidad máxima que fue presentado en Papelón (Cuadro 5). Ello no constituye ninguna cantidad despreciable porque esa concentración ya es suficiente para producir un pH de 9,39 en agua pura a la presión de CO_2 atmosférica (Nakayama, 1970).

Tomando como referencia el Extracto de Saturación

(ES) de 50-60 cm, que contiene $10,90 \text{ mmol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$ de NaHCO_3 (Cuadro 4), aplicando el procedimiento de Nakayama (1970) se obtendría un pH de 9,19 si se tuviese esa cantidad de sal en agua pura a la presión de CO_2 atmosférico; valor que es ligeramente superior al de 8,95 (Cuadro 2) obtenido en pasta saturada (PS) para esa misma profundidad. Esta pequeña discrepancia podría ser atribuida al efecto de la fuerza iónica (la solución del suelo tiene otros iones, como Cl^- y SO_4^{2-} , que tienden a reprimir la hidrólisis de los carbonatos), la presión de CO_2 en la pasta puede ser diferente de la atmosférica (aunque con esa concentración se requeriría casi el doble de la presión del CO_2 atmosférico para bajar el pH hasta 8,95), al hecho de que el pH se midió en pasta (no en el extracto) o al hecho que se está obviando la acción del suelo como intercambiador.

Guerrero-Alves *et al.* (2004) usaron regresión lineal múltiple para correlacionar el contenido de Naint en un Typic Natrustalf de Guárico-Venezuela con la cantidad de sales solubles de sodio (bicarbonatos, carbonatos y cloruros) y la CIC. Mostraron un coeficiente de correlación (r) elevado que les permitió estimar el 75% de los valores de Naint con un error $<6\%$. La correlación simultáneamente positiva con la CIC y al concentración de sales alcalinas de sodio y negativa con la concentración de NaCl , la emplearon como base para sugerir que la sodificación progresiva del perfil por ellos estudiado tomó lugar a medida que se acumulaban sales alcalinas de sodio y los cloruros eran eliminados del sistema a través del drenaje profundo. Usando las mismas premisas y un procedimiento similar, se obtuvo para el suelo Papelón la siguiente ecuación de regresión lineal múltiple ($r = 0,9099$):

$$\text{Na}_{\text{int}} = -2,5621.[\text{NaCl}] + 0,3625.[\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3] + 0,0905.\text{CIC} + 1,6915 \quad (7)$$

CUADRO 4. Conductividad hidráulica (K), densidad aparente (D_a) por el método del hoyo, macroporosidad (MP) y porosidad total (PT) determinadas para horizontes genéticos descritos en el suelo Papelón.

| Horizonte | profund. cm | K* ----- mm h^{-1} ----- | D_a ----- Mg m^{-3} ----- | MP* ----- % ----- | PT* |
|-----------|----------------|--------------------------------------|---|----------------------|----------|
| Ap | 0-10 | 16±11 | 1,47 | 10,6±0,5 | 49,6±0,9 |
| En | 10-20 | 11±5 | 1,52 | 7,9±1,0 | 43,8±2,4 |
| Btn1 | 20-56 | 0 | 2,03 | 3,1±0,2 | 40,4±1,3 |
| Btn2 | 56-104 | 0,5±0,9 | 1,89 | 3,4±0,1 | 45,7±1,0 |
| 2Cn | 104-200 | 0 | 1,85 | 3,3±0,2 | 46,2±2,3 |

*Promedio de tres determinaciones + desviación estándar.

CUADRO 5. Iones solubles* y sales solubles determinadas en los extractos de saturación, cada 10-cm, en el suelo Papelón y en aguas de riego[§].

| Profund. (cm) | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Ca+Mg | Na ⁺ | mmol(+) l ⁻¹ | | | | | | |
|------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------|-----------------|-------------------------|------|------|------|-------|------|--|
| | | | | | | K ⁺ | CaB | NaCl | NaS | NaB | KCl | |
| 0-10 | 1,44 | 1,20 | 1,15 | 3,24 | 2,48 | 1,61 | 2,12 | 0,54 | 1,34 | 0,00 | 1,22 | |
| 10-20 | 4,04 | 0,90 | 0,65 | 0,59 | 5,68 | 0,23 | 0,55 | 0,76 | 0,71 | 3,82 | 0,22 | |
| 20-30 | 8,60 | 1,00 | 0,94 | 0,69 | 10,94 | 0,25 | 0,65 | 0,83 | 1,00 | 8,50 | 0,24 | |
| 30-40 | 14,14 | 1,00 | 0,93 | 0,99 | 15,14 | 0,27 | 0,98 | 0,75 | 0,94 | 13,31 | 0,27 | |
| 40-50 | 14,72 | 1,00 | 0,61 | 0,79 | 15,53 | 0,24 | 0,79 | 0,77 | 0,62 | 14,04 | 0,24 | |
| 50-60 | 11,44 | 0,90 | 0,45 | 0,69 | 12,18 | 0,23 | 0,68 | 0,69 | 0,46 | 10,90 | 0,23 | |
| 60-70 | 11,46 | 1,00 | 0,90 | 0,69 | 13,01 | 0,25 | 0,68 | 0,78 | 0,92 | 11,04 | 0,25 | |
| 70-80 | 8,56 | 0,70 | 0,44 | 0,59 | 8,96 | 0,24 | 0,59 | 0,47 | 0,44 | 8,02 | 0,24 | |
| 80-90 | 9,16 | 0,70 | 0,29 | 0,59 | 9,92 | 0,24 | 0,59 | 0,47 | 0,30 | 8,67 | 0,24 | |
| 90-100 | 9,24 | 1,00 | 0,33 | 0,59 | 9,74 | 0,24 | 0,59 | 0,76 | 0,33 | 8,65 | 0,24 | |
| 100-110 | 8,80 | 0,80 | 0,34 | 0,69 | 9,74 | 0,23 | 0,67 | 0,61 | 0,35 | 8,46 | 0,22 | |
| 110-120 | 6,80 | 0,70 | 0,36 | 0,59 | 7,39 | 0,24 | 0,58 | 0,48 | 0,37 | 6,38 | 0,24 | |
| 120-130 | 7,36 | 0,70 | 0,31 | 0,59 | 7,68 | 0,24 | 0,59 | 0,47 | 0,32 | 6,84 | 0,24 | |
| 130-140 | 5,36 | 0,60 | 0,33 | 0,59 | 5,79 | 0,22 | 0,58 | 0,40 | 0,34 | 4,92 | 0,22 | |
| 140-150 | 2,64 | 0,30 | 0,36 | 0,39 | 3,37 | 0,24 | 0,36 | 0,11 | 0,40 | 2,57 | 0,22 | |
| 150-160 | 3,04 | 0,30 | 0,31 | 0,59 | 3,77 | 0,27 | 0,53 | 0,10 | 0,35 | 2,92 | 0,24 | |
| 160-170 | 1,88 | 0,30 | 0,22 | 0,39 | 2,64 | 0,23 | 0,34 | 0,16 | 0,26 | 1,88 | 0,20 | |
| 170-180 | 3,40 | 0,40 | 0,33 | 0,39 | 3,72 | 0,24 | 0,38 | 0,18 | 0,34 | 3,11 | 0,24 | |
| 180-190 | 4,56 | 0,50 | 0,34 | 0,49 | 4,55 | 0,23 | 0,50 | 0,26 | 0,34 | 4,01 | 0,24 | |
| 190-200 | 4,84 | 0,50 | 0,33 | 0,30 | 4,60 | 0,23 | 0,32 | 0,24 | 0,32 | 4,30 | 0,24 | |
| 200-210 | 3,68 | 0,50 | 0,17 | 0,39 | 3,80 | 0,21 | 0,39 | 0,30 | 0,17 | 3,31 | 0,21 | |
| 210-220 | 2,08 | 0,30 | 0,26 | 0,30 | 2,68 | 0,23 | 0,28 | 0,12 | 0,29 | 2,03 | 0,21 | |
| 220-230 | 2,80 | 0,75 | 0,24 | 0,99 | 3,44 | 0,25 | 0,90 | 0,62 | 0,27 | 2,24 | 0,23 | |
| 230-240 | 3,68 | 0,50 | 0,24 | 0,30 | 3,74 | 0,23 | 0,31 | 0,26 | 0,24 | 3,32 | 0,24 | |
| 240-250 | 4,12 | 0,60 | 0,28 | 0,49 | 4,22 | 0,23 | 0,50 | 0,37 | 0,28 | 3,60 | 0,23 | |
| agua1 | 2,10 | 0,14 | 0,65 | 2,52 | 0,23 | 0,27 | 8,83 | 0,59 | 0,97 | 0,00 | — | |
| agua2 | 2,10 | 0,14 | 0,65 | 0,60 | 2,15 | 0,27 | 0,60 | 0,66 | 3,05 | 7,04 | — | |

* Promedio de tres determinaciones

§ **agua1**: Canal del sistema de riego del río Guanare; **agua2**: agua hipotética, tomando como base el **agua1**, asumiendo una cantidad de carbonato de sodio residual (CSR) de 1,50 mmol₍₊₎ l⁻¹. Para las aguas, las sales solubles se refieren a las pronosticadas en el extracto de saturación por el modelo predictivo de sodicidad-salinidad de Pla (1988). No incluida en el Cuadro 4, en el **agua1** se pronostica una [CaSO₄⁺MgSO₄] de 1,77 mmol₍₊₎ l⁻¹. Para ambas aguas se corrió el modelo sumando el contenido de potasio al contenido de sodio. En el **agua1** no se pronostica precipitación de sales mientras que en el **agua2** se prevé precipitación de carbonatos.

donde los corchetes [] hacen referencia a las concentraciones de las especies químicas en $\text{mmol}_{(+)} \text{L}^{-1}$. La ecuación 7 permitió, en este caso, estimar el 75% de los valores de Na_{int} (Cuadro 2) pero sólo con un error <12%. Sin embargo, es de hacer notar que los valores de Na_{int} en Papelón fueron mucho menores que los del suelo sódico de Guerrero-Alves *et al.* (2004) y, en consecuencia, cabría esperar que estuviesen afectados por mayores errores relativos. Por otra parte, quedó también de manifiesto la correlación positiva con la cantidad de NaHCO_3 y negativa con la $[\text{NaCl}]$ lo que permite reforzar la tesis de que la sodificación de un perfil de suelo parece estar relacionada a la acumulación de sales alcalinas de sodio y la eliminación de NaCl (y tal vez sulfatos) a través del drenaje profundo.

Para el pedón sódico Papelón, la recta de regresión entre los valores de relación de sodio intercambiable (RSI) y RAS (no estudiada en este trabajo) produjo un coeficiente de selectividad de Gapon (KG) de 0,03030 $(\text{mmol l}^{-1})^{-1/2}$, el cual difiere en más de 100% del valor de 0,01475 $(\text{mmol l}^{-1})^{-1/2}$ señalado por el Salinity Laboratory Staff (1954). Por esta razón, no es posible inferir los valores de PSI directamente a partir de los valores de RAS (Cuadro 2) sugiriendo este hecho, además, la acumulación de sales de sodio con hidrólisis alcalina; tal como fue corroborado. Cuando este tipo de sales se acumulan, los KG (y por consiguiente los PSI) son sustancialmente mayores (Guerrero-Alves *et al.*, 2002) y no se debería estimar el PSI directamente a partir de los valores de RAS (Bohn, 1979; Guerrero-Alves *et al.*, 2002, 2007).

Composición mineralógica. El análisis mineralógico de la arcilla y de la fracción densa de las arenas está resumido en los Cuadros 6 y 3. En orden decreciente de abundancia, los 4 minerales principales de la fracción arcilla son: micas, cuarzo, clorita+interestratificado 10/14m y feldespatos (Cuadro 6). En conjunto, estos 4 minerales constituyen casi un 80% del total y, por su naturaleza, indican que el suelo presenta un bajo grado de evolución o desarrollo pedogenético.

Las micas, el mineral con la mayor contribución porcentual de la arcilla, con cantidades que no superan el 7% en el **Ap**, se incrementa abruptamente en los 3 horizontes subyacentes (**En**, **Btn1** y **Cn**) a valores entre 29-38%. Los relativamente bajos contenidos de micas y trazas de feldespatos en el **Ap**, conjuntamente con la elevada concentración de cuarzo (mineral relativamente resistente) en este horizonte, es consistente con el

proceso de ferrólisis, descrito más adelante, que conlleva a la destrucción de arcilla. Otra especie presente en cantidades importantes en este suelo (16-24%) corresponde al interestratificado 10/14m; cuya resolución del pico de difracción de la clorita fue imposible presentándose como un complejo mineral. Esto sugiere la posibilidad de propiedades expansibles en este pedón. El coeficiente de expansibilidad lineal (COEL) para el horizonte **Btn1**, no señalado aquí, fue de 0,06 y es lo suficientemente elevado como para reflejar algún tipo de expansibilidad. Aunque la expansibilidad puede usarse para justificar las pobres condiciones hidráulicas en este pedón, un mecanismo más efectivo, porque no es reversible, corresponde al taponamiento de poros. Sin embargo, llama la atención la ausencia de caolinita en todos los horizontes considerados. La caolinita es un mineral muy susceptible para la dispersión y, en consecuencia, para la obturación de los poros.

CUADRO 6. Mineralogía de la arcilla para horizontes seleccionados en el suelo Papelón, obtenidos por difracción de rayos X.

| Mineral | Ap | En | Horizontes | |
|-----------------------|---------------|----|------------|-----|
| | | | Btn1 | 2Cn |
| | ----- % ----- | | | |
| clorita+int.10/14m* | 20 | 24 | 21 | 16 |
| cuarzo | 47 | 14 | 15 | 20 |
| feldespatos | t | 9 | 8 | 15 |
| goethita | 6 | 4 | 2 | 2 |
| int.10/14v* | 0 | 3 | 1 | 1 |
| int.10/14c*+sepiolita | t | 3 | 2 | 1 |
| lepidocrocita | 5 | 6 | 4 | 4 |
| micas | 7 | 29 | 38 | 31 |
| paligorsquita | 9 | 4 | 5 | 4 |
| pirofilita | 1 | 1 | 1 | 2 |
| talco | 5 | 2 | 3 | 3 |

*int.: interestratificado; c: clorita; m: montmorillonita (esmeclita); v: vermiculita; t: trazas.

Los feldespatos, minerales altamente susceptibles de alteración, presentan cantidades relativamente elevadas (entre 9-15%) en los horizontes **En**, **Btn1** y **Cn** (Cuadro 6) lo que refleja el poco grado de evolución pedológica. Por otra parte, los difractogramas de rayos

X para el pedón Papelón también revelaron la posible presencia de paligorsquita, lepidocrocita, goethita, talco, pirofilita, sepiolita e interstratificados 10/14c y 10/14v (Cuadro 6). No obstante, sus contribuciones porcentuales fueron relativamente bajas y no superaron el 6% en ningún caso. La lepidocrocita se detectó en todos los horizontes de este pedón y es indicadora de condiciones hidromórficas, producto del mal drenaje, en medios no calcáreos (Schwertmann y Taylor, 1977). Su presencia corrobora el carácter secundario del CaCO_3 precipitado en Papelón.

Las arenas densas del pedón sódico Papelón, a pesar de ser relativamente diversas mineralógicamente, sólo presentan cantidades pequeñas de minerales susceptibles a la alteración. La alta proporción de opacos (especialmente en los horizontes **Ap**, **En** y **Btn1**) y minerales resistentes como circón y turmalina sugieren, a diferencia de la mineralogía de las arcillas, un alto grado de evolución de los sedimentos que dieron origen a este suelo (Cuadro 3). En cuanto a los minerales, se identificaron nesosilicatos (cianita, circón y granate), sorosilicatos (epidota y zoisita), ciclosilicatos (turmalina), piroxenos (augita), anfíboles (hornblenda, tremolita), filosilicatos (principalmente biotita) y óxidos (rutilo).

Entre los nesosilicatos, sólo el circón se presenta en cantidades importantes. Este mineral resistente presenta contenidos que se incrementan apreciablemente desde el **Ap** hasta el **En**, para luego disminuir sustancialmente en el **Btn1**; lo cual es consistente con la definición del horizonte **En** (Soil Survey Staff, 1975). Los sorosilicatos, epidota y zoisita, se presentan en cantidades comparables en el **Ap** (2,4%) disminuyendo apreciablemente en el horizonte **En**; lo cual es también un reflejo de los procesos intensos de transformación y lavado que ocurren en este horizonte del suelo. Entre los piroxenos y los anfíboles sólo la hornblenda se presentó en todos los horizontes y en cantidades que algunas veces superaron el 1% (Cuadro 3).

Las micas fueron los únicos filosilicatos detectados en las arenas densas de Papelón. Las micas corresponden a una de las 2 especies minerales, conjuntamente con los opacos, que superan el 6% en todos los horizontes considerados. Su contenido aumenta abruptamente en el **Cn** y éste coincide con el drástico decrecimiento del contenido de opacos. Por tanto, se sugiere que el aporte de materiales para dar origen a este pedón tiene una naturaleza diferente (discontinuidad litológica) siendo los que constituyen el **Cn**, paradójicamente, "menos evolucionados" cuando se comparan con los que dieron

origen al solum suprayacente. Otras evidencias que también apoyan esta conclusión son la ausencia de circón y turmalina y el enriquecimiento relativo con hornblenda que se presentan en el **Cn**. La proporción de intemperismo (Cuadro 3) y la suma de los porcentajes de arena fina más arena muy fina (af+amf), sobre base libre de arcilla (Cuadro 2), las cuales pueden emplearse como pruebas de uniformidad de materiales parentales, también son consistentes con estos resultados.

Procesos pedogenéticos y génesis del suelo. La acidificación en el horizonte **Ap**, observada también en un suelo sódico alcalino de Guárico (Guerrero-Alves *et al.*, 2004), puede ser atribuida al fenómeno de ferrólisis (Brinkman, 1970), el cual finalmente produce destrucción y posterior migración de arcilla fina. El proceso total, donde intervienen principalmente el hierro y las especies cambiables ácidas (H^+ y Al^{3+}) y básicas (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) del suelo, consiste en una sucesiva y alternada secuencia de reacciones de oxidación-reducción como respuesta a ciclos de secado-humedecimiento-lixiviación en el suelo y ha sido explicada en detalle en varias publicaciones previas (Schargel, 1984; Schargel *et al.*, 1988; Soil Survey Staff, 1999; Guerrero-Alves *et al.*, 2004). Además del pH ácido en el horizonte **Ap** (Cuadro 2), la presencia de abundantes nódulos de Fe-Mn en la base del **En** (20 cm; Cuadro 1), conjuntamente con los contenidos muy bajos de mica y feldspatos y la concentración de cuarzo (relativamente resistente a la intemperización) que revelaron los difractogramas de la arcilla en el **Ap** (Cuadro 6), podrían considerarse como evidencia adicional del proceso de ferrólisis en Papelón.

La taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 1975) refiere que los carbonatos de iones divalentes (agentes cementantes) parecen efectivos en frenar el movimiento de la arcilla porque las acumulaciones sólo son comunes por encima de horizontes que tienen grava calcítica en una matriz no calcárea o en ausencia de carbonatos finamente divididos diseminados en la matriz del suelo. Por su reactividad frente al **HCl**, se evidencia una marcada precipitación de carbonatos, bajo la forma de masas pulverulentas blandas y pseudomicelios, en el **Btn1** a la profundidad de 40-50 cm (Cuadro 1). Otra precipitación concentrada y similar de carbonatos, también claramente visible, pero, menos expresiva, se encontró en el **Cn** hacia el fondo de la calicata a la profundidad de 180-190 cm (Cuadros 1 y 2). La función de profundidad de la CIC tiene un incremento muy abrupto hacia los 150-160 cm de profundidad y una "barriga" de arcilla que coincide en gran medida con la precipitación de

carbonatos a los 180-190 cm. Esto permite suponer que, por debajo de los 160 cm, se esté posiblemente en la presencia de un suelo enterrado.

Basado en estos hechos, la iluviación de arcilla en Papelón sólo pudo ocurrir antes de la precipitación de carbonatos. Estos carbonatos parecen estar constituidos por una mezcla de CaCO_3 - MgCO_3 , aunque dominada por el primero, ya que el Ca total extraído con acetato de sodio (NaAc) a pH 5 es muy similar al Mg total en la mayoría de las muestras (Guerrero-Alves, 1998). Como en este pedón no existe reacción al HCl en la masa del suelo en parte alguna del perfil, sólo en las masas pulverulentas blandas y pseudomicelios, se infiere que los materiales parentales no son calcáreos y que estos carbonatos precipitados deben tener un origen secundario y que no interfirió con el proceso anterior de migración de la arcilla. Por tanto, la iluviación de arcilla, entre 20-104 cm de profundidad, debe ser de origen pedogenético porque está apoyada por las pruebas de uniformidad de los materiales parentales discutida con anterioridad.

Por otra parte, considerando las deficientes condiciones hidráulicas actuales (Cuadro 4) que mantiene el pedón Papelón en el Btn y en el Cn, la iluviación de la arcilla sólo pudo manifestarse en condiciones en las cuales se mantuvieron ausente estas restricciones para la circulación del agua. La función de profundidad de la CE del ES (Cuadro 2), si bien se incrementa algo hasta los 50 cm, aunque siempre por debajo de la mitad del límite para salinidad (4 dS m^{-1} ; Salinity Laboratory Staff, 1954), disminuye a valores relativamente muy bajos con la profundidad. Esto hace poco probable que el suelo fuese inicialmente salino-sódico, tal como lo sugieren Shargel *et al.* (1988), en la etapa donde se iluvió la arcilla y necesariamente con mejores propiedades hidráulicas. En consecuencia, una salinidad de origen para explicar la buena agregación del suelo y una adecuada migración de la arcilla en la etapa de formación del argílico, antes de convertirse en nátrico, no parece plausible.

Papelón se encuentra dentro de una planicie muy plana, con pendiente general de 0,2%, caracterizada por una microtopografía de bancos y bajíos (predominantes) donde estos últimos se encharcan durante el período lluvioso y cuya diferencia de elevación entre ellos no supera 1 m (Schargel *et al.*, 1988). Para una situación topográfica similar aunque muy distante geográficamente, Pla Sentís *et al.* (2003) mostraron que durante los últimos 8000 años, coincidente con el Holoceno actual (Ortiz-Jaureguizar y Cladera, 2006), parte de los suelos en la región noroccidental del Ganges (India)

desarrollaron horizontes de iluviación de arcilla y acumularon CaCO_3 de origen pedogenético y sales de sodio con hidrólisis alcalina. La gran sodicidad (en profundidad) en los suelos de las microdepressiones, que contrasta con una más baja (sólo en el subsuelo) en las microelevaciones asociadas, les permitió sugerir un control microtopográfico de ésta producto de la tectónica del Holoceno. En este caso, las microdepressiones pudieron favorecer una mayor acumulación de sales alcalinas de sodio porque, después de precipitaciones intensas y de corta duración, podían ser sometidas a breves inundaciones que causaron muchos más ciclos de humedecimiento-secado con procesos de reducción-oxidación o de intemperización mineral.

Una de las propiedades más sorprendentes de los suelos sódicos alcalinos es el desarrollo de valores de PSI muy elevados (hasta de 100%) a pesar de presentar contenidos relativamente bajos de sodio en la solución del suelo y de la mayor afinidad por iones divalentes (Borchardt, 1989), en lugar del sodio, que tienen generalmente los materiales del suelo (especialmente las esmectitas). Una fuente potencialmente elevada de sodio en la naturaleza es el mar por lo que se ha sugerido el medio marino como un posible ambiente para la formación natural de bentonitas (esmectitas) muy sódicas (Borchardt, 1989). Sin embargo, como éste sólo presenta una concentración de $\text{NaCl} < 1 \text{ M}$ (Borchardt, 1989), esto llevó a Guerrero-Alves *et al.* (2004) a proponer que un ambiente diferente, caracterizado por la acumulación simultánea de sales de sodio y MO en un ambiente reductor, pudiese ser la causa de formación de esmectitas y suelos con alto contenido de sodio.

La MO es la principal donadora de electrones en el suelo (Bohn *et al.*, 1979) y los sulfatos podrían ser forzados por los microorganismos del suelo a ser usados como aceptores de electrones, en condiciones fuertemente reductoras, a pesar de presentar un potencial de semi reacción más desfavorable que los óxidos y oxo-hidróxidos de Fe-Mn, (Bohn *et al.*, 1979).

La reacción propuesta por Guerrero-Alves *et al.* (2004) fue:



donde CH_2O corresponde a un carbohidrato hipotético que representa la MO del suelo. Como consecuencia de la producción y volatilización a la atmósfera del gas ácido H_2S , se incrementaría la ALCR y el pH del suelo porque el HCO_3^- producido en la reducción no podría ser neutralizado nuevamente al volver el ambiente de

oxidación. En condiciones de drenaje restringido, tal como se presenta en los bajíos, el ión bicarbonato se acumularía y su exceso haría precipitar inicialmente gran parte de los iones divalentes (Ca, Mg) como carbonatos enriqueciendo con NaHCO_3 la solución resultante. Sucesivos aportes de elementos en el agua y ciclos alternos de secado y humedecimiento terminarían por concentrar aún más las sales de sodio con hidrólisis alcalina y hacer desaparecer prácticamente el Ca y el Mg de la solución del suelo. Esto favorecería, posteriormente, grandes sustituciones con sodio en el complejo de intercambio. El proceso completo se representa en la secuencia de reacciones 3, 4 y 5.

Las relativamente más pequeñas cantidades de sulfato en el perfil Papelón por debajo de los 70 cm (Cuadro 4) y la presencia de nódulos de Fe-Mn en la base del horizonte En y dispersos en la masa del horizonte Btn (Cuadro 1), pueden también apoyar la tesis de la reducción de sulfato propuesta por la reacción 8. Sin embargo, algunos autores (Pla Sentís *et al.*, 2003) han señalado que el mecanismo de reducción de sulfatos puede ser descartado en condiciones donde se presentan simultáneamente bajos contenidos de MO y de sulfato. No obstante, la evidencia negativa no es prueba de que efectivamente no haya ocurrido porque, en condiciones de drenaje restringido, tal como se analiza más adelante, sólo se requerirían muy pequeñas cantidades de ALCR en las aguas de encharcamiento para promover la acumulación en el suelo de sales de sodio con hidrólisis alcalina y precipitación de carbonatos insolubles.

Schargel *et al.* (1988) señalan que en 1982 se inició la deforestación del terreno en el cual se encuentra el pedón Papelón; donde predominaba un bosque decíduo con pequeñas áreas cubiertas por vegetación de sabana. Es presumible suponer que en estas últimas se encontraban circunscritos los pedones sódicos donde la vegetación herbácea estaba caracterizada por la presencia de *Leersia hexandra* (pasto lambedora) y *Panicum laxum* (jajato; Schargel *et al.*, 1988); ambas gramíneas perennes tolerantes al anegamiento y al sobre-pastoreo. Los niveles de carbono orgánico (CO) en los horizontes superficiales de los Natraquals (Schargel *et al.*, 1988) señalaban un contenido de entre 1 a 2,5%, es decir, de 1,7 a 4,3% de MO si se asume que en ésta existe un 58% de CO (basada en la composición elemental promedio de ácidos fúlvicos y húmicos; Hayes y Swift, 1978). Por esta razón, se infiere que el contenido de MO en Papelón pudo ser, antes de la deforestación, si no superior, por lo menos equivalente a los valores señalados por Schargel *et al.* (1988) y suficientes para una posible reducción de sulfatos.

En Venezuela, Schargel (1984) y Schargel *et al.* (1988) señalan, respectivamente, que en el Alto Apure y en la planicie aluvial del río Portuguesa los elevados contenidos de sodio intercambiable podrían estar relacionados a la acumulación de aguas, con abundante sodio, que se concentraron por evaporación en áreas depresionales. Esto favorecería la sustitución de los cationes intercambiables por sodio y daría lugar a suelos salino-sódicos durante el período árido que marca el final del Pleistoceno; unos 10 000 años antes de nuestra era (Ortiz-Jaureguizar y Cladera, 2006). Sin embargo, tal como se discutió con anterioridad, la función de profundidad de la CE del ES para Papelón, que corresponde a un Natraqualfs perteneciente a la misma asociación de Alfisoles considerada por Schargel *et al.* (1988) en esta área, es poco probable que haya tenido salinidad de origen. Por tanto, se cree que la sal predominante en estas aguas con enriquecimiento relativo en sodio y que interaccionaron con los materiales parentales de Papelón, en un ambiente más bien de baja salinidad, debió ser el bicarbonato de sodio. El origen de esta sal pudo ser la ya referida reducción de sulfatos o la intemperización de minerales como silicatos y carbonatos presentes en el material parental.

Mahaney *et al.* (2007a) estudiaron una cronosecuencia (Pleistoceno tardío-Holoceno) de suelos pertenecientes a una terraza fluvial en la región norte de los Andes venezolanos donde las rocas dominantes son granito y gneiss. La superficie más vieja en la cronosecuencia exhibió un análisis elemental caracterizado por tenores mucho menores de Ca y Na (sin K) que los otros perfiles más jóvenes (K y Na, ambos, ~ 1%); lo que parece indicar un elevado grado de intemperización de los materiales que dieron lugar a los suelos más evolucionados. La ausencia de K en la superficie de intemperización más antigua es coincidente con la observación de Gérard *et al.* (2003) de que la mineralogía de un suelo marrón ácido por ellos estudiado sugiere que los feldespatos potásicos se intemperizan mucho más rápido que la albita (feldespato sódico) y la moscovita. En consecuencia, también es plausible la liberación de NaHCO_3 en las aguas que en el pasado bajaron del núcleo cristalino de los Andes y que, posteriormente, como aguas de desborde irrigaron la planicie aluvial del río Portuguesa.

La composición de un agua recolectada en período seco, a partir de un canal del sistema de riego del río Guanare (estado Portuguesa), reveló que el ión HCO_3^- se encontraba en una proporción 2,66 veces mayor que la de los

otros aniones (Cuadro 5); en concordancia con lo señalado por Lerman *et al.* (2007) de que éste es el anión principal en las aguas de ríos. Sin embargo, no reveló la presencia de bicarbonato de sodio (sólo pequeñas cantidades de Na_2SO_4). Si asumimos que la composición de dicha agua, ya que fue obtenida en el período de estiaje, refleja condiciones áridas pasadas en la zona, entonces se requerirían muchos ciclos de humedecimiento y secado en el suelo para obtener, en principio, una composición que refleje la producción de bicarbonato de sodio en el ES.

Para averiguar si esto es posible se utilizó la composición del agua del río Guanare en un modelo predictivo de salinidad-sodicidad (Pla Sentís, 1988) para pronosticar la composición de sales (especiación) del ES empleando la conductividad hidráulica del horizonte Btn2 (Cuadro 4) y los niveles de sales y RAS correspondientes a la profundidad de 50-60 cm del suelo Papelón (Cuadro 2) como valores límites. Los resultados señalaron que no existiría precipitación de carbonatos, contrario a lo que se presenta en Papelón, y la especiación obtenida para el ES distó mucho de ser la esperada (Cuadro 5). En consecuencia, se infiere que la composición de esta agua difiere de la que, en contacto con los materiales parentales, dio lugar a este pedón sódico alcalino.

Por otra parte, si se prueba el modelo tomando como base la misma agua, pero, modificando hipotéticamente los contenidos de Ca^+Mg y Na^+ , dejando inalterada la suma de cationes y de aniones para tener una ALCR de $1,50 \text{ mmol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$ (es decir, con NaHCO_3), se prevé la precipitación de carbonatos tal como ocurre en Papelón. Además, la composición pronosticada para el ES es muy similar (excepto por la cantidad algo elevada de Na_2SO_4) a la del que se tomó como referencia para correr el modelo (la profundidad de 50-60 cm) tal como se aprecia en el Cuadro 5.

Otras corridas del modelo, no publicadas aquí, dan siempre cuenta de la precipitación de carbonatos de Ca-Mg y de cantidades apreciables de NaHCO_3 en el ES para valores de ALCR en el agua de irrigación (o de desborde) tan bajas como $0,1 \text{ mmol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$. Esto parece señalar que en condiciones de drenaje restringido la génesis de suelos sódicos alcalinos es posible para materiales parentales que interaccionan con aguas que presentan esta sal aún en cantidades tan bajas como $0,1 \text{ mmol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$.

Otro aspecto a considerar es si la intemperización de los silicatos pudo ocurrir a una tasa tan elevada como para producir aguas relativamente concentradas en

NaHCO_3 durante el período árido que marca el final del Pleistoceno; tal como sugieren Schargel *et al.* (1988). Dicho período no sólo fue más seco sino también más frío que el Holoceno actual. Un estimado de temperaturas para el último máximo glacial (UMG) en los Andes venezolanos (~22 750 a 19 960 años AP) se sitúa, en promedio, casi en los 9°C por debajo de las actuales (Stansell *et al.*, 2007).

Por otra parte, Mahaney *et al.* (2007b) también señalan la posible existencia de un período de avance de los glaciares andinos, que coincide con el período de enfriamiento Younger Dryas (YD), mucho más reciente y que tiene una data de aproximadamente 12 400 años AP. Por tanto, es previsible pensar que la energía disponible para la activación de la disolución de los silicatos y carbonatos fuese más baja en estos casos. No obstante, aunque igualmente existen datos que apoyan lo contrario (Lerman *et al.*, 2007), algunos estudios con modelos de circulación global señalan que el consumo total de CO_2 en la intemperización de las rocas, y consecuentemente en el flujo de HCO_3^- , fue mayor en el UMG que en el período actual basado en la mayor área superficial de las partículas minerales producto del efecto de trituration (Lerman *et al.*, 2007) y cizalla del hielo. Lerman *et al.* (2007) señalan, además, la existencia de estudios de campo y laboratorio que refieren que los glaciares pueden producir cantidades importantes de minerales con área superficial elevada que incrementarían el flujo de intemperización de los silicatos.

Por otra parte, Stansell *et al.* (2007) expresan que durante el UMG en Venezuela, la altitud de la línea de equilibrio de los glaciares (ALEG) estuvo entre 850 a 1 420 m por debajo de la actual mientras que para el YD, Mahaney *et al.* (2007b) asimismo refieren que la ALEG apenas se situó 50 m por encima de la que correspondió al UMG en los Andes del noroeste venezolano. Esto significa que durante el UMG del Pleistoceno, y el más reciente y transicional YD, los materiales trabajados por la acción del hielo se hicieron más susceptibles de ser intemperizados y pudieron estar más cerca de lo que se encuentra hoy en día el núcleo cristalino de la cordillera de los Andes.

Esto facilitó la intemperización, acarreo y deposición posterior de estos materiales en la planicie aluvial del río Portuguesa durante el período más húmedo (Schargel, 1984; Schargel *et al.*, 1988; Ortiz-Jaureguizar y Cladera, 2006) y más cálido del Holoceno. En este período, durante la génesis del suelo, la acumulación de arcilla iluviada retardo gradualmente la percolación vertical del agua en el perfil (Bockheim *et al.*, 2005)

haciendo posible que, al alcanzarse niveles críticos de reducción, con aguas que presentaban un contenido relativamente elevado de ALCR producto de las más elevadas tasas de intemperización por las temperaturas más cálidas, llevaran a la acumulación de sales de sodio con hidrólisis alcalina en las áreas con drenaje restringido.

Una vez acumuladas, las sales alcalinas de sodio alteraron las relaciones de selectividad del suelo por iones divalentes reduciendo su competencia, con relación al sodio, porque estos precipitaron bajo la forma de carbonatos y permitieron que el sodio se sustituyera amplia y progresivamente en los sitios de intercambio. Otra consecuencia de la acumulación de las sales alcalinas de sodio fue la de promover también la dispersión y expansión de las partículas coloidales del suelo que resultó en elevadas D_a y reducción aún mayor de la conductividad hidráulica del suelo, y consecuentemente de la macroporosidad, hasta hacerlo prácticamente impermeable (degradación de la estructura).

CONCLUSIONES

- Se infiere que el futuro material parental del suelo Papelón fue producto, primero, de la acción de trituration del hielo glacial en los Andes venezolanos, durante el período árido y frío de finales del Pleistoceno y del transicional YD, que produjo materiales con mayor área superficial y, en consecuencia, con mayor susceptibilidad para la intemperización.
- Posteriormente, estos materiales fueron acarreados y depositados por la acción de cursos de agua en la actual planicie aluvial del río Portuguesa durante el período Holoceno más húmedo.
- Allí interaccionaron con aguas que concentraron bicarbonato de sodio en las microdepresiones. Estas sales pudieron haber sido producto de la intemperización, por parte del CO_2 atmosférico, de feldespatos sódicos (y carbonatos no necesariamente sódicos) contenidos en las rocas de la cuenca de ablación (alcalinidad de origen) o en los sedimentos.
- La concentración en el suelo se hizo a través de numerosos ciclos de secado y humedecimiento en las microdepresiones. Por otra parte, también existe la posibilidad de que éstas fueran parcialmente favorecidas por la acumulación de MO en un ambiente reductor que eliminó gran parte de los sulfatos como H_2S y produjo una ALCR *in situ*. Para

cualquiera de las 2 posibles situaciones anteriores, la evolución del suelo durante el Holoceno permitió la migración de arcilla (formación del argílico) hasta reducir gradualmente el movimiento vertical del agua en el suelo, la sustitución progresiva de iones divalentes por sodio en el complejo de cambio dando lugar al horizonte nátrico, la precipitación de CaCO_3 y, finalmente, cuando la combinación de sales totales y RAS (o PSI) alcanzó niveles críticos, por la eliminación de sales a través del drenaje, ocurrió la degradación de la estructura.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Dr. Graciano Elizalde por su colaboración en la interpretación de los espectros de difracción de rayos X y en la identificación de los minerales de las arenas densas, al Dr. Richard Schargel por la clasificación taxonómica del perfil y a la Universidad Rómulo Gallegos, a la Universidad Central de Venezuela por su apoyo logístico.

BIBLIOGRAFÍA

- Aleixandre, T. y A. Pinilla. 1968. Algunas modificaciones a las técnicas aplicadas al estudio mineralógico de fracciones gruesas o arenas. *Anales de Edafología y Agrología*. Tomo XXVII. Número 7-8, pp. 563-567.
- Bockheim, J. G., A. N. Gennadiyev, R. D. Hammer and J. P. Tandarich. 2005. Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma* 124: 23-36.
- Bohn, H. L., B. L. McNeal and G. E. O'Connor. 1979. *Soil Chemistry*. 1ra ed. John Wiley & Sons, New York, pp. 329.
- Borchardt, G. 1989. Smectites. **In:** 'Minerals in Soil Environments' (Dixon y Weed ed.), Cap. 14, 2da ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 675-727.
- Brinkman, R. 1970. Ferrolisis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma* 3, 199-206.
- Comerma, J. A. y L. F. Arias. 1974. Consideraciones sobre el recurso suelo en las zonas áridas y semi-áridas de Venezuela. **In:** III Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Mérida. 19 pp.

- Cruz-Romero, G. and N. T. Coleman. 1975. Reactions Responsible for High pH of Na-saturated Soils and Clays. *J. Soil Sci.* 26(2):169-175.
- García-Miragaya, J., R. Schargel, M. Ramia and L. Martín. 1990. Chemical Properties of soils where Palm Trees Grow in Venezuela. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 21:337-349.
- Guerrero-Alves, J. 1998. Génesis de Suelos Sódicos en Diferentes Ambientes Edafoclimáticos de Venezuela. Tesis Doctoral. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. 237 pp.
- Guerrero-Alves, J., I. Pla-Sentís, and R. Camacho. 2002. A model to explain high values of pH in an alkali sodic soil. *Scientia Agricola* 59(4):763-770.
- Guerrero-Alves, J., I. Pla-Sentís y R. Camacho. 2004. Génesis de un suelo sódico alcalino en Chaguaramas, estado Guárico, Venezuela. *Agronomía Trop.* 54(4):433-459.
- Guerrero-Alves, J., I. Pla-Sentís, R. Camacho, A. Valera y J. Ferrer. 2007. Génesis de un suelo salino sódico de Tucupido, Estado Guárico-Venezuela. *Agronomía Trop.* 57(3):171-188.
- Gupta, R. K. and I. P. Abrol. 1990. Reclamation and management of alkali soils. *Indian J. Agric. Sci.* 60 (1):1-16.
- Hayes, M. H. B. and R. S. Swift. 1978. The chemistry of soil organic colloids. In: 'The Chemistry of Soil Constituents' (Greenland y Hayes ed.), Cap. 3, 1ra ed. Wiley-Interscience Publication, William Clowes & Sons, Londres. pp. 179-320.
- Jackson, M. L. 1969. Soil chemical analysis advanced course. 2 da ed. M. L. Jackson, USA.
- Jin, H., P. Plaha, J. Y. Park, C. P. Hong, I. S. Lee, Z. H. Yang, G. B. Jiang, S. S. Kwak, S. K. Liu, J. S. Lee, Y. A. Kim and Y. P. Lim. 2006. Comparative EST profiles of leaf and root of *Leymus chinensis*, a xerophilous grass adapted to high pH sodic soil. *Plant Science* 170:1 081-1 086.
- Lerman, A., L. Wu and F. T. Mackenzie. 2007. CO₂ and H₂SO₄ consumption in weathering and material transport to the ocean, and their role in the global carbon balance. *Marine Chemistry* 106:326-350.
- Mahaney, W.C., R. W. Dirszowsky, M. W. Milner, R. Harmsen, S. A. Finkelstein, V. Kalm, M. Bezada and R. G. V. Hancock. 2007a. Soil stratigraphy and plant-soil interactions on a Late Glacial-Holocene fluvial terrace sequence, Sierra Nevada National Park, northern Venezuelan Andes. *J. South Am. Earth Sci.* 23: 46-60.
- Mahaney, W.C., M. W. Milner, V. Kalm, R. W. Dirszowsky, R. G. V. Hancock and R. P. Beukens. 2007b. Evidence for a Younger Dryas glacial advance in the Andes of northwestern Venezuela. *Geomorphology*, doi: 10.1016/j.geomorph.2007.08.002 (En prensa).
- Malagón, D. 1979. Fundamentos de Mineralogía de Suelos. Ira ed. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Mérida (Venezuela), 747 pp.
- Nakayama, F.S. 1970. Hydrolysis of CaCO₃, Na₂CO₃ y NaHCO₃ and their combinations in the presence and absence of external CO₂ source. *Soil Sci.* 109:391-398.
- Ortiz-Jaureguizar, E. and G. A. Cladera. 2006. Paleo-environmental evolution of southern South America during the Cenozoic. *J. Arid Envir.* 66:498-532.
- Pal, D. K., P. Srivastava, S. L. Durge and T. Bhattacharyya. 2003. Role of microtopography in the formation of sodic soils in the semi-arid part of the Indo-Gangetic Plains, India. *Catena* 51:3-31.
- Parfenoff, A., C. Pomerol et J. Tourenq. 1970. Les Minéraux en Grains. Méthodes d' étude et détermination. 6ta ed. Masson et Cie, éditeurs, París (Francia). 578 pp.
- Pla Sentís, I. 1969. Metodología de laboratorio recomendada para el diagnóstico de salinidad y alcalinidad en suelos, aguas, y plantas. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Maracay, pp. 103.
- Pla Sentís, I. 1983. Metodología para la Caracterización Física con fines de Diagnóstico de Problemas de Manejo y Conservación de Suelos en Condiciones Tropicales. *Revista Alcance* N° 32:96.
- Pla Sentís, I. 1985. Origen, Distribución y Diagnóstico de Suelos Afectados por Sales en Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* XIV (1-2):125-150.

- Pla Sentís, I. 1988. Riego y Desarrollo de Suelos Afectados por Sales en Condiciones Tropicales. *Soil Tech.* 1:13-35.
- Porta, J., M. López-Acevedo y C. Roquero. 1999. *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 849 pp.
- Robbins, C.W. 1989. Sample Preparation for Determining Ions in Dark Colored Sodic Soil Extracts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:721-725.
- Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. United States Department of Agriculture (USDA), Agriculture Handbook Nro 60. Washington, 160 pp.
- Schargel, R. 1984. Características y Génesis de Suelos con Horizontes Nátricos en el Alto Apure. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología, Serie Producción Agrícola* 5:85-89.
- Schargel, R., P. Arrieta y R. Sequera. 1988. Características y Manejo de una Asociación de Tropaqualfs, Haplustalfs y Natraqualfs en el Estado Portuguesa, Venezuela. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología* 6(1-2):9-16.
- Schwertmann, U. and R. M. Taylor. 1977. Iron Oxides. **In:** 'Minerals in Soil Environments' (ed. J.B. Dixon y S.B. Weed), Cap. 5, *Soil Sci. Soc. of America*. pp. 145-180.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil Survey Manual* USDA Handbook 18. United States department of Agriculture Soil Management Support Services. SMSS Technical Monograph N° 19. Four Edition. Virginia Polytechnic Institute and State University. 436 pp.
- Soil Survey Staff. 1975. *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service, 754 pp.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service, 2nd ed.
- Soil Survey Staff. 2006. *Keys to Soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Tenth Edition. 341 pp.
- Stansell, N. D., P. J. Polissar and M. B. Abbott. 2007. Last glacial maximum equilibrium-line altitude and paleo-temperature reconstructions for the Cordillera de Mérida, Venezuelan Andes. *Quaternary Research* 67:115-127.
- Van Beek, C. G. and N. Van Breemen. 1973. The Alkalinity of Alkali Soils. *J. Soil Sci.* 24:129-136.

IMPACTO DEL TIPO DE USO DE LA TIERRA SOBRE PROPIEDADES DEL SUELO EN LA DEPRESIÓN DE QUÍBOR¹

IMPACT OF TYPE OF LAND USE ON SOIL PROPERTIES IN THE DEPRESSION OF QUIBOR¹

Duilio Torres*, Milagros Aparicio*, Marisol López**, Jorge Contreras* e Ingrid Acevedo***

¹Trabajo financiado por el INIA, Convenio de cooperación Cuba-Venezuela-MPPAT-INIA, Proyecto: Innovación Tecnológica en Biofertilizantes para Agrosistemas Venezolanos Sustentables, Código:7-281-150-341 y al Consejo de Desarrollo Científico y Tecnológico de la UCLA (CDCHT) proyecto registrado bajo el código 005-RAG-2008.

* Profesores. Universidad Centrooccidental "Lisandro Alvarado". Departamento de Química y Suelos. Unidad de Investigación de Suelos y Nutrición Mineral de Plantas" Email: duiliotorres@ucla.edu.ve. *** Decanato de Ciencias Veterinarias

** INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas (CENIAP). Zona Universitaria 4579. Apdo. 4846. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela. Email: mlopez@inia.gob.ve.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de tipos de uso de la tierra (TUT) de la depresión de Quíbor, estado Lara en suelos de las series Chaimare y Quíbor sobre propiedades físicas, químicas y biológicas, determinadas en muestras de suelo alteradas, no alteradas y rizosféricas en los manejos: TUT-aguacate, TUT Cebolla -manejo convencional-, TUT-Cilantro, TUT-lechosa, TUT maíz dulce -fertilización orgánica y TUT-Cebolla fertilización orgánicas. Las propiedades químicas y físicas del suelo se relacionaron con la presencia de microorganismos de vida libre con potencial para fijar nitrógeno atmosférico (FNVL) y solubilizar fósforo (SF). Los resultados muestran la recuperación de lotes de producción con las prácticas que incluyeron períodos de descanso y fertilización con abonos orgánicos, reflejado en propiedades físicas, químicas y en la presencia de cepas FNVL y SF, ya que el crecimiento y número de colonias fue mayor en la serie Quíbor donde predominan los usos bajo manejo combinado de fertilización orgánica con agrotóxicos para controlar plagas y enfermedades y períodos de descanso en comparación con la serie Chaimare que mantuvo el manejo convencional (agrotóxicos para plagas y enfermedades y fertilización inorgánica). Las FNVL fueron más afectadas por los TUT que las SF. Los TUT maíz dulce y cebolla con fertilización orgánica y lechosa presentaron mejores condiciones físicas, incrementos en materia orgánica y mayor número de cepas FNVL y SF.

Palabras Clave: Biofertilizantes; fertilidad; tipos de uso de la tierra (TUT); Serie Quíbor; Serie Chaimare.

SUMMARY

In order to evaluate the effects on Land use on soils chemical, physical and biological parameters of Chaimare and Quibor soils series of Lara state, altered, no-altered and rizospheric soils samples were collected in some land use such as: TUT-Avocado, TUT Onion (conventional management), TUT-Pawpaw, TUT-Coriander, and TUT sweet maize under organic fertilizer and TUT- Onion (under organic fertilizer). chemical and physical properties were evaluated in all land uses to determined relationship between soil quality with the abundance of free-living organisms with the potential to fix atmospheric nitrogen (FLFN) and solubilize phosphorus (SP). Results showed that the number of colonies FLFN and SP was greater in the Quibor series where they predominate and management with organic fertilizer in comparison to the Chaimare series, also the type of land management affected most to the FLFN that the SP, since that the number of colonies and selected strain were always greater for this type of bacteria in all land uses. The uses with organic fertilizer (sweet maize, pawpaw and onion), showed better soil physical conditions, and organic matter increase, were those that presented higher number of FLFN and SP.

Key words: Biofertilizer; fertility; land utility types; Quibor Serie; Chaimare Serie.

RECIBIDO: enero 19, 2009

ACEPTADO: abril 29, 2009

INTRODUCCIÓN

Venezuela presenta alrededor de 32% de suelos de muy baja fertilidad natural (Comerma y Paredes, 1978) cuyas limitaciones por acidez varía desde ligera hasta extremadamente ácidos (López *et al.*, 1989), lo cual condujo a utilizar prácticas dirigidas a incrementar la capacidad productiva de estos suelos y cubrir los requerimientos nutricionales de los cultivos de interés alimenticio-principalmente; en este sentido, zonas agrícolas fueron sometidas al manejo convencional basado en altos insumos, originado un deterioro físico, químico y biológico de los suelos, debido entre otros factores, al uso intensivo del monocultivo, con excesiva mecanización, inadecuado uso de fertilizantes, enmiendas y plaguicidas

En el contexto antes expuesto, al diagnosticarse el nivel de fertilidad de un lote de producción agrícola, los problemas se han asociados a baja disponibilidad de nutrientes (López *et al.*, 2006a), salinidad (Henríquez, 2000) y mayor acidificación en casos particulares (López *et al.*, 2006). Sin embargo, desde el punto de vista de la fertilidad integral del suelo, los efectos negativos del modelo de altos insumos, van más allá de los aspectos químicos y físicos, ya que se ha demostrado que algunas prácticas afectan en mayor intensidad la población y actividad de microorganismos benéficos como el caso de las micorrizas (López *et al.*, 2007; Toro *et al.*, 2008) y bacterias estimuladoras del crecimiento vegetal (Toro *et al.*, 2008).

En tal sentido, López *et al.* (2007), demostraron que los sistemas agrícolas convencionales, donde se aplican altas dosis de fósforo (P) con el criterio de disponibilidad de este elemento para cubrir los requerimientos del P en cacao, se redujo considerablemente la producción de esporas de hongos micorrízicos, afectando procesos biológicos como las micorrizas, simbiosis vital en este cultivo debido a que es micótrofo obligado, encontrando una reducción en el número de esporas/100 g de suelo de: 11, 32 y 39 al aplicar dosis de P de 45, 90 y 135 g planta⁻¹, respectivamente, de estas dosis evaluadas, las recomendadas en el instructivo utilizado en los laboratorios de servicio de análisis de suelo para cubrir los requerimientos del cultivo fue de 90 g planta kg ha⁻¹, dosis que redujo estas estructuras micorrízicas en 39%.

Entre las zonas más degradadas en sus propiedades físicas, químicas y biológicas por el manejo inadecuado de los agrosistemas, se encuentra el Valle de Quibor, estado Lara (Henríquez, 2000, 2003). Los antecedentes mencionados han conllevado a dirigir líneas de investigación bajo sistemas de producción más sustentables, a

fin de generar conocimientos y tecnologías que propicien modelos alternativos al de altos insumos, basados en el aprovechamiento de los recursos autóctonos y locales, los cuales manejados con principios agroecológicos contribuyen al reciclaje de nutrientes.

Entre las prácticas se encuentran el uso de abonos orgánicos de origen animal y vegetal, compost, lodos residuales y otros, así como los biológicos a base de microorganismos presentes en el suelo, los cuales, debidamente seleccionados son capaces de aportar nutrientes y otras sustancias promotoras del crecimiento vegetal. Convencionalmente, el crecimiento y productividad de los cultivos se ha sustentado en el uso de los fertilizantes minerales o inorgánicos, generando efectos colaterales no deseables, además de los costos energéticos, ecológicos, problemas de salud pública, dependencia tecnológica y financiera implícitos en el manejo de altos insumos, lo cual es contrario a los principios que deben regir la agricultura sustentable, lo que hace necesario disponer de estrategias que permitan mitigar los efectos secundarios de este tipo de fertilización.

Una de las opciones es incorporar al manejo de los agrosistemas tecnologías que propicien los procesos naturales, biológicos, como los biofertilizantes con un enfoque integral de la fertilidad del suelo. Entre los procesos biológicos, Chirinos *et al.* (2006) hace referencia a la fijación biológica de nitrógeno (FBN) simbiótica, la cual juega un importante rol en la activación de los sistemas agrícolas sustentables por su beneficio ambiental, cuya activación natural a través de inoculación en agrosistemas, pueden contribuir a reducir la necesidad del uso de fertilizantes nitrogenados de origen industrial con su consiguiente efecto benéfico al ciclo del nitrógeno (N), reducción del calentamiento global y el saneamiento de las aguas subterráneas y superficiales.

Este proceso depende básicamente de la acción de los microorganismos capaces de fijar biológicamente el dinitrógeno (FBN₂), tanto en forma simbiótica como asimbiótica, así como de las plantas que establecen una relación simbiótica con bacterias específicas del género *Rhizobium* o *Bradyrhizobium*, aprovechando las fuentes de N para el desarrollo de sus procesos metabólicos (Ardila *et al.*, 2006) y la asociación de bacterias de vida libre con las raíces en la zona rizosférica (Martínez *et al.*, 2007).

Las investigaciones utilizando inoculantes basados en de microorganismos han demostrado su importancia de la FBN₂, en el caso de las bacterias llamadas asocia-

tivas o de vida libre, Pulido *et al.* (2003) al estudiar la inoculación simple y combinada, mediante recubrimiento de las semillas de cebolla y tomate con *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Burkholderia cepacia* y *Pseudomonas fluorescens* y hongos micorrízicos arbusculares -HMA- (*Glomus clarum*, *G. fasciculatum*, *G. mosseae*, *G. aggregatum* y *G. versiculiferum*), obtuvo que la inoculación con *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum* y *Burkholderia cepacia* permitió obtener plantas de tomate de calidad equivalente a la alcanzada con la fertilización inorgánica (FI), mientras que para la cebolla, sólo *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* permitieron la obtención de plantas de alta calidad.

Por otra parte, Ivan *et al.* (2006), utilizando *Azospirillum brasilense* como inoculante en girasol, observaron un incremento de 7,8% en los rendimientos en las plantas inoculadas en relación a las no inoculadas. Así mismo, Aguirre *et al.* (2007), investigaron el efecto de la biofertilización en vivero del cacao con la bacteria *Azospirillum brasilense* y el hongo, *Glomus intraradices*, encontrando una mayor altura de las plantas, un mayor número de hojas y peso por planta en el tratamiento con inoculantes.

Por su parte, Uribe *et al.* (2007), investigaron sobre el mejoramiento en la eficiencia de FI con biofertilizantes para producir maíz en suelo Alfisol, los microorganismos utilizados en los tratamientos fueron: hongos micorrízicos (*Glomus intraradice*), bacteria fijadora de nitrógeno de vida libre -FNVL- (*Azospirillum brasilense*) y la fitohormona Brassinoesteroide, las cuales se combinaron con la FI de origen industrial utilizando dosis de N, P y K de 13-33-00, 26-66-00 y 40-100-00 (kg ha⁻¹), respectivamente, para estructurar los tratamientos evaluados. Los resultados mostraron un efecto estadísticamente igual entre los biofertilizantes y la FI con 40-100-00 (kg ha⁻¹) sobre rendimiento, lo que indica que los primeros pudieran contribuir a mejorar la eficiencia en el uso de FI.

Así mismo, el uso de bacterias capaces de solubilizar P (SF), cobran vital importancia en los agroecosistemas tropicales dado que los principales tipos de fosfatos se encuentran insolubles, ya sea fijados al Calcio (Ca) en suelos alcalinos o fijados al aluminio o al hierro en suelos ácidos, así como formando compuestos orgánicos. En este orden, en Venezuela el uso de estas bacterias ha sido evaluado en suelos ácidos, dado la capacidad de éstos de acidificar el medio circundante, debido a la propiedad que poseen dichas bacterias de producir ácidos orgánicos que actúan sobre fosfatos de

baja solubilidad (Illmer y Schinner, 1995; Illmer *et al.*, 1995) y hacen disponible P a las plantas. Su aplicación como Biofertilizantes en los sistemas agrícolas tropicales debe considerarse como una alternativa agroecológica (Vessey, 2003).

En relación a las investigaciones realizadas en el país, España *et al.* (2006), encontraron que 80% del N en la especie *Indigosphaera* (añil) provino de la fijación biológica en suelos ácidos de sabanas, utilizando manejo agroecológico, bajas dosis de N-inorgánico y roca fosfórica Reicito como fuente de P. Así mismo, Velásquez *et al.* (2008) encontraron rendimientos similares con la aplicación de cepas SF y FNVL en combinación con fracciones de FI, que cuando se utilizaron sólo estos últimos fertilizantes.

Es por ello que el objetivo del trabajo fue evaluar el impacto del uso de la tierra (TUT) sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas, estas últimas evaluadas a través de la presencia de cepas FNVL y SF, cuyo potencial pudiera ser evaluado para ser utilizadas como biofertilizantes en estudios posteriores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección del sitio de estudio: El estudio fue llevado a cabo en la serie "Chaimare y Quíbor" de la depresión de Quíbor, municipio Jiménez, del estado Lara. Para el estudio del impacto de los sistemas de producción agrícola se seleccionaron los usos más representativos en fincas de productores ubicadas en las series Chaimare y Quíbor, siendo los usos seleccionados TUT-aguacate, TUT Cebolla-manejo convencional-, TUT-Cilantro y TUT- lechosa en la serie Chaimare y TUT maíz dulce fertilización orgánica y TUT- Cebolla -fertilización orgánica- en la serie Quíbor. A continuación se describen los tipos de uso evaluados, las características climáticas y edáficas de cada zona, así como de los sistemas de manejo seleccionados:

Serie Chaimare: Caracterizada fisiográficamente como una napa de desborde, de topografía plana con pendiente general de un 0,5% y de microrelieve plano y liso. La caracterización del perfil realizada por Pérez *et al.* (1992) indica que es un suelo de textura uniformemente francosa, variando entre franco limosa, franca y franco arcillosa; el color varía muy poco y es normalmente marrón a marrón oscuro en el horizonte superficial y marrón amarillento en el resto del perfil. La estructura es uniformemente blocosa muy débil, normalmente con tendencia a masiva.

Serie Quíbor: Rodríguez y Guédez (1985), clasificó este suelo como un Camborthid, arcilloso fino, ilítico e isohipertérmico, con las características de ser un suelo calcáreo, con alta actividad y dominio del Ca en el complejo de cambio, salino, bajo en materia orgánica (MO). En cuanto a la mineralogía, Rodríguez (1982), identificó la presencia de arcillas dispersivas (ilita y pirofilita) y expansivas (montmorillonita)

Características de las unidades de muestreo: Para el estudio del impacto de los sistemas de producción agrícola se seleccionaron los usos más representativos en fincas de productores de las series Chaimare y Quíbor, siendo los usos seleccionados TUT-aguacate, TUT Cebolla-manejo convencional-, TUT-Cilantro y TUT-lechosa en la serie Chaimare y TUT maíz dulce -fertilización orgánica- y TUT -Cebolla-fertilización orgánica- en la serie Quíbor.

Serie Chaimare:

TUT-Aguacate: Ubicado en la serie Chaimare en las coordenadas 429 181 este y 1 100 838 norte, este tipo de uso de se caracteriza por no utilizar fertilizantes y no aplicar ningún manejo agronómico, tienen más de 20 años de sembradas. Este TUT fue utilizado como referencia por no existir en la parcela zonas bajo vegetación natural.

TUT- Cebolla manejo convencional: Ubicado en la Finca "El Nono" en las coordenadas 431 018 este y 1 108 000 norte. Este sistema se caracteriza por un manejo intensivo de la tierra con mecanización convencional, FI del suelo, control de plagas con agrotóxicos y riego en serpentin. La cebolla sembrada aquí proviene de semilleros realizados dentro de la misma unidad de producción.

TUT- Cilantro: Ubicado en la finca la "Guadalupana" en las coordenadas 429 148 este y 1 100 837 norte, suelo con más de tres años de descanso, tradicionalmente se producía cebolla, cuyo manejo incluía LC, FI, control de plagas y enfermedades con agrotóxicos y riego por surcos largos.

TUT- Lechosa: Ubicado en la finca la "Guadalupana" en las coordenadas 429 148 este y 1 000 800 norte. Este sistema de manejo se caracteriza por utilizar LC, FI, control de plagas y enfermedades con agrotóxicos y riego por surcos largos.

Serie Quíbor:

TUT- Maíz Dulce: Ubicado en la finca el "Caujaral", el manejo del suelo se caracteriza por la utilización de mecanización convencional (3 pases de rastras) fertilización orgánica (FO), control de plagas mediante el uso de agroquímicos, el sistema de riego empleado en este uso de la tierra consiste en surcos largos. El maíz cosechado en esta unidad de producción es con fines agroindustriales.

TUT-Cebolla- fertilización orgánica: Ubicado en la finca "El Caujaral", el manejo del suelo consiste en LC (aproximadamente 3 pase de rastras), la fertilización consiste en abonamiento orgánico basado en compost de diferentes estiércoles como gallinaza, pero el control de plaga parte del uso de productos agrotóxicos. El sistema de riego empleado en esta unidad de producción es surcos tipo serpentina.

Diseño de muestreo de suelo: Se realizó un diseño completamente aleatorio, se tomó como variable de clasificación el TUT y dentro de cada unidad de muestreo se obtuvo 10 muestras de suelos (réplicas), con el fin de evaluar los cambios en las características, físicas, químicas y biológicas como resultado del impacto del uso y manejo a que ha estado sometido el suelo.

En los mismos puntos de muestreo, se colectó tres tipos de muestras de suelo: a) no alteradas, con el objetivo de relacionar los TUT con cambios en las propiedades físicas, b) muestras alteradas para evaluar la relación entre el impacto del uso de la tierra y las propiedades químicas, de 0-20 cm profundidad y c) muestras rizosféricas, de 0 a 10 cm de profundidad para aislar las cepas FNVL y SF con la finalidad de averiguar el efecto de los TUT sobre estos microorganismos, a través del crecimiento en medios específicos y el número de colonias.

Variables evaluadas:

Químicas: Reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), disponibilidad de macronutrientes (N, P, K), siguiendo la metodología de análisis de suelo con fines de fertilización (Instituto de Edafología, 1993). El pH fue medido por el método potenciométrico en relación agua: suelo (2:1), el carbono orgánico por el método de (Walkley y Black, 1934), la CIC por extracción con acetato de amonio, el P por Olsen.

Físicas: Las variables físicas consideradas fueron: densidad aparente (Da), macroporosidad, microporosidad, conductividad hidráulica saturada (CHS), según la metodología descrita por (Pla-Sentís, 1983).

Biológicas: Las cepas bacterianas FNVL se aislaron en el medio de cultivo Ashby y las bacterias SF en medio Pikovskaya siguiendo los métodos y procedimientos sugeridos por Martínez *et al.* (2006).

Aislamiento de cepas

Aproximadamente 50 gramos del suelo muestreado en la rizosfera de cada TUT evaluado fue llevado al laboratorio para realizar los aislamientos correspondientes según Martínez *et al.* (2006).

Aislamiento de cepas fijadoras de nitrógeno de vida libre (FNVL)

Se pesó 1 gramo de suelo colectado de la rizósfera del agrosistema seleccionado, luego se realizaron diluciones hasta 10⁻⁶, de esta última dilución se tomó 0,1 ml y se extendió en cajas de Petri con medio de cultivo Ashby, a los 5 días se contaron las colonias, realizándose el aislamiento de las colonias seleccionadas en tubos de ensayo con el mismo medio de cultivo.

Aislamiento de cepas solubilizadora de fósforo (SF)

Se pesó 1 gramo de suelo rizosférico, se suspendió en agua estéril, para efectuarse diluciones hasta 10⁻⁹, luego se extendió 0,1 ml en cajas Petri conteniendo medio de cultivo Pikovskaya y se incubó durante 5 d, posteriormente fueron aisladas las colonias que formaron halo transparente -como indicador de capacidad de SF. Estas cepas serán utilizadas para preparar el biofertilizante (preinóculo) para pruebas posteriores.

Selección de cepas

Para la selección de las cepas se tomó como criterio en el caso de las bacterias SF en el medio Pikovskaya, aquellas que presentar halo visible y bien diferenciado, lo cual es indicador de su capacidad para SF. En el caso de bacterias FNVL, desarrolladas el medio Ashby, se seleccionaron aquellas que evidenciaron su característica específica (como una gota de agua fija en el medio).

Análisis de los datos: Se realizó un análisis de varianza (ANAVAR) para determinar diferencias entre las propiedades de suelo evaluadas en función del sistema de

manejo empleado, luego en aquellas variables donde se presentaron diferencias significativas se realizaron prueba de medias de Tukey para separar los tratamientos en función de la magnitud de los valores obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables físicas de las series Chaimare y Quíbor

Los resultados obtenidos muestran que producto de los TUT existieron diferencias significativas ($P < 0,05$) para las variables físicas: Da, espacio poroso total, macro y microporosidad, velocidad de infiltración, y para las variables químicas: materia orgánica (MO), fósforo (P), conductividad eléctrica (CE) y pH.

Se observa (Cuadro 1) que el uso con cilantro presentó valores similares a los señalados en el cultivo con aguacate (tratamiento de referencia), para la mayoría de estas variables, lo que indica que a pesar de que este lote de producción estuvo recibiendo prácticas convencionales cuando produjo cebolla, el tiempo de tres años de descanso contribuyó a la recuperación del suelo, mientras que el cultivo de cebolla generó deterioro de la calidad del suelo al presentar valores estadísticamente inferiores a los usos con aguacate y cilantro para las variables espacio poroso total, macroporosidad, CHS y retención de humedad e incrementó en los valores de Da. Esto es debido al manejo intensivo de la tierra con alto uso de agrotóxicos y mecanización intrínsecos del uso convencional del cultivo de la cebolla.

Estos resultados fueron similares a los presentados por Assis y Lancas (2003) quienes señalaron que los cambios de sistemas de manejo (la no labranza o reducida y largo tiempo de descanso) ayudan a reducir la Da y mejorar las propiedades físicas del suelo. En este caso, el TUT aguacate con más de 20 años de descanso y cilantro con 2 años bajo barbecho contribuyeron a la recuperación de las propiedades físicas del suelo, contrario a lo observado en el sistema de manejo cebolla donde la excesiva mecanización del suelo ha generado un grave problema de degradación, al presentar mayor deterioro en las propiedades físicas.

Variables químicas de las series Chaimare y Quíbor

En relación a las variables químicas, se observó un incremento de los valores de MO en los usos aguacate y maíz dulce, así como cilantro. En el caso del aguacate los niveles de MO pueden ser incrementados por los aportes

de residuos orgánicos provenientes de la hojarasca, lo cual asociado a la baja intensidad en el manejo de este cultivo ayuda a su acumulación. Por otra parte, en el uso con cilantro los valores observados obedecen al tiempo de descanso en que se mantuvo esta parcela, mientras que los niveles de MO encontrados en el maíz dulce, se deben a que esta parcela fue fertilizada con abonos orgánicos.

Con respecto a la fertilidad del suelo desde el punto de vista químico, los niveles más altos de P fueron de 60 y 52 mg kg⁻¹ para los TUT maíz dulce y cebolla bajo fertilización orgánica, respectivamente, mientras que el K estuvo entre 560 y 240 mg kg⁻¹ para los TUT cebolla con FO y maíz dulce con FO, respectivamente.

Los niveles de fertilidad más bajos se encontraron en los TUT con los cultivos que recibieron manejo convencional, como en el caso cebolla y cilantro. Así mismo, los valores de CE tendieron a ser mayores en los cultivos bajo FO, lo cual puede estar relacionado con la naturaleza de los abonos orgánicos empleados en el caso del TUT- cebolla que recibió FO, pero los TUTs- lechosa, cilantro y aguacate puede ser atribuido a la condición de salinidad de la serie Quíbor, los cuales presentan altos contenidos de Ca (Cuadro 2) debido al material parental de estos suelos. Sin embargo, en el TUT con cebolla y manejo convencional que recibió riego por goteo, los valores de CE fueron más bajos, lo cual pudo

estar asociado a que el tipo de riego contribuyó a disminuir la presencia de las sales en la rizosfera de la planta.

Los resultados sugieren que antes del riego la concentración de sales cercana al tallo de la planta constituye un grave riesgo para el desarrollo del cultivo, debido al efecto nocivo que tienen las sales sobre la fisiología de las plantas, la aplicación del riego por goteo disminuyó considerablemente los riesgos de daño del cultivo ya que permitió que las sales se alejaran del tallo de la planta, por lo cual, en este caso, el riego por goteo no sólo permite minimizar el gasto de agua, sino, que a su vez reduce los riesgos de salinización. En este sentido, Kahlon *et al.* (2004) y Bahdr y Taalab (2007) señalaron que en riego por goteo, la menor concentración de sales se encuentra hacia la base de la planta y la misma se incrementa en profundidad, por el contrario, en riego por surco las sales se concentran en la base y decrecen en profundidad, logrando que luego de la aplicación del riego el movimiento de las sales se dirigió a los estratos más profundos.

En función de estos resultados, los usos con un mayor tiempo de descanso o bajo abonamiento orgánico (aguacate, lechosa, maíz dulce y cebolla) permitieron una recuperación tanto de las propiedades físicas del suelo, como de sus propiedades químicas, mejorando la aireación y reduciendo los problemas de infiltración, condiciones que pudieron favorecer el mejor desarrollo de los microorganismos (Cuadro 3).

CUADRO 1. Promedio de las variables físicas serie Chaimare y Quíbor.

| Variables Física | Tipo de uso | | | | | |
|--------------------------|-------------|----------|----------|----------|------------|--------------------------------|
| | Aguacate | Cebolla | Cilantro | Lechosa | Maíz dulce | Cebolla fertilización orgánica |
| Da (g cm ⁻³) | 1,35 b | 1,42 c | 1,34 b | 1,35 b | 1,26 a | 1,24 a |
| EPT (%) | 50,84 abc | 46,75 bc | 52,37 bc | 50,24 ab | 54,84 cd | 58,74 d |
| Macroporos (%) | 13,99 b | 11,90 b | 14,75 b | 13,74 ab | 14,58b | 7,31 a |
| Microporos (%) | 36,25 a | 34,84 a | 38,79 bc | 37,10 ab | 40,26 c | 51,44 d |
| Ks (cm h ⁻¹) | 1,26 a | 0,21 a | 0,33 a | 0,30 a | 0,49 a | 4,50 a |
| Humedad (%) | 26,97 ab | 24,54 a | 29,04 b | 27,53 b | 32,00 c | 41,90 d |

Da: densidad aparente, EPT: espacio poroso total, Ks: conductividad hidráulica saturada. Comparaciones de medias según Tukey, se realizaron en la misma fila, letras iguales no poseen diferencias significativas y la prueba utilizada.

CUADRO 2. Caracterización química de los suelos de las series Chaimare y Quíbor.

| Variables químicas | Tipo de Uso | | | | | |
|---|-------------|---------|----------|---------|------------|------------------------------------|
| | Aguacate | Cebolla | Cilantro | Lechosa | Maíz-Dulce | Cebolla con fertilización orgánica |
| Materia orgánica (%) | 2,00 | 1,32 | 1,77 | 1,55 | 1,83 | 1,51 |
| Fósforo (mg kg ⁻¹) | 7 | 39 | 32 | 85 | 60 | 52 |
| Potasio (mg kg ⁻¹) | 66 | 149 | 99 | 212 | 240 | 560 |
| Calcio (mg kg ⁻¹) | 1 200 | 1 200 | 1 200 | 1 200 | 1 200 | 1 200 |
| Magnesio (mg kg ⁻¹) | 400 | 122 | 400 | 400 | 364 | 400 |
| pH | 8,0 | 8,1 | 8,0 | 7,7 | 7,9 | 7,6 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 2,61 | 0,74 | 4,50 | 4,66 | 2,51 | 4,51 |

Así mismo, la incorporación de fuentes orgánicas contribuyó a una mayor disponibilidad de nutrimentos en los TUT con que recibieron este tipo de abono, lo cual no afectó el crecimiento de microorganismos FNVL y SF, estos resultados evidencian que el tiempo de descanso y el abonamiento orgánico son alternativas viables en la zona, para mejorar la calidad del suelo, tanto desde el punto de vista físico-químico como microbiológico.

Aislamiento de cepas

Relación tipos de uso y la diversidad microbiológica de las cepas

Una vez aisladas las cepas, se procedió a analizar los resultados tomando en cuenta el efecto del tipo de uso sobre el número de colonias formadas y el número de cepas seleccionadas, este análisis se hizo en función de los sitios evaluados y de los tipos de uso considerados.

En el Cuadro 3 se observa, en primer lugar que el número de colonias fue superior en la serie Chaimare que en la serie Quíbor con 35 y 20, respectivamente. Además se encontraron 14 colonias de FBN y 20 de SF en la serie Quíbor, mientras que en la serie Chaimare sólo se desarrollaron 6 colonias de FNVL y 14 de SF.

Por lo tanto, se puede considerar que en la serie Quíbor hay una tendencia a que la FO favorece el desarrollo de las colonias de los microorganismos especialmente en lo referente a las bacterias SF.

Diversos autores han manifestado la importancia del aislamiento e inoculación de microorganismos para mejorar la productividad agrícola, en tal sentido, Peña y Reyes (2007) al aislar e inocular cepas de *Rhizobium* encontró incremento en el crecimiento de plántulas de lechuga, específicamente con las productoras de hormonas de crecimiento. Así mismo, Vera *et al.* (2002) aislaron 18 hongos con capacidad SF no disponible a partir de agregados del suelo de la rizosfera del frutal arazas (*Eugenia stipitata*), encontrando aumento en los rendimientos.

En sus trabajos, López *et al.* (2008) evaluaron el efecto de cepas SF Y FN nativas de suelos ácidos sobre el desarrollo de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos, encontrando un efecto diferencial de las cepas evaluadas sobre el crecimiento del maíz en función a la disponibilidad de nutrimentos del suelo, siendo más efectivas en el suelo de mayor fertilidad.

En este estudio, las cepas SF presentaron mayor potencial de crecimiento en el suelo de menor disponibilidad de este elemento, mientras que la cepa fijadora de nitrógeno de forma asociativa logró un mejor comportamiento y efecto en el suelo de mayor disponibilidad de P.

En tal sentido López *et al.* (2008) señalan que la multiplicación de las bacterias fijadoras de nitrógeno en el suelo depende en gran medida de la disponibilidad de fósforo y potasio. La deficiencia de estos elementos reduce los niveles de biomasa bacteriana y, en consecuencia, disminuye la fijación de nitrógeno, lo cual

comienza cuando la concentración de P en el medio es de 0,004% y se inhibe cuando alcanza 0,8% (Mishustin y Silnikova, 1971).

En el Cuadro 3 se observa, que a pesar de que los usos con FO (maíz dulce y cebolla) ubicados en la serie Quíbor, promovieron un mayor desarrollo de colonias, la mayor cantidad de cepas seleccionadas, corresponden a la serie Chaimare con 5 cepas de FBN y 8 de SF, lo cual estuvo relacionado con las condiciones físicas del suelo, ya que a pesar de no usar MO, el tiempo de descanso, mejoró sustancialmente las condiciones físicas en la serie Chaimare, especialmente en los usos con el cultivo de lechosa y aguacate, lo cual permitió un mejor desarrollo de los microorganismos.

CUADRO 3. Número de colonias formadas y cepas seleccionadas en función de los tipos de uso evaluados.

| Tipo de uso | Colonias | | Cepas seleccionadas | |
|------------------------|----------|----|---------------------|----|
| | FBN | SF | FBN | SF |
| Serie Chaimare | | | | |
| Aguacate | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Cebolla ⁽¹⁾ | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Cilantro | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Lechosa | 3 | 9 | 2 | 4 |
| Total | 6 | 14 | 5 | 8 |
| Serie Quíbor | | | | |
| Maíz dulce | 9 | 16 | 1 | 2 |
| Cebolla ⁽²⁾ | 6 | 4 | 2 | 1 |
| Total | 15 | 20 | 3 | 3 |

⁽¹⁾ Manejo convencional; ⁽²⁾ Fertilización orgánica

Otro resultado importante a destacar es que en ambas series el mayor número de colonias correspondieron a SF con 14 para la serie Chaimare y 20 para la serie Quíbor, mientras que el número de colonia de FNVL fue de 14 en la serie Quíbor y de 6 en la serie Chaimare, siendo seleccionadas 8 cepas de SF y 5 FNVL en la serie Chaimare y 3 cepas para FNVL y 3 SF en la serie Quíbor. Estos resultados indican que el tipo de manejo no afectó significativamente el desarrollo de los SF, reflejándose que estos microorganismos son menos sensibles a las condiciones adversas del medio, tales como los problemas físicos y de salinidad observados en los suelos de la serie Chaimare, caracterizados por

excesiva mecanización (más de 3 pases de rastras), FI, así como las constantes aplicaciones de agroquímicos, característicos de la zona. Si bien estos primeros resultados dan una idea de la relación del TUT con el desarrollo de los microorganismos, se procedió a analizar los resultados en función de los tipos de uso evaluados, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 3.

En los TUT bajo FO o con mayor tiempo de descanso y menor uso de maquinaria y agroquímicos, ocurrió un mayor desarrollo de colonias FNVL con 9 para el TUT maíz dulce, 6 para el TUT cebolla con FO y 3 para el TUT- lechosa, mientras que en los usos de cebolla convencional, cilantro y aguacate (está en descanso, sin manejo maquinaria, ni agroquímicos) sólo se desarrollaron 1 colonia en cada uno.

Este resultado fue más evidente para el caso de los SF observando el mayor número de colonias en el maíz dulce bajo FO con 16, seguido del uso de lechosa con 9 y 4 en cebolla con FO. Cabe destacar que en los usos maíz dulce y cebolla cuyo manejo utiliza FO mientras que en el uso con cultivo de lechosa y descanso, favoreció la recuperación del suelo, lo cual mejoró sustancialmente las condiciones físicas del suelo al observarse menores valores de Da, mayor CHS, mayor macroporosidad, con respecto al uso con cebolla bajo manejo convencional, lo cual debería estar relacionado con el rendimiento de los cultivos. Cracogna *et al.* (2003) encontraron que al aplicar bacterias SF incrementaron variables de crecimiento y desarrollo en el cultivo de trigo. Igualmente Oviedo e Iglesia (2005) encontraron incremento en la altura y peso seco del pasto raygras al inocular bacterias SF combinado con bajas dosis de fertilizante fosforado.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos reflejan que los TUT maíz dulce y cebolla bajo manejo con FO en la serie Quíbor, favorece el desarrollo de las colonias de los microorganismos evaluados, especialmente las bacterias SF.
- La cantidad de cepas seleccionadas, pudo estar relacionada con las condiciones físicas del suelo, ya que a pesar de no usar MO, el tiempo de descanso, mejoró sustancialmente las condiciones físicas en la serie Chaimare, especialmente en el uso lechosa, lo cual permitió un mejor desarrollo de los microorganismos.

- El tipo de manejo bajo FO favoreció principalmente el desarrollo de los SF, a la vez estos microorganismos son menos afectados por las condiciones adversas del medio como son los problemas físicos y de salinidad de estos suelos, así como las constantes aplicaciones de agroquímicos en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J., A. Mendoza y J. Cadena. 2007. Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Dobeiner *Glumus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencias* 32(8):541-546.
- Assis, R. L. y K. P de Lanças. 2003. Of the adoption time of the no till system in the soil maximum bulk density and in the optimum moisture content for soil compaction in a red dystroferric Nitosol. *Energia na Agricultura* 18(2):22-33.
- Ardila, N. y L. Rondo. 2006. Fijación de Nitrógeno atmosférico. *Agricultura sensitiva*. Consultado **In:** www.agriculturasensitiva.com/n_atmosferico.htm
- Badr, M. A. y A. S. Taalab. 2007. Effects of drip irrigation and discharge rates on water and solutes dynamics in sandy soils and tomato yield. *Australian Journal of basic and applied sciences* 1(4):545-552.
- Bellone, C. y S. Carrizo de Bellone. 2001 *Azospirillum brasilense* en raíces de palto. **In:** III Reunión Nacional Científica Técnica de Biología de Suelo. III Encuentro sobre Fijación biológica de Nitrógeno. Actas y CD-ROM
- Cracogna, M., M. Iglesia, I. Díaz, N. González y M. Carvajal. 2003. Utilización de *Azospirillum* y bacterias solubilizadoras de fósforo en el cultivo de trigo. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Argentina. Universidad Nacional del Nordeste. 3 p.
- Chirinos, J., A. Leal y J. Montilla. 2007. Uso de Insumos Biológicos como alternativa para la Agricultura sostenible en la zona sur del estado Anzoátegui, *Revista Digital CENIAP HOY* 11 pp. 1-7.
- Comerma, J. y R. Paredes. 1978. Principales limitaciones y potencial agrícola de las tierras de Venezuela. *Agronomía Trop.* 28(2):71-85.
- España, M., E. Bisbal y B. Rodríguez. 2006. Study of nitrogen fixation by tropical legumes in acid soil from venezuelan savannas using ¹⁵N. *Interciencia* 31(3):197-201.
- Henríquez, M., O. Rodríguez, F. Montero y A. Hernández. 2000. Efecto de diferentes suspensiones de cardón dato, cardón lefaria, tuna española y PAM sobre algunas propiedades físicas de un suelo de Quibor-Lara. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 17:295-306.
- Henríquez, M., O. Rodríguez, F. Montero y A. Hernández. 2003. Efectos de acondicionadores naturales y sintéticos sobre los cationes solubles y la infiltración de agua en un aridisol. *Revista Brasileña de Pesquisa Agropecuaria*. 2:311-316.
- Instituto de Edafología. 1993. Métodos de análisis de suelos y plantas utilizados en el laboratorio general del Instituto de Edafología. Maracay. Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Venezuela. 89 p.
- Illmer, P. and F. Schinner. 1995. Solubilization of inorganic calcium phosphates-solubilization mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry* 27:257-263.
- Illmer, P., A. Barbato and F. Schinner. 1995. Solubilization of hardly soluble AlPO₄ with P-solubilizing microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry* 27:265-270.
- Iván, E., M. Iglesias, C. Sotelo y W. Trevisan. 2006. Ensayo de biofertilizantes en girasol utilizando inoculantes con *Azospirillum brasilense*. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Argentina. Universidad del Noroeste Resumen A-041.
- Kahlon, M. S., K. L. Khara and A. S. Josan. 2004. Salt and moisture distribution in rhizosphere under drip and furrow methods of irrigation. *Journal of Soils and Crops*, 14(2):224-229.
- López de R., I., M. Silva de y J. Comerma. 1987. Suelos Ácidos-Avance en la construcción del sistema experto para hacer recomendaciones en estos suelos. **In:** Simposio Manejo de Suelos Ácidos en los Trópicos. IX Congreso Venezolano y X CLCS. 9 p.

- López, M., I. López de Rojas y M. España. 2006. Fertilidad del Suelo y Estado Nutricional de las plantas. **In:** "El Duraznero en Venezuela. Diagnostico Rural Participativo. Clima en Unidades de Producción Fertilidad de Suelo y Estado Nutricional de las Plantas. Aspectos fitosanitarios. INIA.CENIAP. 26 p. (Serie B. N° 4. 123p).
- López, M., A. Bolívar, M. Salas y M. De Gouveia. 2006 a. Prácticas conservacionistas y rotación con quinchocho *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Alternativas sustentables para los agroecosistemas de sabanas de Guárico, Venezuela. *Agronomía Trop.* 56(1):75-109.
- López, M., I. López de Rojas, M. España, A. Izquierdo y L. Herrera. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrizícos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao* L. *Agronomía Trop.* 57(1):31-43.
- Toro, M., I. Bazó y M. López. 2008. Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras del crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Trop.* 58(3):215-221.
- López, M., R. Martínez-Viera, M. Brossard, A. Bolívar, N. Alfonzo, A. Alba y H. Abreo. 2008. Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos. *Agronomía Trop.* 58(4):391-401.
- Martínez, V. R., M. López, M. Brossard F., G. Tejeda G., H. Pereira A., C. Parra, J. Rodríguez S. y A. Alba. 2006. Procedimiento para el estudio y fabricación de biofertilizantes bacterianos. Maracay, Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). 88 p. (Serie B, N° 11).
- Matínez, V. R., M. López, B. Dibut-Álvarez, C. Parra Z. y J. Rodríguez Sánchez. 2007. La fijación biológica de nitrógeno atmosférico en condiciones tropicales. Ministerio del Poder Popular para la Agricultura. 172 p.
- Mishustin, E. N. and E. K. Silnikova. 1971. Biological fixation of atmospheric nitrogen. Mc. Millan Ed. Londres. 675 pp.
- Okon, Y. and C. A. Labandera-Gonzalez. 1994. Agronomic applications of Azospirillum. **In:** Improving Plant Productivity with Rhizosphere Bacteria (eds Ryder, M. H., Stephens, P. M. and Bowen, G. D.). Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Adelaide, Australia, pp. 274-278.
- Oviedo, M. y M. Iglesia. 2005. Utilización de bacterias solubilizadoras de fósforo en el cultivo de raygrás. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Resumen A-53.* 3 p
- Pedraza, R. and R. Díaz. 2001. *Azospirillum amazonense*: its presence in the sugar cane area of the province of Tucumán. *Rev Argent Microbiol* (4):199-201.
- Peña, H. e I. Reyes. 2007. Aislamiento y evaluación de bacterias fijadoras de nitrógeno y disolventes de fosfatos en la promoción del crecimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Interciencia.* 32(8):560-565.
- Pérez, M., J. J. Guédez, C. Ohep, F. Marcano y D. Francisco. 1992. Estudio semidetallado de reclasificación de tierras con fines de riego del valle de Quíbor. Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor. Barquisimeto. 193 p.
- Pla-Sentís, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnósticos de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Alcance* 32:92 p.
- Pulido, L., N. Medina y A. Cabrera. 2003. La biofertilización con rizobacterias y hongos micorrizícos arbusculares en la producción de posturas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y cebolla (*Allium cepa* L.). I. Crecimiento vegetativo. *Cultivos Tropicales* 24(1):15-24.
- Rodríguez, O. 1982. Mineralogy and related properties of soils from Lara landscapes. Tesis de MS. Georgia, EUA. Univ. de Georgia.
- Rodríguez, O. y J. Guédez. 1985. Mineralogía, génesis y propiedades químicas de un suelo bajo cultivo de café en Villanueva, E. Lara. FUDECO, Suplemento Técnico N° 31.
- Vessey, J. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil.* 255:(2)571-586.

Velásquez, L., A. Miliani, C. Coronel, R. González, M. López, M. Anzalone, D. Araujo, N. Almeida; N. Pieruzzini, R. Flores, Martínez-Viera y H. Pereira. 2008. Evaluación de la eficiencia de una cepa fijadora de nitrógeno y una solubilizadora de fósforo usados como biofertilizantes en el cultivo de maíz (Q-PM) en Turén estado Portuguesa. **In:** I Taller Nacional de biofertilizantes. Maracay, Edo Aragua. Memorias CD-ROM.

Vera, D. H. Pérez y H. Valencia. 2002. Aislamiento de hongos solubilizadores de fosfatos de la rizosfera de arazas (*Eugenia stipitata*, Myrtaceae). *Acta Biológica Colombiana*. 7(1):33-40.

Uribe, G., J. Petit y R. Dzib. 2007. Mejoramiento en la eficiencia de fertilizantes químicos con biofertilizantes para producir maíz en suelo Alfisol (Chac-lu'um). *Revista forestal venezolana*. 51(01):9-14.

Walkley, A. and A. Black. 1934. An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*. 37:29-38.

NOTA TÉCNICA

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS BIOQUÍMICOS EN UN CALCÁRICO SKELETIC CAMBISOL BAJO DIFERENTES USOS DE SUELO

EVALUATION OF BIOCHEMICAL PARAMETERS IN A CALCÁRICO SKELETIC CAMBISOL UNDER DIFFERENT GROUND USES

Mariela J. Navas Vásquez*, Marta Benito** y Alberto Masaguer**

*Investigadora. INIA-Anzoátegui. El Tigre. Venezuela. E-mail: mnavas@inia.gob.ve **Profesores. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Departamento de Edafología. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid, España. E-mail: marta.benito@upm.es; alberto.masaguer@upm.es

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue cuantificar la actividad de la deshidrogenasa, β -glucosidasa y la ureasa en un suelo sometido a diferentes usos, con la finalidad de establecer medidas potenciales del estado de degradación del suelo relacionada con su fertilidad. Los usos de suelo estudiados fueron olivar en activo, (O1); olivar en abandono, (O2); bosque de repoblación de pino (P) y bosque natural de quejigo (Q) en un mismo suelo (Calcaric Skeletic Cambisol). Se analizaron además de la actividad de la deshidrogenasa, ureasa y β -glucosidasa, el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica oxidable, carbono orgánico total y nitrógeno total (NT). La cuantificación de la actividad de la deshidrogenasa y ureasa mostraron el mismo patrón de comportamiento, la mayor actividad en el Q y la menor en el O1. Existe una alta correlación de la actividad de la ureasa con el NT ($r=0,70$), concentración de fósforo ($r=0,50$), y el carbono fácilmente oxidable ($r=0,70$). De la evaluación de la actividad de la β -glucosidasa se deduce que el estado de descomposición de la materia orgánica del suelo, donde se encuentra el O2 en sus etapas iniciales. En conclusión se puede decir, por un lado, que el olivar activo es el más degradado, seguido por el bosque de repoblación de pinos. Por otro lado, el bosque de quejigo presenta la mayor fertilidad y el olivar en abandono una fertilidad potencial, que se confirma con los valores de la actividad de β -glucosidasa.

Palabras Clave: Deshidrogenasa; ureasa; β -glucosidasa; usos del suelo.

SUMMARY

The objective of this study is to quantify the activity of the dehydrogenase, β -glucosidase and the urease in a soil with different uses, with the purpose of establishing potential measures of the chemical degradation. Four different soil uses of the same soil (Calcaric Skeletic Cambisol) were studied: an active olive grove (O1); an abandoned olive grove (O2); reforested pine grove (P) and natural gall-oak grove (Q). In addition of the dehydrogenase, urease and β -glucosidase activities, the following chemical parameters were analysed: pH, electric conductivity, oxidizable organic matter, total organic carbon, and total nitrogen. The quantification of the dehydrogenase and urease activities showed the same behavior pattern ($r=0.54$, $P<0.01$), the highest activity was found in the gall-oak grove and the minor for the active olive grove. The β -glucosidase activity results showed that the organic matter in the abandoned olive grove had higher cellulose content than the organic matter in the others uses. If the natural fertility of the different uses is studied, we can conclude that the active olive grove was the most degraded, followed by the pine grove. On the other hand, the gall-oak grove presented the highest fertility, and the abandoned olive grove a potential fertility, which are in accordance with the activity of the β -glucosidase.

Key Words: dehydrogenase activity; urease; β -glucosidase; soil uses.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de los parámetros bioquímicos tiene mucha importancia, debido a que su cuantificación permite obtener información sobre la actividad metabólica del suelo. Ésta provee información para entender procesos como la mineralización y humificación de la materia orgánica (MO), procesos donde intervienen algunos elementos fundamentales como el fósforo, carbono, nitrógeno y el azufre, así como todas las transformaciones de la biomasa microbiana (García *et al.*, 2003; García y Hernández 2000). La cuantificación de estos parámetros tiene especial utilidad en estudios naturales donde los procesos microbianos claves pueden monitorearse en estudios relativos a sistemas agrícolas, en la evaluación de problemas de contaminación, en seguimientos de la incorporación de residuos agrícolas, entre otros (García *et al.*, 2003).

Generalmente los parámetros que se suelen medir, van a depender del alcance del estudio, por ejemplo algunos de los más usados son: el contenido del carbono, nitrógeno de la biomasa microbiana, la mineralización del N, el ATP, la respiración del suelo, la actividad de enzimas del tipo oxidoreductasa como la deshidrogenasa y catalasa estas últimas consideradas como una medida generalizada de los procesos microbianos del suelo (García *et al.*, 2003). Sin embargo, otros parámetros bioquímicos como la mayoría de las enzimas del tipo hidrolasas, implicadas en los ciclos de los elementos nutritivos como es el caso de las carbohidrasas, quitinasas, β -glucosidasa implicadas en el ciclo del carbono, las fosfatasa en el ciclo del fósforo, ureasa y proteasa ciclo del nitrógeno y la arilsulfatasa en el ciclo del S, son consideradas como parámetros específicos porque corresponde a reacciones concretas y dependen de sustratos específicos (Nannipieri *et al.*, 1990).

La mayoría de los trabajos relacionados con la actividad enzimática del suelo se han centrado, en las oxidoreductasas, por el papel que juegan en la oxidación de la MO y las transferasas e hidrolasas, por su papel en la descomposición de compuestos orgánicos, y su importancia en los ciclos de nutrimentos y la formación de MO (Flieâbach *et al.*, 2006, Melgar *et al.*, 2000). Por tanto, muchos autores consideran que pueden ser usadas como índices de la actividad microbiana total del suelo y como componentes de diferentes índices de fertilidad (Dick y Kandeler, 2005; Lin *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo fue cuantificar la actividad de la deshidrogenasa, β -glucosidasa y la ureasa en un suelo sometido a diferentes usos, con la finalidad de

establecer medidas potenciales del estado de degradación del suelo, desde un punto de vista de su fertilidad, en un tiempo determinado. Estas enzimas están directamente relacionadas con la actividad biológica del suelo (deshidrogenasa) estado de degradación de la MO (β -glucosidasa) y con el ciclo de nitrógeno (ureasa).

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se localiza en el municipio de Horche (Guadalajara), situado en el llamado "Páramo de la Alcarria", perteneciente a la "Meseta del Tajo" España. Los suelos analizados se sitúan en las laderas del valle del río Ungría y se han desarrollado sobre depósitos coluviales. Estos suelos se clasifican como Calcaric Skeletic Cambisol y se caracterizan por un alto contenido en fragmentos gruesos de naturaleza calcárea, textura franco-arcillosa y alto contenido en carbonato cálcico.

Zona de muestreo

Se seleccionaron un total de 4 zonas de muestreo, correspondientes a 4 usos distintos de suelos desarrollados sobre el mismo material parental, depósitos coluviales. Los 4 usos fueron: olivar en activo (O1), se refiere a un olivar establecido donde se realizan constantemente las prácticas agrícolas (aplicación de herbicidas, fertilización, cosecha, pase de rotativa), olivar en abandono (O2), se refiere a una siembra de olivos abandonados (tiene cobertura vegetal, y no se le realizan prácticas agrícolas) bosque de repoblación de pino (P), se refiere a un bosque introducido de pinos establecido por más de 15 años, bosque natural de quejigo (Q).

La orientación de la zona de olivar, ya sea cultivado o abandonado, es mayoritariamente SE mientras que las muestras de suelo de bosque de P y Q, se sitúan en una ladera orientada al NW.

El muestreo de suelo se realizó de 0-20 cm 5 puntos distintos por cada una de las 4 zonas de estudio, teniendo en cuenta un diseño de bloques completamente aleatorizados, resultando así, un total de 20 muestras. A las que se les determinó: actividad de la deshidrogenasa por el método de Trevors *et al.* (1982), modificado por García *et al.* (1993), el cual esta basado en la estimación del Iodonitrotetrazolio Formazán (INTF), cuando el suelo es incubado con 2-p-iodofenil-3 paranitrofenol-5-Feniltetrazolium (INT) durante 20h a 20 °C en la oscuridad.

La β -glucosidasa se determinó con el método de Hoffmann y Dedeken (1965), el cual se basa en el uso del Salicin como sustrato incubando por 3h a 37 °C, formándose indofenol el cual es convertido como cantidad equimolar de fenol. La ureasa, se determinó por el método desarrollado por Kandeler y Gerber (1988), donde las muestras son incubadas con una solución de urea como sustrato donde se libera amonio, el cual es determinado colorimétricamente.

Además de la actividad de las enzimas antes mencionadas, se analizó la conductividad eléctrica (CE) y los valores de pH, los contenidos de carbono orgánico total, MO fácilmente oxidable, nitrógeno total y el porcentaje de carbonato cálcico, así como la textura. Los valores de CE y pH se midieron en extracto acuoso (1:2,5). El contenido en carbono orgánico total (COT) se determinó por combustión en seco a 400 °C (Nelson y Sommers, 1996), el nitrógeno total N (NT) por digestión Kjeldahl (Bremmer y Mulvaney, 1982) y la materia fácilmente oxidable por el método Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1996).

Los resultados, fueron sometidos a pruebas de comparación de medias (LSD) realizadas con el programa estadístico SPS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores presentados en el Cuadro 1 de la CE, (CE:0,232-0,28.8 dS m⁻¹), carbono oxidable (10,88-32,31 g kg⁻¹), carbono total (29,08-60,46 g kg⁻¹) y NT,

(0,93-1,66 g kg⁻¹), varían de un suelo a otro, observándose el mismo patrón de comportamiento en los usos evaluados (Q>P>O2>O1). Teniendo en cuenta que el cultivo del olivar lleva consigo, entre sus labores, la eliminación de malas hierbas y conservación de suelo desnudo, se puede afirmar que los valores del COT son reflejos de estas prácticas tradicionales de cultivo.

La misma tendencia fue observada para el contenido de C_{oxi}, el valor más alto también se corresponde con las muestras tomadas en el bosque Q. Estos resultados concuerdan con los señalados por García *et al.* (2002) en un estudio sobre el efecto de la cobertura vegetal en distintos parámetros químicos y microbiológico del suelo. Estos autores observaron una disminución en el contenido COT a medida que la cobertura vegetal disminuía. Resultados similares fueron también encontrados por Hajabbasi *et al.* (1997), con disminuciones de hasta el 50% del COT como consecuencia de la deforestación y puesta en cultivo de un suelo forestal. Para la zona de estudio las pérdidas de COT respecto al bosque natural variaron en un 19% y un 52% para el bosque de repoblación y olivar en activo (O1), respectivamente.

El NT, prácticamente sigue la misma tendencia descrita para el COT, con pérdidas del 44% del NT para las muestras tomadas en el O1. En sus trabajos, Caravaca *et al.* (2002) encontraron pérdidas importantes en el valor de NT. Estas pérdidas eran de hasta un 75% cuando el NT de un suelo con cultivo de vid era comparado con el valor correspondiente al mismo suelo bajo condiciones de vegetación natural.

CUADRO 1. Valores promedios de conductividad eléctrica, pH, carbono oxidable, carbono total y nitrógeno total de los suelos evaluados.

| USO | COT (g kg ⁻¹) | Coxi (g kg ⁻¹) | NT (g kg ⁻¹) | pH | CE (dS m ⁻¹) |
|-----|---------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| O1 | 29,08 d ± 1,56 | 10,88 d ± 1,66 | 0,93 c ± 0,14 | 8,41 a ± 0,03 | 0,232 b ± 0,006 |
| O2 | 33,58 c ± 3,01 | 15,25 c ± 1,72 | 1,25 ab ± 0,13 | 8,29 b ± 0,03 | 0,236 b ± 0,010 |
| P | 49,14 b ± 2,26 | 19,89 b ± 2,01 | 1,61 a ± 0,17 | 8,31 ab ± 0,04 | 0,281 a ± 0,012 |
| Q | 60,46 a ± 5,28 | 32,31 a ± 3,66 | 1,66 a ± 0,33 | 7,96 c ± 0,05 | 0,288 a ± 0,018 |

± error estándar (n = 5), Valores en columnas con diferente letra denotan diferencias significativas, P<0,05

O1 = olivar en activo, O2 = olivar en abandono, P = pinar, Q = bosque natural de quejigo, COT= carbono total, Coxi: carbono fácilmente oxidado, NT: nitrógeno total.

Los valores de pH mostraron una tendencia decreciente según la secuencia $O1 \geq P \geq O2 > Q$, además se observó que existe una relación inversamente proporcional del pH con la mayoría de los parámetros químicos y bioquímicos evaluados (Cuadro 2). Esta disminución es atribuida, por un lado a la mayor actividad microbiana y por otro lado, al menor contenido de carbonatos.

Actividad de la deshidrogenasa

El patrón de comportamiento de esta enzima en los usos de suelo fue: $Q > P > O2 > O1$, observándose diferencias significativas entre el O1 y el Q, no así, entre el olivar en abandono (O2) y el pinar que estadísticamente no presentaron diferencias significativas (Cuadro 3). Al comparar la actividad de esta enzima con el rango 0,034-0,106 μmol de INTF observado por García *et al.* (1993) para suelos agrícolas abandonados, se notó que los valores son muy similares a los obtenidos en el suelo donde está el O1. Los mostrados en el Q (0,273 μmol de INTF) son muy similares a los conseguidos por Camiña *et al.* (1998) para suelos forestales del mediterráneo (0,193-0,947 μmol de INTF).

La actividad de la deshidrogenasa está relacionada principalmente con las etapas iniciales de la oxidación de la MO, considerándose un indicador redox micro-

biano, así como un indicador general de la actividad microbiana (Schutter *et al.* 2001; Bandick, Dick 1999). Por tanto se puede deducir, que el O1 presenta una baja fertilidad biológica, resultado esperable, si se tiene en cuenta que éste suelo, está sometido a un intensivo uso de maquinaria (arado, rotativas y subsolado) y es un típico ejemplo de degradación de suelo (física, biológica y química). Por otro lado, se puede observar en el Q tiende a mejorar la fertilidad del suelo, debido principalmente a su aporte continuo de MO. Este tipo de bosque se caracteriza por perder todas sus hojas en invierno, proporcionando anualmente MO al suelo y en consecuencia una mayor actividad de la deshidrogenasa, por lo que se presume una alta mineralización de nutrientes como N, P, C.

Esto concuerda con los autores Dick y Kandeler (2005); Dick y Tabatabai (2003) quienes aseguran que esta enzima actúa sobre sustratos específicos transformándolos en productos necesarios para los ciclos biológicos, por lo que han considerado que la enzima deshidrogenasa se puede usar como índice de la actividad microbiana total del suelo y como índices de fertilidad (Dick, 1994, Melgar 2000). En el Cuadro 2 se muestra una alta correlación de esta enzima con el COT y el NT, lo que confirma lo mencionado anteriormente por los autores.

CUADRO 2. Coeficientes de correlación (r) entre las variables químicas y bioquímicas evaluadas en los diferentes usos de suelo ($P \leq 0,01$).

| | COT | NH ₄ | NT | P | pH | Coxi | Deshidrogenasa | ureasa | β -glucosidasa |
|----------------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------------|-------------|----------------------|
| COT | 1 | | | | | | | | |
| NH ₄ | -0,13 | 1 | | | | | | | |
| NT | 0,67 | 0,11 | 1 | | | | | | |
| P | 0,50 | 0,14 | 0,35 | 1 | | | | | |
| pH | -0,77 | 0,98 | -0,50 | -0,55 | 1 | | | | |
| Coxi | 0,90 | -0,62 | 0,68 | 0,60 | -0,85 | 1 | | | |
| deshidrogenasa | 0,50 | -0,47 | 0,50 | 0,22 | -0,40 | 0,50 | 1 | | |
| ureasa | 0,60 | 0,20 | 0,70 | 0,50 | -0,50 | 0,70 | 0,54 | 1 | |
| β -glucosidasa | 0,32 | 0,13 | 0,40 | 0,50 | -0,37 | 0,40 | 0,60 | 0,40 | 1 |

Actividad de la ureasa

De acuerdo a los resultados señalados en el Cuadro 3, se observa que la actividad de la ureasa vario de 63,4 y 117,85 $\mu\text{gN-NH}_4 \text{ g}^{-1} 2\text{h}^{-1}$ presentando el mismo patrón de comportamiento que la deshidrogenasa, $\text{Q} > \text{P} > \text{O2} > \text{O1}$. No se observaron diferencias significativas entre O2 y P (Cuadro 3). La menor actividad se observó en el O1, afianzando la teoría de la degradación de este suelo.

La ureasa es de origen microbiano (principalmente de las bacterias del suelo), juega un papel fundamental en la biología del suelo contribuyendo con su fertilidad. La actividad de la ureasa está relacionada con la mineralización del N orgánico, que se refiere a la degradación de proteínas, amino azúcares y ácidos nucleicos a NH_4^+ (España *et al.*, 2001), esta afirmación se corrobora al comparar la actividad de la ureasa (Cuadro 3), con los contenidos de NT en los diferentes usos de suelo (Cuadro 1). Así mismo, al observar los coeficientes de correlación presentados en la Cuadro 2 se ve claramente, que existe un alto grado de asociación entre la ureasa y el NT ($r = 0,70$) del suelo, no así con la concentración de NH_4 ($r = 0,20$).

Paolini (2003) señala que la actividad de esta enzima es afectada por la naturaleza de la cobertura vegetal. Los suelos que soportan densas poblaciones vegetales tienden a presentar altos niveles de actividad enzimática. En este estudio, la mayor actividad de la ureasa se observó en el suelo Q, el cual se caracteriza por aportes anuales de hojarasca.

Al comparar la actividad de la ureasa presentada en otros trabajos se observó que Leirós *et al.* (2000) registraron fluctuaciones de 2 y 26 $\mu\text{gN-NH}_4 \text{ g}^{-1} 2\text{h}^{-1}$ para suelos bajo bosques de *Quercus* sp. (quejigo). Mientras que Paolini (2003) en bosques semi decíduos de Venezuela indica valores de 5 y 86 $\mu\text{gN-NH}_4 \text{ g}^{-1} 2 \text{ h}^{-1}$ estos últimos muy parecidos a los encontrados en el O2. Por otro lado, Albiach *et al.* (2001) en suelos agrícolas de España registraron una actividad del orden de 25 y 32 $\mu\text{gN-NH}_4 \text{ g}^{-1} 2 \text{ h}^{-1}$.

En general se puede decir que los resultados de este trabajo, permitieron firmar que el suelo Q tiene mayor potencial de proveer nitrógeno inorgánico para las plantas que el suelo donde se encuentran el P, O2, y el O1.

Actividad de la β -Glucosidasa

El patrón de comportamiento de esta enzima fue $\text{O2} > \text{Q} > \text{P} > \text{O1}$, presentando un rango de variación de 86,16 y de 239,24 $\mu\text{gphenol g}^{-1} 3 \text{ h}^{-1}$ observándose diferencias significativas entre los usos de suelo.

Estudios realizados por Kandeler *et al.* (2001) en diferentes usos y tipos de suelos encontraron que la actividad de la β -glucosidasa mostró un amplio rango de variación. Por ejemplo, para suelos cultivados con pastos y fertilizados con estiércol presentaron un rango de 41 a 253 $\mu\text{gphenol g}^{-1} 3 \text{ h}^{-1}$, para bosques de 36 a 160 $\mu\text{gphenol g}^{-1} 3 \text{ h}^{-1}$ y para suelos sometido a rotación de cultivos de 130 a 310 $\mu\text{gphenol g}^{-1} 3 \text{ h}^{-1}$ indicando que la actividad de esta enzima varía dependiendo del manejo y tipo de suelo.

CUADRO 3. Cuantificación de la actividad de la deshidrogenasa, β -glucosidasa y ureasa en diferentes usos de suelo

| USO | Deshidrogenasa ($\mu\text{moles INTFg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) | Ureasa ($\mu\text{gNH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ ms}^{-1} 2\text{h}^{-1}$) | β -Glucosidasa ($\mu\text{gphenol g}^{-1} \text{ ms}^{-1} 3\text{h}^{-1}$) |
|-----|---|---|---|
| O1 | 0,140 c \pm 0,025 | 64,10 d \pm 1,84 | 86,16 d \pm 0,096 |
| O2 | 0,219 b \pm 0,027 | 83,78 b \pm 1,49 | 239,24 a \pm 0,33 |
| P | 0,225 b \pm 0,028 | 93,28 b \pm 2,56 | 107,47 c \pm 0,12 |
| Q | 0,273 a \pm 0,021 | 117,85 a \pm 1,88 | 149,87 b \pm 0,14 |

\pm error estándar (n = 5), Valores en columnas con diferente letra denotan diferencias significativas, $P < 0,05$
O1 = olivar en activo, O2 = olivar en abandono, P = pinar, Q = bosque de quejigo.

La β -glucosidasa refleja el estado de descomposición de la MO y pertenece al grupo de enzimas que cataliza la conversión hidrolítica de la celulosa a glucosa, fuente de alimento de los microorganismos del suelo (Knight y Dick 2004).

En consecuencia, conociendo el comportamiento de la actividad de la β -glucosidasa en los diferentes usos de suelo, se puede inferir sobre el grado de descomposición de su MO. La β -glucosidasa presentó un alto grado de asociación (Cuadro 2) con la actividad de la deshidrogenasa ($r = 0,60$), y la concentración de P en el suelo ($r = 0,50$). Lo que se considera lógico, debido a que el objetivo de la β -glucosidasa es degradar formas de bajo peso molecular de la MO, lo que vendría a proporcionar al suelo una fuente de energía para la microbiota del suelo, por lo que se asume, que igualmente se impulse la actividad de la deshidrogenasa, debido a que ésta, está relacionada con la actividad metabólica del suelo.

En general y de acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo se puede inferir, que la MO del suelo O2 para el momento que se realizó el ensayo estaba en la etapa inicial de su descomposición y la MO del O1 presumiblemente en una etapa más avanzada.

CONCLUSIONES

- Los parámetros bioquímicos y químicos evaluados en este trabajo mostraron ser sensibles al manejo de los suelos, hecho que se confirmó con las diferencias significativas observadas entre los diferentes usos evaluados.
- Se concluye por un lado que el O1 es el más degradado, seguido por el bosque de repoblación de pino. Por otro lado, que el Q presenta la mayor fertilidad y el olivar en abandono una mayor fertilidad potencial, que se confirma con el alto contenido de MO en proceso de degradación y con el grado de asociación de la deshidrogenasa, ureasa y β -glucosidasa con la concentración de fósforo, nitrógeno y COT.
- La alta correlación de las variables bioquímicas con las químicas permitió visualizar la influencia del pH sobre la actividad de las enzimas evaluadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Albiach, R., Canet, F. Pomares and F. Ingelmo. 2001. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology*. 75:43-48.
- Bandick, A. and R. Dick. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry* 31:147-479.
- Bremner, J. M. and S. Mulvaney, C. 1982. Total nitrogen. **In:** Page A L, Miller R H, Keeney R D. (Eds) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. Agronomy No 9. ASA y SSSA, Madison, WI. 595-624.
- Camiña, F., C. Tasar-Cepeda, F. Gil-Sotres and C. Leirós. 1998. Measurement of deshydrogenase activity in acids soil rich in organic matter. *Soil Biology & Biochemistry* 30, 1 005-1 011.
- Caravaca, F., M. Hernández, M. García and A. Roldan. 2002. Improvement of rhizosphere aggregates stability of afforested semi-arid plant species subjected to micorrihizal inoculation and compost addition. *Geoderma* 108:133-144.
- Dick, R. 1994. Soil enzyme activities as indicator of soil quality. **In:** Doran, J, Coleman, D. Bezdicek, D. Stewart, B. (Eds). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, Soil Science Society of American Society of Agriculture, Madison, 107-124 p.
- Dick, R. y E. Kandeler. 2005. Enzymes In Soils. **In:** Daniel Hillel (ed.) *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier Ltd., Oxford, U.K. 448-455 p.
- Dick, W. and M. Tabatabai. 1993. Significance y potential uses of soil enzymes. **In:** Meeting Jr., F.B (Ed). *Soil Microbial Ecology*. Marcel Dekker, New York, 95-127 p.
- España, M., B. Rodríguez, E. Cabrera y B. Cecanti. 2001. Actividades enzimáticas y contribución de residuos de cosecha de maíz al nitrógeno del suelo en sistema de labranza en los llanos centrales, Venezuela. *Terra*. 20:81-86.

- Flieâbach, A. H. Oberholze, L. Gunst and P. Mader. 2006. Soil organic matter y biological soil quality indicators after 21 years of organic y conventional farming. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 118:273-284.
- García, C. T. Hernandez, F. Costa, B. Ceccanti and G. Masciandro 1993. The deshydrogenasa activity of soil as an ecological marker in processes of paturbed system regeneration en: Gallardo-Lancho. J. (ed), *Proceedings of the XI International Symposium of Environmental Biogeochemistry*. Salamanca. 89-100 p.
- García, C., F. Gil y T. Hernández. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Madrid-España. 371 p.
- García, C. y T. Hernández. 2000. Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España. CEBAS-CSIC. Murcia, 352 p.
- García, C. Hernandez, T. Roldan and A., Martin., 2000. Effect of plant cover decline on chemical and microbial parameters under Mediterranean climate. *Soil Biol Biochem* 34, 635-642.
- Hajabbasi, M., A., Jalalian and H. Karimzadeh. 1997. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan Iran. *Plant and soil* 190:301-308.
- Hoffmann G. and M. Dedeken. 1965. Eine methode zur kolorimetrtschen Bestimmung der β -glucosida-seaktivitat in boden. 2 *Pflanzenernachr Bodenkd* 108:195-201.
- Kandeler E., D. Tschерko, M. Stemmer, S. Schwarz and M. Gerzabek. 2001. Organic matter soil mroorganism-investigations from the micro-to the macro scale. *Die Bodenkultur*, 52(1):117-131.
- Kandeler, E. and H. Gerber. 1988. Short-Term assay of soil urease activity using colorimetric determination ammonium. *Biol Fertil Soil* 6:68-72.
- Knight, T. and R. Dick. 2004. Differentiating microbial and stabilized B-glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biology & Biochemistry* 36:2 089-2 096.
- Leirós, M., C. Trasar-cepeda, S. Seoane and F. Gil-sotres. 2000. Biochemical properties of acid soil under climax vegetation (Atlantic oak wood) in an area of the European temperature-humid zone (Galicia, N.W Spain): General parameters. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 747-755p.
- Lin, X. Yin, H. Zhang, J. Hung, R. Chen and Z. Cao. 2004. Changes of soil microbial properties caused by land use chaging from rice-wheat rotation to vegetable cultivation. *Eviromental Geochemistry y Health* 26:119-128.
- Nannipieri, P. S. Grego and B. Ceccanti. 1990. Ecological significance of biological activity in soil en: Bollag, J, Sttzky, G. (eds), *Soil Biochemistry*, vol. 6. Marcel Dekker, New York. 293-355 p.
- Nelson, D. W. y L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. **In:** D.L. Sparks(eds). *Methods of soil analysis, part 3. Chemical methods*. SSSA Book Series N° 5, Madison, Wis, 961-1.010 p.
- Melgar, R., E. Benitez, H. Sainz, A. Polo. M. Gómez y R. Nogales. 2000. Los vermicompost de subproductos del olivar como acolchado del suelo: efecto sobre la rizósfera. *Edafología*. 7(2):125-134.
- Paolini, J. 2003. Las enzimas del suelo y su aplicación en la caracterización bioquímica de sitios. Internet: <http://biblioteca. IVIC.ve/bases/index00s.htm>.
- Schutter, M., J. Sandeno and R. Dick. 2001. Seasonal, soil type, and alternative management influences on microbial communities of vegetable cropping systems. *Biol fertile soil* 34:397-410
- Trevors, J., C. Mayfield and W. Inniss. 1982. Measurement of electron transport system (ETS) activity in Soil. *Microbial Ecology* 8:163-168.

AGRONOMÍA TROPICAL

Revista del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Venezuela

Instrucciones para los Autores

Agronomía Tropical publica trabajos originales producto de la investigación en el área de la agronomía. Se reconocen por trabajos originales aquellos que son producto de la investigación o experimentación, que tienen como objetivo concreto desarrollar nuevos conceptos o tecnologías y adaptar las existentes a las condiciones locales.

El envío de trabajos a **Agronomía Tropical** implica que no han sido presentados para su publicación en otra revista.

Los trabajos cortos, que describen técnicas experimentales, equipos, fenómenos naturales, o especies nuevas, serán publicados en la revista como **notas técnicas**. También se aceptan reseñas de libros recientemente publicados.

Manuscritos

Se requieren un original y tres copias legibles, mecanografiadas a doble espacio en papel blanco tamaño carta (28,0 x 21,5 cm), utilizando una sola cara con márgenes de 2 cm en la parte superior y 3 cm en los demás lados. Las páginas deben ser numeradas consecutivamente. La versión final del trabajo, en la cual se han acogido las observaciones de los revisores, deberá remitirse tanto en un original mecanografiado, como archivado en un CD transcrito en MS Word, Open Office Writer.

Los manuscritos también pueden enviarse vía correo electrónico a la dirección electrónica de la revista (agrotrop@canaima2.inia.gob.ve, agrotropic@yahoo.com o mfernandez@canaima2<.inia.gob.ve).

La secuencia en la presentación de un trabajo es como sigue: título, autor(es), palabras clave, resumen, introducción la cual debe incluir la revisión de literatura, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones (si las hubiere), resumen (summary) y título en inglés, agradecimiento (si hubiere), bibliografía.

Los títulos de cada una de las partes del trabajo deben insertarse en el texto en letras mayúsculas y en el centro de la página.

La extensión del trabajo no debe exceder de 25 páginas a doble espacio, incluyendo en ellos cuadros, figuras y

referencias. Junto al manuscrito es necesario anexar una carta de Fe, donde se declare que el trabajo no ha sido presentado en ningún otro medio.

Una vez aceptado el manuscrito se le enviará la comunicación oficial de aprobación con la ubicación relativa donde será incluido en la revista **Agronomía Tropical**.

Título. Escrito en letras mayúsculas, debe ser claro y conciso, procurando no excederse de 20 palabras. Debe identificar y describir concretamente el contenido del trabajo, sin abreviaturas. Sólo deben incluirse los nombres comunes de plantas, insectos, etc., cuando se requiere, dejando como palabra clave el nombre científico de los mismos.

Autor(es). Primer nombre completo, inicial del segundo y apellidos completos. Después de los nombres se usarán asteriscos (*) para identificar al pie de página el cargo, la institución, dirección postal donde trabajan y correo electrónico. Debe usar el nombre completo de la institución con la abreviatura o sigla entre paréntesis. Al pie de página puede identificarse, si es necesario, la institución que financió el trabajo, o si es parte de una tesis de grado.

Resumen. Debe tener un máximo de 250 palabras (150 para las notas), en un sólo párrafo. Específicamente debe exponer cuál es el objetivo del trabajo, cómo se realizó, los resultados cuantitativos más relevantes, porque son relevantes, y la conclusión. Los entes biológicos y los suelos deben ser identificados por sus nombres científicos cuando son mencionados por primera vez en el resumen y en el summary y la primera vez que aparezcan en el cuerpo del trabajo, tanto en castellano como inglés, y no deben repetirse en el cuerpo del artículo.

Palabras Clave. Son aquellas que permiten identificar el tópico que se discute en el texto y que faciliten la elaboración del índice de materias, tratando de no repetir las que se usen en el título. Debe incluir los nombres científicos de los entes biológicos.

Introducción. Debe estar formada por una breve referencia de los antecedentes que motivaron a la realización del trabajo; igualmente puede incluirse la revisión de literatura con las investigaciones más recientes que aporten ideas fundamentales para la reali-

zación del trabajo. También incluirá el objetivo del mismo. Para las referencias bibliográficas se usará el sistema de apellidos del primer autor y el año de publicación.

Materiales y Métodos. La presentación debe ser clara y concreta, siguiendo un ordenamiento lógico de las técnicas empleadas en la investigación y los materiales utilizados. Los procedimientos analíticos y estadísticos usados deberán ser descritos claramente o citados como referencias bibliográficas.

Resultados y Discusión. Esta sección debe satisfacer los objetivos que se señalaron en la introducción, manejando la información cuantitativa a través de cuadros o figuras a fin de transmitir en forma clara el significado de los resultados obtenidos. Es necesario el uso de la estadística para verificar la validez de los resultados, cuando así se requiera. La discusión de los datos deberá hacerse basada en los soportes disponibles en la literatura.

Agradecimiento. Se utilizarán para reconocer a aquellas personas que han hecho contribuciones sustanciales al trabajo o han prestado asistencia técnica. Igualmente para reconocer a las instituciones que han brindado apoyo financiero a la investigación se debe anexar al pie de página en la primera parte del trabajo, es decir, debajo de las palabras claves, indicando la llamada número 1 al terminar el título e incluyéndose, debajo de la página del resumen.

Cuadros. Cada cuadro se presentará en hoja separada, colocada a continuación del texto donde se haga alusión a él por primera vez, y seguirán la paginación del texto. El contenido de los cuadros no debe ser duplicado en las figuras. Los asteriscos se usarán para mostrar el nivel de significancia estadística de 0,05 (*), 0,01 (**), y 0,001 (***); los asteriscos deben ir acompañados del nombre de la prueba estadística realizada. Para otras llamadas deberán utilizarse otros símbolos. El título del cuadro debe ser concreto y expresar el contenido del mismo. Los cuadros deben ser elaborados utilizando la tabla del programa Words o Excel.

Figuras. Se entiende por figura cualquier ilustración que se incluya en el trabajo (gráficos, dibujos, fotografías, esquemas, mapas). Estas no deben ser una duplicación de la información de los cuadros. Las figuras pueden dibujarse a mano alzada con tinta china en papel albanene, o elaboradas con un Software y reproducidas en impresora láser. De ser posible, use figuras de 1/2 página (9 x 11 cm). No es deseable usar letras mayúsculas en el título el cual debe colocarse en la parte inferior de la figura.

En caso de usar fotografías, las leyendas se describirán en hoja aparte, con el respectivo número de la figura. Se requieren los negativos o diapositivas, marcadas por detrás con lápiz suave, con el número de la figura y el título del artículo.

Para las fotografías y otros dibujos digitalizados, los mismos deberán procesarse en formato TIFF (cmyk). En cuanto a los gráficos (líneas, barras, tortas...) se recomienda utilizar los programas Power Point, Harvard Graphic o Excel, adjuntando la información con la cual se elabora la figura, de tal manera que cuando se requiere pueda ser modificada en la oficina de edición de la revista. No use innecesariamente figuras tridimensionales.

Debe evitar el uso del color en los gráficos y demás figuras, ya que esto encarece la edición de la revista. De requerirse el uso del color en las fotografías, agrúpelas y numérelas secuencialmente.

Bibliografía. Sólo deben ser incluidas publicaciones que estén disponibles en las bibliotecas; las comunicaciones personales serán citadas en el texto al pie de página indicando el nombre completo y la dirección del autor de la comunicación, el año en que se produjo. Las citas bibliográficas deben ser ordenadas alfabéticamente siguiendo el siguiente esquema:

- **Artículos de revistas:** autor(es), colocar el apellido del primer autor y luego la inicial del nombre, para los otros autores, primero la inicial del nombre y luego el apellido (en mayúscula); año de la publicación; título del artículo; abreviatura del nombre de la revista; volumen; página inicial y final del artículo.
- **Libros y folletos:** autor(es), año de la publicación, título, editor o traductor, número de la edición, lugar de la publicación (ciudad), casa editorial, paginación y serie.
- **Artículos en una publicación colectiva:** autor(es), año de la publicación, título del artículo, preposición latina **In** subrayada o en negrita, y seguida de dos puntos (:), y luego la referencia completa del libro.
- **Tesis:** autor, año, título, la palabra tesis, el grado académico en forma abreviada y en el mismo idioma en que está redactada la tesis, ciudad, país, universidad, facultad y número de páginas.

Dos o más artículos del mismo autor(es) deben ser ordenados cronológicamente, en caso de ser del mismo año debe usarse letras minúsculas a, b, c, d, etc.

Revisión de los Manuscritos. La revista garantiza la confidencialidad en el proceso de revisión de los trabajos por parte de especialistas reconocidos.

Estilo. Los entes biológicos deben ser identificados por sus nombres científicos completos (binomial) en el título (cuando se requiera así como en el resumen, summary y la primera vez que se mencionan en el cuerpo de trabajo.

Los nombres de productos comerciales deben evitarse, prefiriéndose el nombre genérico. Cuando ello sea posible utilícelo seguido del símbolo®.

Los nombres de las variedades, cultivares e híbridos deberán acompañarse de virgulillas o comillas simples sólo cuando se mencionen por primera vez en el resumen, en el summary y en el cuerpo del artículo.

Los suelos deben ser identificados taxonómicamente; si el nombre de la serie no es muy conocido deberá señalarse la familia.

Los símbolos no tienen plural ni llevan punto (.) después de ellos, y sólo se escriben en mayúsculas aquellos derivados de nombre propios Celsius, Kelvin, Joule.

Los decimales deben separarse con coma (,) y no con punto (.). Las unidades de mil o millón se indicarán con un espacio en blanco.

La abreviatura correspondiente a Agronomía Tropical es Agronomía Trop.

Para más detalles de estilo y presentación obsérvese los últimos números de la revista.

Los símbolos a usar son:

| | Símbolo/abrev. | reemplaza |
|-----------------|--------------------------|------------------|
| metro, | m, | |
| kilómetro, | km (10 ³ m) | |
| decímetro, | dm | |
| centímetro, | cm (10 ⁻² m) | |
| milímetro, | mm (10 ⁻³ m) | |
| micra | μ | |
| micromilímetro, | mm (10 ⁻⁶ m), | microm |
| nanómetro, | nm (10 ⁻⁹ m), | Angstrom |
| metro cuadrado, | m ² | |
| hectárea, | ha | |
| metro cúbico, | m ³ | |
| litro, | l | |
| gramo, | g | |
| kilogramo, | kg | |
| tonelada, | t | |

| | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------|
| mega gramo, | Mg, | |
| miligramo, | mg (10 ⁻³ g) | |
| microgramo, | μg (10 ⁻⁶ g) | |
| nanogramo, | ng (10 ⁻⁹ g) | |
| kilogramo/hectárea, | kg ha ⁻¹ | |
| toneladas/hectárea, | t ha ⁻¹ | |
| megapascal, | M Pa, | bar |
| grado Celsius, | °C | |
| grado Joule, | J, | caloría |
| grado Kelvin | °K | |
| centimole por kilogramo, | c mol kg ⁻¹ , | meq por 100g |
| gramo por kilogramo, | g kg ⁻¹ | |
| miligramo por kilogramo, | mg kg ⁻¹ , | ppm |
| metro sobre el nivel del mar | m.s.n.m. | |

La revista proporcionará gratis a los autores 25 separatas de sus trabajos.

Para reproducir un material o parte de él, deberá obtenerse el permiso de la revista.

Los manuscritos deben ser enviados al Editor de **Agronomía Tropical**, INIA, Apdo. 2103, Maracay 2101, estado Aragua, Venezuela, acompañados de una comunicación en la cual se señale el autor a quién deberá dirigirse la correspondencia, su dirección, teléfonos de oficina y domicilio y la firma de cada uno de los autores del trabajo.

Para suscripción. Realizar depósito según el monto del volumen completo, más costo de envío al Banco Mercantil, Cuenta Corriente N° 0105-0100-84-1100095039 a nombre del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. INIA-Gerencia General. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4653. Maracay 2103, estado Aragua. Venezuela.

Composición: Carmen Elena Solarzano
 Montaje: Gerardo Moreno
 Foliado: Mario Pino
 Impresión: Eliseo Silva

Composición: Carmen Elena Solórzano
Montaje: Gerardo Moreno
Fotolito: Mario Pino
Impresión: Eliseo Silva

Impreso en el Taller Gráfico del INIA
Maracay, estado Aragua, Venezuela
Junio 2009

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Venezuela



AHORA ES DE TODOS