



INIA
Instituto Nacional
de Investigaciones
Agrícolas

Vol. 58, N° 2, 2008

Agronomía Tropical

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS - VENEZUELA

AGRONOMÍA TROPICAL

Revista trisemestral 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, www2.scielo.org.

SUSCRIPCIÓN

Venezuela: Bs. 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, estado Aragua. Venezuela. Los envíos por concepto de CANJE (EXCHANGE) deben dirigirse a: BIBLIOTECA, Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA-CENIAP. Apartado 4653. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

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

Agronomía Trop. / Vol. 58 / N° 2 / Abril - Junio 2008 / ISSN 0002-192X

AGRONOMÍA TROPICAL

**Revista trimestral del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas
Maracay, Venezuela**

www.agrotrop@inia.gob.ve



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS AGRONOMÍA TROPICAL

Dra. Yorman Rodríguez
GERENTE GENERAL

Dr. Yván Gil
PRESIDENTE

Luis Dickson
GERENTE DE INVESTIGACIÓN

Dr. David Díaz
GERENTE DE NEGOCIACIÓN

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

Mónica González
EDITOR ASISTENTE

Zulay Melo
SECRETARÍA

Carmen Sólorzano
SECRETARÍA

EDITORES ASOCIADOS

Dra. Rosemary Warnock, UCV
Producción Vegetal

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

Dra. Judith Zambrano, ULA-Trujillo
Frutales

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

Dra. Beatriz Lozada, INIA- Táchira
Agrometeorología

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 Hétiér. 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. Politec. 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**

ÍNDICE

Artículos:	Pág.
<p>ÁLVAREZ, R. M., M. PÉREZ, E. REYES, O. J. MORENO, N. DELGADO, G. T. TORREALBA, M. A. AVECEDO, W. A. CASTRILLO, M. I. NAVAS, M. SALAZAR, O. J. TORRES, E. A. TORRES, P. J. GARCÍA y A. PÉREZ. Evaluación comparativa de híbridos y variedades de arroz en los llanos centrocidentales de Venezuela.....</p> <p style="padding-left: 20px;">Comparative evaluation of rice hybrids and cultivars in midwestern plains of Venezuela.</p>	101
<p>RAMÓN M., M. C., F. MAURIELLO M., Y. GRATEROL, H. GIRALDO-VANEGAS, C. MENDOZA, M. M. PÉREZ P. y R. M. IZARRAGA T. Asociación entre las características varietales y el daño ocasionado por el taladrador de la caña de azúcar, en el estado Portuguesa, Venezuela.....</p> <p style="padding-left: 20px;">Association between varietal traits and the damage caused by the sugarcane stemborer in Portuguesa, Venezuela.</p>	111
<p>BERLINGERI, CH. N. YUNCOSA y T. PÉREZ. Evaluación de cinco leguminosas en barbecho mejorado para el control de malezas en la planicie del río Motatán, estado Trujillo, Venezuela.....</p> <p style="padding-left: 20px;">Evaluation of five legumes as cover crops for weed control in the Motatan river plains, Trujillo State, Venezuela.</p>	117
<p>OCHOA, G. R., D. MALAGÓN y J. OBALLOS. Influencia del material parental y del bioclima en la pedogénesis de la cuenca media y alta del río Motatán. Mérida-Trujillo. Venezuela.....</p> <p style="padding-left: 20px;">Parent material and bioclimate influence on the river Motatán medium and upper basin pedogenesis. Merida-Trujillo. Venezuela.</p>	125
<p>LOZADA GARCÍA, B. I. y P. C. SENTELHES. Modelos de estimación de las temperaturas promedio de la mínima, máxima y media diaria para la región andina de Venezuela.....</p> <p style="padding-left: 20px;">Estimation models for climatic average of daily minimum, maximum and medium air temperatures for the andes region in Venezuela.</p>	141
<p>BARRIOS M., R. y A. FLORENTINO. Propiedades hidráulicas de dos suelos subirrigados cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela.....</p> <p style="padding-left: 20px;">Hydraulic properties of two subirrigated soils cultivated with oil palm in Monagas State, Venezuela.</p>	155
<p>WARNOCK, R. y J. GARCÍA. Sistema para la identificación de fenología en variedades determinadas e indeterminadas de caraota.....</p> <p style="padding-left: 20px;">System for the identification of phenology in determinate and indeterminate varieties of beans.</p>	163
<p>DELGADO, M., A. ORTIZ-DOMÍNGUEZ y C. ZAMBRANO. Poblaciones de <i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) W.D. Clayton con resistencia cruzada al foramsulfuron+iodosulfurom.....</p> <p style="padding-left: 20px;">Populations of <i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) W.D. Clayton with cross resistance to foramsulfuron +iodosulfuron.</p>	175

Artículos:	Pág.
AVILÁN, L., E. SOTO, C. MARÍN R., M. PÉREZ, M. RODRÍGUEZ y J. RUÍZ. Productividad del mango en una población de alta densidad durante el período de plena producción..... Mango productivity of a high density population during full production period.	181
PARDO-CARDONA, V. M., D. CARUSO y T. ROJAS. Primer registro para Venezuela de <i>Puccinia hemerocallidis</i> Thüm., la roya del lirio de la mañana..... First report of daylily rust <i>Puccinia hemerocallidis</i> Thüm., for Venezuela.	193

Instrucciones a los Autores

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE HÍBRIDOS Y VARIEDADES DE ARROZ EN LOS LLANOS CENTROCCIDENTALES DE VENEZUELA

ASSOCIATION BETWEEN VARIETAL TRAITS AND DAMAGE CAUSED BY THE SUGARCANE STEMBORER IN PORTUGUESA, VENEZUELA

Rosa M. Álvarez*, Mónica Pérez**, Edicta Reyes*, Orlando J. Moreno*, Nelly Delgado*, Gelis T. Torrealba***, Marco A. Acevedo***, William A. Castrillo***, María I. Navas****, Marbelys Salazar****, Orlando J. Torres****, Edgar A. Torres*****, Pedro J. García* y Alberto Pérez*

*Investigadores. INIA. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Portuguesa, Araure, Apdo. 102;

CIAE-Guárico, Calabozo, Apdo. 14; *CIAE-Barinas, Barinas, Apdo. 170, respectivamente.

**Tesisista UNELLEZ, Mesa de Cavacas, Guanare.

*****Investigador Fondo Latinoamericano y del Caribe de Arroz con Riego. FLAR.
Centro Internacional de Agricultura Tropical Palmira, Cali, Colombia.

RESUMEN

El arroz, *Oryza sativa* L., es uno de los cereales de mayor producción a nivel mundial. Sin embargo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que para el año 2025 se requerirán aproximadamente 190 millones de toneladas adicionales de arroz a las ya producidas mundialmente. Por esta razón, los centros de investigación en arroz están trabajando en otras alternativas que permitan asegurar la producción del cereal; siendo una de estas, la producción de híbridos de arroz. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento agronómico de un conjunto de híbridos de arroz provenientes de Asia y compararlos con variedades locales e introducidas. Las evaluaciones se condujeron en el ciclo de lluvias de 2001, en el estado Portuguesa, Venezuela, utilizando un diseño experimental de bloques aumentados de Federer. Se evaluaron 27 híbridos y 29 variedades élites, y como testigos 3 híbridos y 4 variedades comerciales de Asia y 1 variedad local (FONAIAP 1). Los resultados indican que los híbridos superaron en 17% a las variedades en rendimiento de granos, lo cual fue dado por una mayor longitud de panículas, número de granos por panícula y fertilidad de la panícula. No obstante, presentaron problemas agronómicos relacionados con volcamiento (acame) y calidad de grano.

Palabras Clave: *Oryza sativa* L.; híbridos; bloques aumentados de Federer.

SUMMARY

Rice, *Oryza sativa* L., is one of the most important cultivated cereals in the planet. However the FAO estimates that for the year 2025 it will be required approximately 190 million tons of rice in addition to the actual world production. For this reason, the Research Centers of Rice have oriented their researches towards new alternatives to assure the production of this cereal. One of those alternatives is the production of hybrids. The objective of this study was to evaluate the agronomic performance of hybrids coming from Asia and to compare them with foreign and local varieties. The evaluation was carried out during the rainy season of the year 2001, in Portuguesa state, Venezuela, using an experimental design of increased blocks of Federer. We evaluated 27 elite hybrids, 29 elite's varieties, and as check, 3 commercial hybrids, 4 commercial varieties from Asia, and 1 local commercial variety (FONAIAP 1). The results indicated that the hybrids were 17% superior than the varieties with regard to grain yield. This was caused by higher panicles length, more number of grains for panicle and higher fertility. Nevertheless, they presented low potential to commercial production due to the problems with lodging incidence and high percentage of chalkiness and white belly in the grains.

Key Words: *Oryza sativa* L.; hybrid; increased block of Federer.

RECIBIDO: octubre 10, 2006

ACEPTADO: mayo 15, 2007

INTRODUCCIÓN

El cultivo del arroz, *Oryza sativa* L., comenzó hace casi 10 000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Su origen se sitúa en el Sur de China, esta planta acuática ya era cultivada en el quinto milenio antes de Cristo a Orillas del Río Azul; de allí se extendería por toda Asia y África y luego llegaría a la cuenca del Mediterráneo, de donde cruzaría el Atlántico para llegar a América y establecerse tanto en el norte como en el Sur; en la actualidad se conocen 24 especies dentro del género "Oryza" (Acevedo *et al.*, 2006).

Este cultivo es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial. A pesar de que en la India el arroz silvestre, "wild rice", contiene mayor cantidad de fibra y potasio, gran parte de los arroces comerciales tienen propiedades nutritivas parecidas, variando sólo en su sabor y textura (Polo, 2006).

A nivel mundial, el arroz ocupa el segundo lugar después del trigo si se considera la superficie cosechada, pero si se considera su importancia como cultivo alimenticio, el arroz proporciona más calorías (80%) por hectárea que cualquier otro cultivo de cereales. Además de su importancia como alimento, el arroz proporciona empleo al mayor sector de la población rural de la mayor parte de Asia meridional y oriental, aunque también es ampliamente cultivado en África, América, y en algunos puntos de Europa meridional, sobre todo en las regiones mediterráneas (AIA, 2004).

Este cultivo se siembra en 110 países, pero los principales exportadores no son los principales productores, puesto que éste se consume casi en su totalidad en donde se produce, con la excepción de Estados Unidos. Esto significa que sólo el 5 ó 6% de la producción llega al mercado mundial. El 90% de los arrozales se encuentran en Asia, continente que responde por el 86% de la cosecha mundial. África, América y 5 países de la Unión Europea (Italia, España, Portugal, Francia y Grecia) se reparten el resto de la producción (Acevedo *et al.*, 2006).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2001) estima que para el año 2025 se requerirán aproximadamente 190 millones de toneladas adicionales de arroz, lo que implica, con los rendimientos actuales, la siembra de 50 millones de hectáreas adicionales. Aunado a esto, se prevé que el consumo de arroz en muchos países asiáticos aumentará a mayor velocidad que el crecimiento demográfico.

Según un documento presentado en la XIX Reunión de la Comisión Internacional del Arroz (integrada por 61 países miembros) sobre la producción de Asia y el Pacífico, en el año 2001, para enfrentar la demanda futura, la producción actual de arroz debe tener un incremento de 18% anual. Sin embargo, se conoce que la tasa de crecimiento de la producción de arroz correspondiente al decenio 1975 - 1985 fue de 3,2%, disminuyendo a 1,7% en el decenio 1985 - 1995, y continúa reduciéndose (FAO, 2001). Se anticipa que de los próximos 10 a 20 años, conforme siga aumentando la población y disminuyendo la tasa de crecimiento de la producción de arroz, muchos países asiáticos dejarán de ser autosuficientes y se convertirán en importadores netos (AIA, 2004).

En la XIX Reunión de la Comisión Internacional del Arroz, los principales países productores mundiales plantearon incrementar el cultivo del arroz híbrido, como estrategia para aumentar la producción mundial del cereal, manteniendo las áreas sembradas debido al mayor potencial de rendimiento de los mismos, dado por un mayor número de granos por panícula, producción de materia seca, índice de cosecha y peso de 1000 granos, que se obtiene como consecuencia de la heterosis (Virmani, 1999; Fujimaki y Matsuba, 1997).

Los resultados de muchos años de investigación en China han demostrado que cerca del 95% de los híbridos rinden de 30 a 50% más que el mejor progenitor, fenómeno conocido en genética como heterobeltiosis y entre 20 ó 30% son más productivos que las mejores variedades utilizadas en la zona, conocido en genética como heterosis estándar, los mayores rendimientos se obtienen con híbridos más tardíos que en precoces, en la subespecie indica que en la subespecie japónica y en cruces de progenitores no relacionados. Sin embargo, a pesar de estos avances en pro de una mayor producción, la heterosis también causa un incremento de otros caracteres como la altura de planta en los materiales híbridos, generando un comportamiento indeseable, ya que contribuye a una mayor susceptibilidad al acame; para contrarrestar este efecto, todos los híbridos comerciales utilizan el gen de enanismo *sd1* común en muchos materiales semienanos (Fujimaki y Matsuba, 1997).

El híbrido del arroz fue desarrollado en la China en 1976, por el investigador Luang Long Ping, conocido como el padre del arroz híbrido, el ha desarrollado materiales con potencial de producción de 17 toneladas por hectárea. En china en el período 1976 a 2000 la superficie total dedicada al cultivo del arroz híbrido ascendió a 271 millones de hectáreas, con un aumento total de

producción de grano de 400 millones de toneladas. En Vietnam, se cultivan más de 480 000 hectáreas de arroz híbrido, y en India se plantaron 200 000 hectáreas en el 2001. El gobierno de Filipinas ha sido uno de los que más interés ha mostrado en la tecnología del arroz híbrido, con la esperanza de que les ayude a conseguir el ansiado objetivo de la autosuficiencia en arroz en su país (Cantrell, 2006).

En países de América Latina países como Brasil y Colombia, así como también Estados Unidos, han obtenido buenos resultados experimentales en rendimientos en granos con la utilización de híbridos, sin embargo, se ha dificultado la utilización de estos a escala comercial, principalmente por la susceptibilidad al acame, que han presentado la mayoría de los materiales probados, así como, al precio de la semilla por kg y la dificultad de la producción comercial de semilla.

En el año 2000, la compañía privada Rice Tec lanzó el primer híbrido comercial para cultivo en las áreas arroceras de Estados Unidos, el material fue nominado "XL 6". En ese año el rendimiento en granos promedio de dicho material fue 2 000 kg h⁻¹ más que las variedades comerciales en 19 ensayos en fincas de agricultores. En 2 años de siembra, superó a la variedad "Drew" en 96% de las pruebas en 2 098 kg h⁻¹, y a la variedad "Wells" en el 100% en 1 561 kg h⁻¹.

El ciclo del híbrido "XL 6" es intermedio similar a la variedad "Cocodrie" con un promedio de 109 días para la cosecha, éste es susceptible al acame, especialmente con altas dosis de nitrógeno y poco potasio y altas láminas de agua. La calidad molinera es inferior a las variedades comerciales con un promedio de 44%- 46% de grano entero (Rice Tec, 2001).

Algunas empresas como el Instituto Riograndese del Arroz (IRGA), en el estado de Río Grande do Sul en Brasil, han evaluado dichos materiales, obteniendo una mayor producción de granos superior a las variedades locales, sin embargo, presentan problemas de acame (Ric Tec, 2001).

Por su parte, Cuevas- Pérez *et al.* (1992) para América Latina y Acevedo *et al.* (2007) en Venezuela, han demostrados en sus estudios sobre la base genética del germoplasma de arroz que la diversidad de las variedades comerciales es muy estrecha, en vista de ello en el Centro Internacional Agricultura Tropical (CIAT-Colombia), se han desarrollado cruzamientos entre líneas de origen CIAT ampliamente adaptadas a la región, las cuales muestran considerable heterosis para macollamiento,

crecimiento vegetativo y potencial de rendimiento en granos, lo cual indica la posibilidad de producir híbridos sin necesidad de recurrir a materiales exóticos poco adaptados; es por ello que la Federación Nacional de Arroceros de Colombia (FEDEARROZ) propone que es posible a través del mejoramiento genético, convertir en líneas mantenedoras, variedades comerciales tropicales de amplia adaptabilidad, con resistencia a enfermedades y excelente calidad molinera.

Asia actualmente está explotando la mayor parte de las tierras aptas para el cultivo de arroz, se prevé que en pocos años este continente no va a poder expandir sus áreas de siembra, en África las tierras poseen una gran limitante al no contar con los recursos hídricos necesarios para cubrir los requerimientos del cultivo a gran escala, entonces parece que América Latina puede convertirse en el futuro, en el principal exportador de arroz, al contar con potencial de tierras y aguas aptas para este cereal; de aquí, que sea necesario incorporar la investigación de arroces híbridos en los programas de mejoramiento genético de los programas nacionales, a fin de iniciar en el mediano plazo el cultivo comercial y rentable arroces híbridos.

En Venezuela, desde inicios del 2000 el INIA ha estado evaluando híbridos de arroz provenientes de Asia, a través de viveros del Instituto Internacional de Investigaciones en Arroz (IRRI); en este sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento genético y agronómico de un conjunto de híbridos de arroz provenientes del IRRI y comparar dicho comportamiento con variedades asiáticas y una local, durante el ciclo de lluvias del año 2001, en el estado Portuguesa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales evaluados (Cuadros 1 y 2) formaron parte del vivero de observación de híbridos del año 2001 (IRHON) del IRRI (Filipinas). Los mismos estuvieron formados por 27 híbridos élites y 29 variedades élites comerciales de Asia y como testigos 5 variedades comerciales, 4 de las cuales provinieron del IRRI y 1 variedad local (FONAIAP 1), esta última seleccionada por ser una variedad adaptada a las condiciones agro ecológicas donde se desarrollo el ensayo, aunado a su amplia aceptación en el mercado nacional por su buen comportamiento agronómico.

El experimento se llevó a cabo durante el ciclo de lluvias del año 2001, en el Campo Experimental del INIA, ubicado en Los Malabares, municipio Araure, estado Portuguesa (9°36'N, 69°13'O y 200 m.s.n.m.).

CUADRO 1. Materiales experimentales utilizados en el estudio comparativo, 2001.

Entrada	Híbridos	Origen	Entrada	Variedades	Origen
1	IR77256H	IRRI	28	IR58025B	IRRI
2	IR77845H	IRRI	29	IR62829B	IRRI
3	IR77257H	IRRI	30	IR68888B	IRRI
4	IR76701H	IRRI	31	IR68886B	IRRI
5	IR77843H	IRRI	32	BRB223-2-2-2-1R	Bangladesh
6	IR75582H	IRRI	33	IR34686-179-1-2-1R	IRRI
7	IR77255H	IRRI	34	IR59682-132-1-1-2R	IRRI
8	IR75228H	IRRI	35	IR60819-34-2R	IRRI
9	IR77254H	IRRI	36	IR69701-CP 38 C 1-304-1-1R	IRRI
10	IR75579H	IRRI	37	IR65622-151-1-2-2-2R	IRRI
11	IR76704H	IRRI	38	IR59606-119-3R	IRRI
12	IR77265H	IRRI	39	IR69726-54-3-1R	IRRI
13	IR75208H	IRRI	40	IR62653-8-3-3R	IRRI
14	IR75584H	IRRI	41	IR51078-33-2-1-1-3R	IRRI
15	IR77837H	IRRI	42	C7020-15R	Taiwán
16	IR77266H	IRRI	43	IR68078-15-2-1-2-2R	IRRI
17	IR75580H	IRRI	44	IR4563-52-1-3-6R	IRRI
18	IR69688H	IRRI	45	IR65383-35-3-2-1R	IRRI
19	IR69612H	IRRI	46	IR57301-158-1R	IRRI
20	IR77842H	IRRI	47	IR50360-121-3-3-3R	IRRI
21	IR75583H	IRRI	48	IR29723-43-3-2-1R	IRRI
22	IR77841H	IRRI	49	IR59544-110-2-3-2R	IRRI
23	IR75586H	IRRI	50	IR63908-46-2-2-2R	IRRI
24	IR76709H	IRRI	51	IR65483-14-1-4-13R	IRRI
25	IR77844H	IRRI	52	IR68077-37-2-2-3-2R	IRRI
26	IR75217H	IRRI	53	IR55178-3B-9-3R	IRRI
27	IR76715H	IRRI	54	IR67924-75-4-3-2R	IRRI
			55	RP2087-194-1-2-2R	India
			56	IR65515-47-2-1-19R	IRRI

Se utilizó el diseño experimental de bloques aumentados de Federer (Federer, 1961), con 4 bloques. La unidad experimental constó de 4 hileras de 5 metros de largo, separadas 0,30 cm (6 m²). La siembra se realizó el 26 de julio de 2001 con semilla pregerminada. El manejo agronómico empleado en el experimento fue similar al adoptado por los productores comerciales.

Los caracteres evaluados en el experimento fueron: floración inicio, 50% y 100%, aceptación fenotípica en floración (PAcp1); aceptación fenotípica en madurez (PAcp2); Ejerción de Panícula (Exs); desgrane predominante de la panícula (Thr); longitud de grano (GrL);

tolerancia al acame (Lg); altura de planta (Ht); número de plantas/metro (NPM); número de macollas /metro (NMM); número de panículas/metro (NPam); longitud de la panícula (PnL); número de granos vanos/panícula (NGV); número de granos llenos/panícula (SpFert); número de granos totales (NGT); peso de mil granos (GW); porcentaje de grano entero (GE); porcentaje de yeso (Y), porcentaje de panza blanca (PB), yeso más panza blanca (Y+PB) y el rendimiento de granos corregido a 14% de humedad, expresado en kg/ha (Yld). Para la evaluación de estas variables se utilizó las escalas del sistema de evaluación estándar en arroz.

CUADRO 2. Cultivares utilizados como testigo en el estudio comparativo, 2001.

Entradas	Cultivar	Origen	Tipo de material
56	IR64616H	IRRI	Híbrido
57	IR68284H	IRRI	Híbrido
58	IR71625H	IRRI	Híbrido
59	IR42	IRRI	Variedad
60	IR50	IRRI	Variedad
61	IR72	IRRI	Variedad
62	PSB RC2	Filipinas	Variedad
63	FONAIAP 1	Venezuela	Variedad

Análisis Estadístico

En las investigaciones sobre mejoramiento de plantas, en las primeras etapas del proceso de mejora genética, el elevado número de genotipos, la escasez de semilla y la baja disponibilidad de recursos, no permiten plantear un diseño experimental que cumpla con el requisito de tener repeticiones de todos los tratamientos (Bargueño - Ferreira *et al.*, 2005).

Una práctica frecuente es intercalar testigos entre las líneas a evaluar y, por comparación directa con éstos, se seleccionan de manera rigurosa las variedades prometedoras, a lo cual Federer (1961) denominó diseños de bloques aumentados, generando la metodología de análisis, en donde los tratamientos repetidos se emplean para obtener una estimación del error experimental.

En consecuencia, los diseños aumentados contienen dos tipos de tratamientos, los estándar o testigos y los nuevos tratamientos o aumentados; estos últimos comúnmente se consideran efectos aleatorios, mientras que los tratamientos testigos son considerados efectos fijos (Federer *et al.*, 2001). Se calculó el Error Estándar para la diferencia entre un cultivar experimental y el testigo, utilizando la siguiente fórmula, según Martínez, 1987:

$$S3 = \sqrt{[CME (1 + 1/B + 1/C - 1/BC)]} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: B = número de bloques y C = número de testigos. Se realizaron pruebas de comparación de medias mediante la mínima diferencia significativa (MDS) al 5% de probabilidad.

El análisis de varianza (ANDEVA) para el conjunto de cultivares testigos (híbridos y variedades) se utilizó para estimar el error experimental y fue empleado para comparar el potencial de rendimiento en granos del grupo de variedades y de híbridos comerciales. Este análisis se realizó como bloques al azar con 4 repeticiones, ya que en cada bloque del experimento estuvieron presentes todos los testigos, de manera aleatorizada. Los análisis estadísticos se realizaron con el sistema GLM del programa SAS (2003).

La media del rendimiento del grupo de híbridos testigos sirvió como referencia para evaluar el potencial de los híbridos experimentales, mientras que la media del grupo de variedades testigos fue el valor utilizado para comparar las variedades experimentales. También se realizaron contrastes ortogonales, para comparar las diferencias en rendimiento entre el grupo de variedades y el grupo de híbridos testigos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las comparaciones realizadas entre los dos grupos de testigos (híbridos y variedades), a través de los análisis de varianza (ANDEVA), no se observaron diferencias entre el grupo de híbridos y variedades para las variables NPM, NMM, NPmM, NGV y GW (Cuadro 3). No obstante, el análisis indicó que ambos grupos de cultivares (híbridos élites y variedades) evaluados, mostraron diferencias importantes entre sí ($P \leq 0,01$ ó $P \leq 0,05$) en lo que respecta a la Ht, PnL, SpFert, NGT, así como también para los GE, Y, PB y Y+PB.

En lo que respecta al rendimiento Yld, el análisis no detectó diferencias importantes al 5% de probabilidad; sin embargo, al ser menos estrictos, lo cual es permisible en este tipo de evaluaciones preliminares, se detectan diferencias estadísticas ($P \leq 0,1$) entre ambos grupos de materiales experimentales. Resultados similares para rendimiento en granos en evaluaciones comparativas de híbridos y variedades fueron observados en trabajos realizados por Muñoz (1994), Virmani (1999) y Acevedo *et al.* (2003).

Los híbridos testigos rindieron 6 504 kg ha⁻¹, mientras que el promedio de las variedades comerciales utilizadas como testigos fue de 5 052 kg, ver Cuadro 4. Un contraste realizado con ambos grupos de testigos (Análisis no mostrado) indicó que ambas medias fueron diferentes, lo cual sugiere un mayor nivel de productividad de los híbridos sobre las variedades.

CUADRO 3. Análisis de varianza para híbridos y variedades comerciales en el estudio comparativo, 2001.

Variable	Fuente de variación	Cuadrado Medio del error	Valor de F	Coefficiente de Variación (%)
Ht	Contraste	350,01	38,76**	6,40
NPM	Contraste	0,09	0,01	29,56
NMM	Contraste	10 161,08	0,58	30,35
NPaM	Contraste	105,80	0,35	24,45
PnL	Contraste	48,74	24,86**	6,33
NGV	Contraste	97,80	2,90	19,90
SPFert	Contraste	5 267,30	8,26*	15,58
NGT	Contraste	6 832,24	9,56**	14,85
GW	Contraste	4,58	1,00	12,95
GE	Contraste	124,19	5,37**	9,87
Y	Contraste	686,41	25,79**	22,69
PB	Contraste	663,36	20,79**	26,00
Y+PB	Contraste	1 158,78	15,17**	31,13
Yld	Contraste	11 039,00	3,74+	20,97

** , * y + indican significancia al 1%, 5% y 10%, respectivamente.

Los híbridos presentaron ciclo corto y aceptación fenotípica aceptable en floración, arquitectura de planta semiabierto con buen vigor y buena Exs de panículas (Cuadro 5). Sin embargo, a excepción del testigos IR68284H, todos los híbridos mostraron problemas importantes de volcamiento, durante la etapa de maduración, lo cual pudo estar influido por la mayor altura expresada en los cultivares híbridos (7%), y al sistema de cultivo empleado. En las variedades se observó un ciclo corto e intermedio y buena aceptación fenotípica en floración. Dentro de este grupo, el material con mejor comportamiento agronómico fue la variedad local FONAIAP 1, seguido de la variedad Filipina PSBRC2, ambos cultivares utilizados como testigo en este estudio.

Para la variable rendimiento de grano (Cuadros 5 y 6), se observó que el grupo de los híbridos superó a las variedades en 17% (diferencias significativas al 10%). Esta superioridad en rendimiento en los híbridos está dado por una mayor PnL, NGV y SpFert.

En su estudio, Muñoz (1994) señaló que sólo un híbrido con rendimiento de 8 300 kg h⁻¹, superó a la variedad "Oryzica 1" utilizada como testigo, mientras la heterobeltiosis y heterosis estándar para este mismo carácter fueron de 21% y 10%, respectivamente.

Estudios conducidos por el IRRI que compararon los mejores híbridos con las mejores variedades comerciales

durante 1985 a 1995, mostraron un 17% de superioridad en rendimiento en granos de los primeros (Virmani 1999). Acevedo *et al.* (2003) indica heterosis de 16% sobre la variedad más utilizada comercialmente en experimento de comparación de rendimiento en granos.

CUADRO 4. Rendimiento en granos promedio de los cultivares testigos utilizados para realizar el análisis de varianza.

Testigos	Cultivar	Tipo de cultivar	Rendimiento
1	IR64616H	Híbrido	7 851
2	IR68284H	Híbrido	6 270
3	IR71625H	Híbrido	5 392
Promedio de los Híbridos			6 504
4	IR42	Variedad	4 823
5	IR50	Variedad	3 577
6	IR72	Variedad	5 277
7	PSB RC2	Variedad	5 397
8	FONAIAP-1	Variedad	6 184
Promedio de las Variedades			5 052
MDS del ANOVA (5%)			2 783
MDS de Federer (5%)			2 569

CUADRO 5. Rendimiento, componentes de rendimiento y calidad molinera ajustados de los híbridos élitos de arroz, 2001.

Nº	Designación	Rend. Ajustado	LonP Ajustado	NGV Ajustado	NGLL Ajustado	NGT Ajustado	PMG Ajustado	GE Ajustado	Y Ajustado	PB Ajustado	YPB Ajustado
1	IR77256H	4 611	28,96	37*	139	176	26	57	9*	1*	10*
2	IR77845H	4 795	28,52	17	211	228	25	56	14	22	36
3	IR77257H	4 663	29,93	36	220*	256*	30	52	19	18	37
4	IR76701H	5 691	30,13	39*	227*	266*	26	58	18	12	30
5	IR77843H	6 176	28,65	15	216*	231	28	66*	24	15	39
6	IR75582H	3 828*	26,42	22	160	182	29	48	40*	19	59*
7	IR77255H	2 508*	26,22	17	160	178	29	46	28	50	78*
8	IR75228H	5 015	27,67	28	189	217	22	49	32*	32*	64*
9	IR77254H	2 145*	29,18	28	168	195	24	51	36*	19	55
10	IR75579H	5 258	28,75	36	144	180	20*	47	12	7*	19*
11	IR76704H	2 654*	24,41*	13*	88*	101*	26	49	24	20	44
12	IR77265H	1 494*	26,22	30	133	163	26	44*	26	20	46
13	IR75208H	1 686*	26,47	31	145	177	24	49	20	17	37
14	IR75584H	5 240	27,00	25	149	174	25	51	23	28*	51
15	IR77266H	2 581*	27,03	13*	189	201	24	58	12	24	36
16	IR69688H	4 986	24,82*	21	144	165	26	48	20	34	54
17	IR69612H	7 051	24,17*	22	121	143	32*	58	21	15	36
18	IR77842H	4 980	24,76*	15	135	150	30	55	16	13	29
19	IR75583H	4 977	26,65	16	157	173	30	51	28	11	39
20	IR75586H	6 781	27,74	35	224*	259*	29	57	13	9	22*
21	IR77844H	6 860	27,64	65*	136	201	33*	59	19	4*	23
22	IR75217H	7 526	26,70	31	157	188	32*	57	17	2*	19*
23	IR76715H	7 405	24,65*	16	177	193	28	59	19	15	34
	Mds(5%)	2 569	3	11	46	49	4	9	9	10	16
	Media testigos	6 504	27,07	26,43	164,74	191,17	26,39	53,78	21,89	42,22	64,11
	Media general	6 235	27,98	21	179	200	26,39	54	22	39	61

Ren: Rendimiento; LonP: Longitud de la panícula; NGV: Número de granos vanos por panícula; NGLL: Número de granos llenos por panícula; NGT: Número de granos totales; PMG: Peso de mil granos; GE: Grano entero; Y: Yeso; PB: Panza blanca; YPB: Yeso + Panza blanca; *Diferencia significativa para un $\alpha= 0,05$, según la prueba de la mínima diferencia significativa (Mds).

CUADRO 6. Rendimiento, componentes de rendimiento y calidad Molinera ajustados de las variedades de arroz, 2001.

Nº	Designación	Rend. Ajustado	LonP Ajustado	NGV Ajustado	NGLL Ajustado	NGT Ajustado	PMG Ajustado	GE Ajustado	Y Ajustado	PB Ajustado	YPB Ajustado
1	BRB223-2-2-2-1R	4 290	23,06	34	218*	253*	26,14	53	13	22*	35*
2	IR34686-179-1-2-1R	5 007	25,80	4*	59*	63*	32,74*	64	21*	81*	100*
3	IR59682-132-1-1-2R	6 142	26,62	17	206	223	23,97	47*	9	4	13
4	IR58025B	6 410	25,54	40	185	225*	24,24	60	15	10	25
5	IR60819-34-2R	5 477	25,85	14	174	189	26,34	58	18	28*	46*
6	IR69701-CP 38 C 1-304-1-1R	4 979	25,02	4*	136	140	27,85	63	22*	16	38*
7	IR62829B	4 701	24,49	12	156	168	23,78	51	29*	28*	57*
8	IR65622-151-1-2-2-2R	5 013	25,43	24	190	215	28,73	52	37*	40*	77*
9	IR59606-119-3R	7 189	25,13	12	129	141	28,55	53	18	57*	76*
10	IR69726-54-3-1R	4 015	29,14*	35*	213*	247	26,87	54	18	9	28
11	IR62653-8-3-3R	4 457	25,47	24	88*	112*	26,98	59	9	6	16
12	IR51078-33-2-1-1-3R	6 054	23,86	16	162	177	27,71	57	12	6	19
13	C7020-15R	1 670*	25,38	35*	170	205	27,62	56	15	9	25
14	IR68078-15-2-1-2-2R	4 945	26,71	19	166	185	28,23	52	27	37*	65*
15	IR4563-52-1-3-6R	4 376	25,43	14	163	177	23,47	62	42	33*	75*
16	IR57301-158-1R	3 972	24,07	23	164	159	24,69	61	17	26*	43*
17	IR50360-121-3-3-3R	5 009	22,53*	6*	165	110*	23,01	66	9	8	17
18	IR29723-43-3-2-1R	4 434	26,74	23	166	158	27,27	65	23*	55*	79*
19	IR59544-110-2-3-2R	4 954	26,37	15	167	166	27,28	59	26*	13	39*
20	IR68886B	4 669	21,77*	23	168	138	23,09	55	18	85*	100*
21	IR63908-46-2-2-2R	5 747	24,75	29*	169	215	26,49	61	24	5	29
22	IR65483-14-1-4-13R	3 984	23,35	19	170	163	22,7*	61	11	17*	28
23	IR55178-3B-9-3R	5 802	27,85*	24	161	185	26,70	63	61*	17*	78*
24	IR67924-75-4-3-2R	4 574	28,81*	19	191	210	23,56	54	11	9	20
25	RP2087-194-1-2-2R	4 844	22,47*	16	185	201	20,34*	62	15	6	21
Mds(t, 5%)		2.355	2,48	10	45	47	3,80	9	9	10	16
Media Testigos		5.052	25,27	20,04	164,84	177	25,93	58	10,80	6,6	17,40
Promedio general		5.212	25,10	17	150	167	27,27	58	11	7	18

Yld: Rendimiento; LonP: Longitud de la panícula; NGV: Número de granos vanos por panícula; NGLL: Número de granos llenos por panícula; NGT: Número de granos totales; PMG: Peso de mil granos; GE: Grano entero; Y: Yeso; PB: Panza blanca; YPB: Yeso + Panza blanca; *Diferencia significativa para un $\alpha=0,05$, según la prueba de la mínima diferencia significativa (Mds).

En cuanto a calidad molinera se observaron diferencias significativas para GE. Sin embargo, ambos grupos presentaron GE aceptables, de acuerdo al estándar utilizado por la agroindustria venezolana (> 50%). En cuanto a la apariencia del grano, el análisis arroja diferencias altamente significativa para Y, Y+ PB, a favor de las variedades; la mayoría de los materiales evaluados tuvieron altos valores de Y y PB.

Tanto los híbridos como las variedades evaluadas presentaron arquitectura de planta semiabierta, buen vigor y buena Exs, además de valores similares para algunos componentes de rendimientos tales como NPM, NMM, NPAM, NGV y GW. Los híbridos expresaron valores superiores al de las variedades en Ht, GrL, NGV y SpFert, lo cual le confirieron un potencial de rendimiento superior. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por RiceTec (2001); Virmani (1999); Fujimaki y Matsuba (1997); Acevedo *et al.* (2003).

Los resultados obtenidos en este trabajo, con respecto a rendimiento, se observa que en la búsqueda de romper el techo de producción en arroz, hace falta resolver algunos problemas inherentes a los cultivares híbridos, que los limita agronómicamente, tal como la alta susceptibilidad al volcamiento, presentado en la etapa de maduración de grano; esto coincide con los resultados obtenidos en el Instituto Riograndese del Arroz (IRGA) en 1999, cuando se evaluaron algunos híbridos provenientes de la compañía americana RiceTec Inc., los cuales presentaron problemas de vuelco (Rice Tec, 2001).

Otro aspecto importante y que limita la posibilidad de uso de los mismos, son los elevados niveles de PB tanto en los híbridos como en las variedades asiáticas evaluadas.

Es importante señalar que este germoplasma de arroz híbrido con características del tipo índica, fue generado para otros mercados y otros ambientes agroecológicos, lo que implica que no necesariamente deben satisfacer las demandas del mercado venezolano. Por lo tanto, si se quiere producir híbridos de arroz en América Latina, competitivos con las variedades locales, se debe recurrir al establecimiento de programas de mejoramiento genético orientado a la producción de híbridos de arroz tal como lo propone La Federación de Arroceros de Colombia, Fedearroz citado por Cuevas-Pérez *et al.* (1992).

CONCLUSIONES

- Los híbridos superaron en rendimiento de granos de arroz paddy a las variedades en 17%.

- Los componentes de rendimiento que contribuyeron a la superioridad de los híbridos sobre las variedades fueron PnL, NGV y SpFert.
- Los híbridos en su mayoría presentaron problemas de acame o volcamiento.
- El cultivar con mejor comportamiento agronómico fue la variedad local FONAIAP 1.
- Las variedades superaron a los híbridos en calidad de grano, específicamente en lo relacionado con una mejor apariencia del grano (Y y PB).

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, M., W. Castrillo y U. Belmonte. 2006. Origen, diversidad y evolución del arroz. *Agronomía Trop.* 56(2):151-170 p.
- Acevedo, M., E. Torres, O. Moreno, R. Álvarez, O. Torres, W. Castrillo, G. Torrealba, E. Reyes, M. Salazar y M. Navas. 2007. Base genética de los cultivares de arroz de riego liberados en Venezuela. *Agronomía Trop.* 57(3):197-204.
- Acevedo, M., Y. Yong, W. Castrillo, G. Torrealba, L. Ji, P. Abreu y C. Ríos. 2003. Evaluación de híbridos de arroz en Venezuela. *Revista del Foro Arroceros Latinoamericano Vol 9, N° 2, ejemplar 18, noviembre 2003, p. 20-23.*
- Año Internacional del Arroz. 2004. (A. I. A). "El arroz es vida". Edición electrónica. Texto completo en <http://www.cinu.org.mx/prensa/especiales/2004>.
- Bargueño-Ferreira, J., A. Martínez-Garza, J. Crossa y A. Mastache-Lagunas. 2005. Diseños experimentales con testigos repetidos. *Agrociencia* 39:679-691 p.
- Cantrell, R. 2006. La importancia del arroz para la seguridad y la estabilidad mundiales. *Perspectivas Económicas*. Publicación electrónica del Departamento de Estado de Estados Unidos. Con autorización de *Perspectivas Económicas* para reproducirse fuera de los Estados Unidos <http://usinfo.state.gov/journals/jourspa.htm>.
- Cuevas-Pérez, F., E. Guimaraes, L. Berrio and D. González. 1992. Genetic base of irrigated rice in Latin American and Caribbean, 1971-1989. *Crop Science* 32: 1054-1059 p.

Federer, W. T. 1961. Augmented designs with one – way elimination of heterogeneity. *Biometrics* 17(3):447-473.

Federer, W. T., M. Reynolds y Crossa J. 2001. Combining results from augmented designs over sites. *Agronomy Journal* 93:389-395.

Fujimaki, H., and K. Matsuba. 1997. Characteristics of hybrid rice. In science of rice plant, genetics. Food and Agricultural Policy Research Center. Tokio, Japón.

Genetic Resources Actions Intemational. 2000. Hybrid rice in Asia: An unfolding threath. www.grain.org consulta 9-12/09/2001.

International Rice Research Institute (IRRI). 1996. Sistema de Evaluación Estándar para Arroz. Manila, Filipinas. 4a. Edición.

Naciones Unidas. FAO. 2001. The state of food insecurity in the world. Disponible em: <<http://www.fao.org/Focus/E/home.l.htm>> Acceso em: 16/03/2000.

Muñoz, D. 1994. Híbridos de arroz en Colombia. *Revista Arroz de las Américas*, vol 5, N° 1. Boletín del programa de arroz del CIAT para investigadores de arroz en América Latina.

Martínez, W. O. 1987. Uso de diseños aumentados en ensayos preliminares de rendimiento. *Revista ICA*, 22(2):92-96.

Polo, V. M. 2006. El Arroz en el Mundo. **In:** Informe Red Telemática de Salud, Centro Nacional de Información de Ciencias Médicas, República de Cuba. Alina Pérez Martínez (Ed). Edición electrónica. Texto completo en <http://www.sld.cu/saludvida/temas.php>

Rice Tec, Inc. 2001. Hybrid rice seed. www.ricetec.com consult 13/09/2005.

**ASOCIACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS VARIETALES
Y EL DAÑO OCASIONADO POR EL TALADRADOR DE LA CAÑA DE AZÚCAR,
EN EL ESTADO PORTUGUESA, VENEZUELA**

**ASSOCIATION BETWEEN VARIETAL TRAITS AND DAMAGE CAUSED BY THE
SUGARCANE STEMBORER IN PORTUGUESA STATE, VENEZUELA**

Miguel C. Ramón M.*, Fernando Mauriello M.*, Yvan Graterol*, Humberto Giraldo- Vanegas, Cristóbal Mendoza*,
Margely M. Pérez P.* y Rosa M. Izarraga T.***

* Investigadores. INIA. Centro de Investigaciones Agrícolas del Estado Portuguesa (CIAE-Portuguesa). Apdo. Postal 102.
Acarigua, estado Portuguesa y ** CIAE-Táchira. Bramón, estado Táchira. Venezuela. E- mail: mramon@inia.gob.ve

RESUMEN

El taladrador de la caña de azúcar, *Sacharum* spp., (*Diatraea* spp.) es el insecto plaga de mayor importancia en el cultivo en Venezuela, después de la candelilla. El programa de mejoramiento de la caña de azúcar del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA incluye la determinación de la incidencia de esta plaga sobre los cultivares durante las etapa final del proceso de selección mediante la determinación del porcentaje de entrenudos perforados (Índice de infestación, I.I.) y porcentaje de entrenudos con galerías (Índice de intensidad de infestación, I.I.I.). Sin embargo, es necesario evaluar la efectividad y confianza de estos dos parámetros como indicadores de la resistencia al taladrador. Con la finalidad de identificar otras características varietales relacionadas con la resistencia a *Diatraea* spp., y evaluar la eficacia de los índices actualmente usados, se efectuó un análisis de correlación para los datos de 12 años de pruebas finales en el estado Portuguesa, Venezuela. Los datos analizados revelan ausencia de correlación entre el contenido de fibra del tallo, peso de tallo y número de tallos y los índices I.I. e I.I.I. indicando la falta de asociación entre estas variables y la resistencia a *Diatraea*. Sin embargo, se detectó una correlación negativa entre I.I.I. y diámetro ($-0,105 P>0,0016$). Se encontró un grado de asociación significativa entre el daño y la reducción del pol y la pureza del jugo. Las correlaciones altas y positivas entre I.I. y I.I.I. ($0,892 P>0,0001$) indican una alta asociación entre ambas lo que apunta a la fiabilidad de los mismos. Se amerita caracterizar el banco de germoplasma del INIA para evitar el uso de padres susceptibles.

Palabras Clave: *Sacharum* spp.; *Diatraea* spp.; índice de infestación; índice de intensidad de infestación; correlación de Pearson; resistencia varietal; INIA.

SUMMARY

The sugarcane borer (*Diatraea* spp.) is the second major pest in Venezuela right after the sugarcane froghopper (*Aeneolamia varia*). The Venezuelan sugar cane program includes screening experimental clones at the final stages during the regional trials when percentage of exited internodes and percentage of bored internodes are recorded at harvest during three crops. However, concerns have been raised over effectiveness and confidence of these two traits in assessing the resistance to the borer. In order to identify varietal traits related to reaction of attacks by sugar cane borer and evaluate efficiency of currently used infestation index a correlation analysis for the data recorded in 12 years of sugar cane regional trials in Portuguesa State, Venezuela was conducted. The data analyzed revealed very low correlation between juice fiber content, stalk weight and stalk number and percentage of bored internodes (I.I.I.) and percentage of exited internodes (I.I.) indicating the useless of this traits in constructing a selection index for identifying resistant clones in a population. Also, no relationship between fiber content with resistance to *Diatraea* spp. can be confirmed from these results. However, a low but significant negative correlation was found between stalk diameter and I.I.I. ($-0.105 P>0.0016$). *Diatraea* damage showed a negative and significant degree of correlation with reduction of sugar content and juice and quality. High and positive correlations between I.I.I. and I.I. ($0.892 P>0,0001$) may indicate the reliability of their use. Screening the gene bank in order to avoid the use of susceptible parents is a must.

Key Words: *Sacharum* spp.; intensity of infestation; intensity of infestation index; Pearson,s correlation; INIA; varietal resistance.

RECIBIDO: enero 02, 2006

ACEPTADO: septiembre 25,2007

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, el taladrador de la caña de azúcar, *Sacharum* spp., (*Diatraea* spp.) es el insecto plaga de mayor importancia después de la candelilla, *Aeneolamia varia*. El taladrador no pertenece a una sola especie, si no que además de *D. saccharalis* se pueden encontrar otras como *D. busckella*, *D. centrella*, *D. rosa*, y *D. impersonatella* por lo que es usual referirse a las mismas como un complejo de especies del género *Diatraea* (Ángeles y Paredes 1960; Mendonça 1977).

El adulto coloca los huevos en las láminas o en las vainas de las hojas desde donde las larvas se trasladan a los tallos para introducirse en su interior y alimentarse de los tejidos de la planta huésped haciendo túneles y a veces perforando sus cogollos internamente. Antes de transformarse en pupas, prolongan el túnel hasta la superficie del tallo donde dejan un orificio en la corteza para posibilitar la salida del adulto lo que también facilita la entrada de hongos, bacterias y otras plagas (Guagliumi, 1962).

En la zona del río Turbio, se determinó que por cada 1% de entrenudos perforados o índice de infestación (I.I.) observado en campo, la producción disminuye en 480 toneladas de azúcar por zafra (Ferrer y Guedez, 1990), mientras que en Brasil se estimó que 1 % de I.I., puede producir una pérdida de 62 l de etanol por hectárea (López *et al.*, 1983).

El método más efectivo de control de esta plaga es el uso de parasitoides siendo el más exitoso la mosca amazónica, *Lidella minense*, que, sin embargo, resultó muy específica al atacar casi exclusivamente a *D. saccharalis* lo cual llevó a una declinación de esta especie y al incremento de las demás especies. Esta situación obligó a buscar nuevos parasitoides siendo *Cotesia flavipes* la que finalmente surgió como una solución ya que no posee selectividad a las especies que incluyen el complejo *Diatraea* (Linares y Ferrer, 1990). Sin embargo, en algunos casos los parasitoides no llegan a ejercer un control adecuado o requieren de mayor tiempo de uso para poder apreciar su efectividad tal es el caso de Jamaica donde después de 8 años de uso de *C. flavipes* el índice I.I.I se incrementó de 10,5 a 12,9 (Fallon, 1989). Otros medios de control de la plaga incluyen el uso de virus y reguladores del crecimiento (Macedo *et al.*, 1989).

El componente más importante para el manejo integrado de esta plaga es la producción de cultivares resistentes o tolerantes al insecto, lo cual lleva a menores aplicaciones de insecticidas (Hensley, 1981). La resistencia

varietal al taladrador de la caña de azúcar se puede atribuir a: aspectos morfológicos que impiden o dificultan la oviposición, barreras que impiden o dificultan la movilidad de la larva y su penetración en el tallo, aspectos morfológicos y fisiológicos que afectan el desarrollo de la larva y tolerancia (Mathes y Charpentier, 1969). Entre los dos primeros se pueden citar la presencia de vellos en la lámina y vaina de la hoja (Sosa, 1988) y dureza de la corteza del tallo (White *et al.*, 2006), mientras que algunos de los aspectos estudiados que afectan el desarrollo de la larva en el interior del tallo son: el contenido de fibra en el tallo (Posey *et al.*, 2006; White *et al.*, 2006) y presencia de centro hueco en el tallo (White *et al.*, 2006).

La tolerancia es descrita por White (1993) como la condición donde las plantas presentan bajas lesiones observables y altos valores de infestación. Mathes y Charpentier (1968) describen la tolerancia como la habilidad de la planta para mantener altos rendimientos a pesar de una alta infestación.

Existen otras características que no están directamente relacionadas con la resistencia al insecto, pero, que al estar asociadas a alguna otra variable pueden ser usadas como criterio para identificar clones resistentes, tal es el caso del diámetro del tallo el cual según Lourençao *et al.* (1982) tiene una relación positiva con el porcentaje de entrenudos perforados (I.I.), sin embargo, no existe una razón clara de el por qué de esta relación aunque usualmente cultivares con mayor diámetro tienden a manifestar menor contenido de fibra en el tallo (Mathes y Charpentier, 1969).

Aunque el programa de producción de variedades de caña de azúcar, del INIA no incluye mejoramiento específico para la resistencia a *Diatraea*, sí se contemplan evaluaciones rutinarias de los índices I.I.I. e I.I., en las fases finales del proceso específicamente durante las pruebas regionales al momento de la cosecha durante plantilla, soca 1 y soca 2 bajo las condiciones de las infestaciones naturales (Yépez y Linares 1987). Esta información es útil cuando deben tomarse decisiones para la liberación de una nueva variedad o para establecer umbrales específicos de control de la plaga para los nuevos cultivares (Ramón *et al.* 2002) y así evitar la liberación de clones susceptibles ya que se ha comprobado que esto conlleva a incrementar la población de *Diatraea* en una zona determinada (Reagan y Martín, 1982). En consecuencia, se ha considerado apropiado evaluar la efectividad y confianza de los dos índices usados hasta ahora, así como efectuar un estudio para incorporar la resistencia a *Diatraea* en el programa de

mejoramiento y la elaboración de índices de la selección mediante otras variables relacionadas con la resistencia.

El objetivo del presente estudio fue determinar la confiabilidad de los índices actualmente usados para estimar el daño de *Diatraea* por el programa INIA de mejoramiento de la caña de azúcar e identificar otros rasgos varietales relacionados con la resistencia o susceptibilidad al taladrador de la caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procedió a estimar la correlación de Pearson (Steel y Torrie, 1980) para más de 2 500 datos provenientes de 13 ensayos regionales plantados en el estado Portuguesa, Venezuela entre 1992 y 2004. Estos ensayos incluyeron más de 60 cultivares de *Saccharum* spp. Provenientes de Barbados, Cuba, República Dominicana, USA (Canal Point, Hawaii y Louisiana) y Venezuela. Cada ensayo permaneció por 3 años en el campo: plantilla, soca 1 y soca 2.

Se analizaron un total de 13 variables recolectadas durante el desarrollo de estos ensayos: toneladas de caña por hectárea (TCH), toneladas de azúcar por hectárea (TPH), porcentaje de pol (% Pol), Pureza de jugo (PUR), contenido de fibra de tallo (FIBRA), diámetro del tallo (DIAM), peso del tallo (PPT), número de tallos por metro lineal (TML), número total de entrenudos (ET), número de entrenudos perforados (EP), número de entrenudos dañados con galerías (ED), porcentaje de entrenudos perforados o índice de infestación (II) y porcentaje de entrenudos dañados o índice de intensidad de infestación (III) los cuales se estimaron de acuerdo a la metodología propuesta por Yépez y Linares (1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los coeficientes obtenidos del análisis se muestran en el Cuadro. Los coeficientes de los componentes del rendimiento están altamente asociadas entre sí, ya que TCH influye determinantemente en TPH (0,941 $P > 0,001$). El DIAM mostró asociación altamente significativa con TCH (0,114 $P > 0,001$) coincidiendo este resultado con lo señalado por De Sousa y Rea (1993). En cambio, PPT no tuvo correlación con TCH lo cual difiere de los hallazgos estudiados por los autores arriba mencionados. Es así mismo importante resaltar las correlaciones negativas de TML con % pol (-0,2130 $P > 0,001$) y PUR (-0,2010 $P > 0,001$) así como la asociación positiva entre TML y FIBR (0,126 $P > 0,001$) y la correlación positiva entre DIAM y PUR (0,104 $P > 0,001$) todo lo cual

indicaría que a mayor número de población de tallos el diámetro disminuye aumentando el contenido de fibra y en consecuencia afectando negativamente la pureza del jugo y el contenido de azúcar. Sin embargo, no fue posible encontrar otros autores con los cuales confrontar estos resultados.

No obstante, DIAM y PPT estuvieron altamente asociados (0,139 $P > 0,001$) lo cual sustenta la idea de que a mayor diámetro mayor peso. Así mismo, una correlación negativa y significativa entre DIAM y TML (-0,094 $P > 0,005$) coincide con la conjetura donde una mayor población de tallos resulta en tallos más delgados y de menor peso. La producción de azúcar (TPH) presentó una asociación alta y significativa con las variables industriales % Pol (0,285 $P > 0,001$), PUR (0,222 $P > 0,001$) y correlación negativa con fibra (-0,1850 $P > 0,001$) ya que son estas variables las que determinan la producción de sacarosa en tanto que el contenido de fibra constituye un aspecto que disminuye el contenido de azúcar en el tallo.

Los componentes industriales estuvieron muy asociados entre sí donde % Pol y PUR presentaron una correlación $R = 0,763$ ($P > 0,001$), pero, no se detectó relación alguna entre PUR y FIBR en tanto que la relación entre % Pol y FIBR fue negativa (-0,1760 $P > 0,001$).

Las correlaciones entre los índices I.I., e I.I.I., y los diferentes conteos de entrenudos fueron altamente significativos ya que todas estas variables están asociadas entre sí.

Las variables ET, EP, y ED no presentaron correlaciones significativas con las variables agronómicas a excepción de TCH y TPH cuyos coeficientes con ET fueron $R = 0,11$ y $R = 0,102$, respectivamente. Así mismo, la correlación de los índices I.I e I.I.I., con las variables de producción TCH y TPH resultaron en coeficientes muy bajos y no significativos, a pesar de que, las correlaciones con las variables industriales % Pol y PUR fueron altamente significativas y negativas por lo que se coincide con la mayoría de las referencias que señalan un mayor efecto negativo del ataque por *Diatraea* en la producción de azúcar antes que en la producción de caña (Ferrer y Guedez, 1990; López *et al.*, 1983; Posey *et al.*, 2006). En el mismo orden de ideas no se encontraron asociaciones entre I.I., e I.I.I., y las variables FIBR, PPT y TML, pero, se detectó una correlación negativa entre I.I.I y DIAM (-0,105 $P > 0,0016$) indicando que mientras mayor es el diámetro menor es el daño por galerías del insecto. En consecuencia no fue posible asociar la resistencia a *Diatraea* con ninguna de las variables de los cultivares de caña de azúcar.

CUADRO. Coeficientes de correlación de Pearson para 13 variables tomadas de 9 pruebas finales de caña de azúcar en el estado Portuguesa desde 1992 hasta 2004.

	ET	EP	ED	I.I.	I.I.I.	TCH	TPH	% Pol	PUR	FIBR	DIAM	PPT	TML
ET	1,0000	0,148***	0,168***	-0,146***	-0,147***	0,11***	0,102***	0,0420	0,0510	-0,0010	0,0570	0,0310	-0,0190
EP		1,0000	0,689***	0,48***	0,419***	-0,0370	-0,0410	0,0220	0,0100	0,0130	-0,0330	-0,0020	0,0050
ED.			1,0000	0,407***	0,495***	-0,0370	-0,0370	0,0380	0,0230	0,0050	-0,0280	-0,0210	-0,0670
I.I.				1,0000	0,892***	-0,0110	-0,0490	-0,11***	-0,169***	0,0560	-0,0910	-0,0310	0,0060
I.I.I.					1,0000	-0,0050	-0,0410	-0,104***	-0,164***	0,0350	-0,105***	-0,0340	0,0570
TCH						1,0000	0,941***	-0,0150	0,0050	-0,137***	0,114***	0,0740	0,0760
TPH							1,0000	0,286***	0,222***	-0,185***	0,111***	0,0900	0,0130
% Pol								1,0000	0,763***	-0,176***	0,0430	0,0500	-0,213***
PUR									1,0000	-0,0070	0,104**	0,0340	-0,201***
FIBR										1,0000	-0,0900	-0,0210	0,126***
DIAM											1,0000	0,139***	-0,0940
PPT												1,0000	-0,0210
TML													1,0000

** significativo P = 0,01.

*** significativo P = 0,001.

ET = entrenudos totales; EP = entrenudos perforados; ED = entrenudos dañados; I.I. = índice de infestación; I.I.I. = índice de intensidad de infestación;

TCH = toneladas de caña por hectárea; TPH = toneladas de pol por hectárea.

% Pol = Porcentaje de pol; PUR = pureza de jugo; FIBR = contenido de fibra del tallo; DIAM = diámetro del tallo; PPT = peso promedio de tallo;

TML = tallos por metro lineal.

Sin embargo, las correlaciones altas y positivas entre I.I., e I.I.I., (0,892 $P > 0,0001$) indican una alta asociación entre sí lo que apunta a la fiabilidad de los mismos, por lo que la continuidad de su uso para medir el daño por *Diatraea* es recomendable dentro del programa de selección del INIA.

No obstante, el programa de producción y selección de cultivares de caña del INIA debe evitar el uso de padres susceptibles a *Diatraea* en el programa de cruces debido a que la heredabilidad de la susceptibilidad y resistencia al insecto es muy alta (Kimbeng *et al.*, 2006; Milligan *et al.*, 2003; White *et al.*, 2001) por lo que la resistencia puede ser aumentada fácilmente dentro de la progenie con el uso de al menos un padre resistente (Kimbeng *et al.*, 2006). De igual manera, se debe considerar que la liberación y siembra de variedades susceptibles conlleva a un aumento de la población de la plaga en un área determinada (Reagan y Bessin, 1989). Por estas razones, se debe llevar a cabo una evaluación del Banco de Germoplasma INIA y así evitar el uso de aquellos padres susceptibles en los programas de polinizaciones.

CONCLUSIONES

- La incidencia de *Diatraea* mostró un grado de asociación leve, pero, significativa con la reducción del pol y la PUR del jugo.
- No fue posible asociar la resistencia a *Diatraea* con ninguna de las variables de los cultivares de Caña de Azúcar a excepción de una relación inversa entre el DIAM y los ET dañados.
- Los índices I.I., e I.I.I., utilizados para medir el daño causado por *Diatraea* son recomendables dentro del Programa de Selección del INIA.
- Se amerita caracterizar el Banco de Germoplasma de Caña de Azúcar del INIA para evitar el uso de padres susceptibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Ángeles, N. y P. Paredes. 1960. Nueva área de distribución para *Diatraea rosa* (H). *Agronomía Trop.* 9(4):133-136.
- De Sousa, O. y R. Rea. 1993. Correlación entre los componentes de rendimiento y calidad en cinco cultivares híbridos de caña de azúcar. *Caña de azúcar* 11:45-52.
- Falloon, T. 1989. Eight years of biological control of *Ditreaa saccharalis* F (Lepid: Pyral) in Jamaican sugarcane. **In:** Proceedings XX Congress International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) 12-21 October São Paulo, Brazil 20(2):844-850.
- Ferrer, R. y E. Guedez. 1990. Estudios de los daños causados por *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Pyralidae) en el área de influencia de la azucarera Río Turbio en los años 1986, 1987 y 1988. *Caña de azúcar* 8 (1):25-86.
- Guagliumi, P. 1962. Las plagas de la caña de azúcar en Venezuela. Min. Agric. Y Cría, CIA, Maracay, 2 v., 850 p.
- Hensley, S. D. 1981. Management of sugarcane pests. *Sugar J.* 44: 18 p.
- Kimbeng, C., W. White, J. Miller and B. Legendre. 2006. Sugarcane resistance to the sugarcane borer: Response to infestation among progeny derived from resistant and susceptible parents. *Sugarcane international.* 24:14-21.
- Linares, B. y F. Ferrer. 1990. Introducción de *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae) para el control de *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Pyralidae) en Venezuela. *Caña de azúcar* 8:5-11.
- Lopes, J. J. C., N. Degaspari, P. S. Botelho, J. R. Leme, S. A. Ferrari and L. C. Almeida. 1983. Effect of borer/rott complex in the alcoholic fermentation of sugar cane juice. **In:** Proceedings XVIII Congress International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) 21-26 February La Habana, Cuba 18(2):902-909.
- Lourençao, A. L, C. G. Rosetto, E. B. Germek, T. Igue, J. A. Marques and J. A. Alves Pereira. 1982. Comportamento de clones de cana-de-açúcar em relação a *Diatreaa saccharalis*. *Bragantia* 41:145-154.
- Macedo, N., P. S. M. Botelho and O. H. O. Pavan. 1989. Viral insecticides and insect growth regulator in *Diatraea saccharalis* (FABR) control, trough aerial spraying. **In:** Proceedings XX Congress International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) 12-21 October São Paulo, Brazil 20(2):836-843.

- Mathes, R. and L. Charpentier. 1969. Varietal resistance in sugarcane to stalk moth borer. **In:** Williams, J. R., Metcalf, J. R., Mungomer R. W. and Mathes, R. eds. Pests of sugarcane. New York, Elsevier. 175-188 p.
- Mendoza, A. F. 1977. Distribución de *Diatraea* spp. y sus principales parásitos en América. **In:** 1er Seminario Nacional sobre el problema de los taladradores de la caña de azúcar (*Diatraea* spp.) Barquisimeto 28 de febrero al 3 de marzo 9-38 p.
- Milligan, S. B., M. Balzarini and W. H. White. 2003. Broad-sense heritability, genetic correlations, and selection indices for sugarcane borer resistance and their relation to yield loss. *Crop . Sci.* 43:1 729-1 735 p.
- Posey, F. R., W. H. White, F. P. F. Reay-Jones, K. Gravois, M. E. Salassi, B. Leonard and T. E. Reagan. 2006. Sugarcane borer (Lepidoptera: Crambidae) management threshold assessment on four sugarcane cultivars. *Journal Econ. Entomol* 99:966-971 p.
- Ramón, M., M. Pérez, C. Mendoza y F. Mauriello. 2002. Reacción de 18 cultivares de caña de azúcar al ataque del taladrador de las caña de azúcar *Diatraea* spp. en el Estado Portuguesa, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*.19(3):210-218.
- Reagan, T. E. and F. A. Martin. 1982. Plant resistance: A key management tool for control of the sugarcane borer in Louisiana. **In:** III Inter-American sugar cane seminar Varieties and breeding, 6-8 October Miami, Florida, 257-2266 p.
- Reagan, T. E. and R. T. Bessin. 1989. Differential instantaneous rates of increase of the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (F) on two sugarcane varieties. **In:** Proceedings XX Congress International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) 12-21 October São Paulo, Brazil 20(2):823-829.
- Sosa, O. 1988. Pubescence in sugarcane as a plant resistance character affecting oviposition and mobility by the sugarcane borer (Lepidoptera:Pyralidae). *Journal Econ. Entomol.* 81: 661-667 p.
- Statistical Analysis System. SAS INTITUTE, INC. Release 9.1.3 Service Pack 2. 2002-2003 Cary, NC, USA.
- Steel, R. and J. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd Ed. Mac Graw Hill, Inc. pp. 272-282.
- Virmani, S. 1999. Exploitation of heterosis for shifting the yield frontier in rice. **In:** the genetics and explotación of heterosis in crops. Coors J. And Pandey S. (Edrs), 1999. International Symposium on the genetics and explotación of heterosis in crops. México DF, México. International Maize and Wheat Improvement Center.
- White, W. H. 1993. Cluster-analysis for assessing sugarcane borer resistance in sugarcane line trials. *Field crops research* 33:159-168 (abstract)
- White, W. H., J. D. Miller, S. B. Milligan, D. M. Burner and B. L. Legendre. 2001. Inheritance of sugarcane borer resistance in sugarcane derived from two measures of insect damage. *Crop sci.* 41:1 706-1 710.
- White, W, T. Tew and E. Richard. 2006. Association of sugarcane pith, rind hardness, and fiber with resistance to the sugarcane borer. *Journal American society sugar cane technologists.* 26:87-100. (abstract)
- Yépez, G. y B. Linares. 1987. Nomenclatura aprobada para los índices de evaluación del daño por taladradores *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Pyralidae) en caña de azúcar en Venezuela. *Revista Caña de Azúcar* 5: 101-103.

EVALUACIÓN DE CINCO LEGUMINOSAS EN BARBECHO MEJORADO PARA EL CONTROL DE MALEZAS EN LA PLANICIE DEL RÍO MOTATÁN, ESTADO TRUJILLO, VENEZUELA¹

EVALUATION OF FIVE LEGUMES AS COVER CROPS FOR WEED CONTROL IN THE MOTATAN RIVER PLAINS, TRUJILLO, VENEZUELA¹

Chiara Berlingeri*, Nelida Yuncosa** y Trinidad Pérez**

¹ Trabajo cofinanciado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) y el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes (ULA).

* Investigadora I. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Estación Experimental Trujillo. Apdo. 3152.

E-mail: cberlingeri@inia.gob.ve

** TSA y Profesora Titular, respectivamente. Universidad de Los Andes (ULA). Núcleo Universitario Rafael Rangel (NURR).

RESUMEN

Se evaluaron cinco especies leguminosas en barbecho mejorado para ser usadas como cobertura muerta para el control de malezas en las condiciones agroecológicas de la planicie del río Motatán, al este del Lago de Maracaibo, municipio Andrés Bello, estado Trujillo. El área de estudio se caracteriza por presentar suelos de baja fertilidad y alta incidencia de malezas. El ensayo se estableció con un diseño de bloques al azar con seis tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron: *Mucuna pruriens*, *Stizolobium aterrimum*, *Vigna unvellab*, *Vigna unguiculata*, *Crotalaria juncea* y Barbecho natural. Las leguminosas se sembraron en hileras con distintas densidades de siembra. Las variables determinadas fueron: Proporción de suelo bajo cobertura viva de leguminosas, altura promedio de leguminosas, proporción de suelo bajo cobertura viva de malezas, altura promedio de malezas y producción de biomasa aérea de malezas. Los resultados mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos para todas las variables estudiadas. *V. unguiculata* y *M. pruriens* resultaron ser las más protectoras del suelo, ambas con un 100% de cobertura al final de su ciclo. *M. pruriens* fue la que suprimió en mayor grado el crecimiento de las malezas.

Palabras Clave: Leguminosas; barbecho mejorado; cobertura muerta; Motatán; estado Trujillo.

SUMMARY

Five Leguminosae species were evaluated to be used as cover crop in the ecological conditions of the Maracaibo lake land plain, Andrés Bello Municipality, Trujillo State. The experiment was a randomized completely blocks design with five treatments and three replications. The treatments included: *Mucuna pruriens*, *Stizolobium aterrimum*, *Vigna unvellab*, *Vigna unguiculata*, *Crotalaria juncea*, and fallow. The species were seeded at different seed rates and row spacing. Canopy coverage and plant height of the Leguminosae species were recorded. Canopy coverage, plant height, and aerial biomass of weed species were also registered. There were statistical differences among treatments related to canopy coverage and plant height of Leguminosae and weed species. Fresh and dry weight of weed species collected one month after cropping from each plot of Leguminosae species also showed statistical differences among treatments. *Vigna unguiculata* and *Mucuna pruriens* showed the greatest soil protection. Both species had 100% of soil coverage at the end of their cycles.

Key Words: Leguminosae; improved fallow; mulch; motatán; Trujillo State.

INTRODUCCIÓN

Un cultivo de cobertura se define como una cobertura vegetal viva que cubre el suelo en forma temporal o permanente, cultivada en asociación con otras plantas, bien sea intercalada, en relevo o en rotación. Los términos “cultivo de cobertura” y “abono verde” se han usado en el pasado como sinónimos; sin embargo, los primeros están caracterizados por funciones más amplias, las cuales incluyen la supresión de malezas, conservación de suelos y aguas, control de plagas y enfermedades, alimentación humana y animal, entre otros (Pound, 1997).

La siembra de cultivos de cobertura en barbecho permite la recuperación de los suelos pobres y agotados (Hesse, 2004); sembrados en altas densidades, muchos de ellos son muy efectivos para inhibir el desarrollo de las malezas. Además, estos cultivos pueden utilizarse como cobertura muerta o “mulch” en sistemas de labranza mínima, mediante el uso de herbicidas, corte o acamado (Bunch y Kadar, 2004). Los beneficios de los sistemas de labranza mínima con el uso de residuos vegetales, para el mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas del suelo han sido ampliamente demostrados (Bravo y Florentino, 1997; Beltrán *et al.*, 2006; Torres *et al.*, 2006).

El área de estudio presenta suelos de baja fertilidad natural y una alta incidencia de malezas que afectan la productividad de los cultivos e incrementan los costos de producción; por lo que la introducción de especies leguminosas en barbecho para ser usadas como cobertura muerta surge como una alternativa para combatir las malas hierbas y mejorar las características del suelo. En este sentido, se realizó una evaluación preliminar de 5 especies leguminosas, a saber: *Mucuna pruriens*, *Stizolobium aterrimum*, *Vigna unvellab*, *Crotalaria juncea*, y *Vigna unguiculata*, en las condiciones agroecológicas de la planicie del río Motatán, finca Los Limoncitos, sector Los Negros, parroquia El Jaguito, municipio Andrés Bello, estado Trujillo.

Se midió el desarrollo de la cobertura viva de las leguminosas en barbecho, con el fin de evaluar cuál de ellas cubría el suelo en mayor proporción y en menor tiempo, además de relacionar estas variables con la capacidad de suprimir las malezas. Se determinó la altura de las leguminosas, para relacionarla con su capacidad competitiva, siendo una especie baja con abundante follaje probablemente más competitiva que una de porte alto (Shenk, 1996). Finalmente, se determinaron variables

relacionadas con el grado de desarrollo de las malezas en cada tratamiento (cobertura viva, altura y biomasa aérea de malezas).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubicó en la finca Los Limoncitos, sector Los Negros, parroquia El Jaguito, municipio Andrés Bello del estado Trujillo; 09°45'00"N y 71°45'00"W, a una altitud aproximada de 50 m.s.n.m. La zona se caracteriza por tener suelos franco-arenosos con pH neutro, de baja fertilidad y contenido de materia orgánica. La precipitación promedio anual es de 970 mm repartidos en dos períodos (abril-junio y septiembre-noviembre). La temperatura diurna promedio anual es de 26 °C.

El ensayo se realizó entre octubre del 2005 y marzo del 2006. Durante el establecimiento de los cultivos se registraron precipitaciones suficientes, por lo que no fue necesaria la aplicación de riegos complementarios. Las leguminosas evaluadas fueron: *Mucuna pruriens*, *Stizolobium aterrimum*, *Vigna unvellab*, *Crotalaria juncea* y *Vigna unguiculata*. Se utilizó un diseño en bloques al azar, con 6 tratamientos (5 especies leguminosas y barbecho natural como testigo) y tres repeticiones. Para acondicionar el terreno se realizaron dos pases de rastra. Las leguminosas fueron sembradas con distintas densidades y sistemas de siembra, considerando su hábito de crecimiento y las recomendaciones sugeridas en la literatura para cada especie (Cuadro 1).

CUADRO 1. Distancias de siembra para las especies de leguminosas.

Especies de Leguminosas	Distancias de siembra (m)		Semillas/punto
	Hileras	Plantas	
<i>Mucuna pruriens</i>	0,40	0,40	2
<i>Stizolobium aterrimum</i>	0,40	0,40	1
<i>Vigna unvellab</i>	0,40	0,15	2-3
<i>Crotalaria juncea</i>	0,40	A chorro corrido	–
<i>Vigna unguiculata</i>	0,40	0,15	2-3

Con el fin de evaluar el comportamiento de las leguminosas bajo un sistema de bajos insumos, no se realizaron labores de fertilización, control de plagas, enfermedades y malezas. Al momento de la floración de cada especie, se cortó toda la biomasa aérea de cada unidad experimental y se dejó sobre el terreno para su descomposición.

Proporción de suelo bajo cobertura viva de especies leguminosas

La proporción de suelo cubierto por las especies leguminosas se estimó con una frecuencia mensual, a partir del primer mes después de la siembra hasta el momento del corte de cada una de las especies. Para esto se utilizó un marco de 1 m², dividido con cordeles cada 20 cm para obtener una cuadrícula que facilitara la estimación de la proporción de biomasa en cada área de la cuadrícula. El marco se dispuso al azar sobre la parcela y el valor de biomasa en cada rejilla (0,2 m x 0,2 m) se registró en un papel cuadriculado representativo de la cuadrata (CIAT, 1982). Este procedimiento se repitió tres veces en cada unidad experimental y, posteriormente, se realizaron los cálculos para obtener el valor promedio de la cobertura expresado en porcentaje.

Altura promedio de las plantas leguminosas

Se calculó el promedio de la altura de cinco individuos de cada especie leguminosa, seleccionados al azar, en cada unidad experimental, con una frecuencia mensual hasta el corte de las leguminosas, comenzando a partir de un mes después de la siembra. La altura se tomó desde el "cuello" de la planta (a ras del suelo) hasta el ápice, sin estirla y sin incluir la inflorescencia en caso que estuviese presente.

Proporción de suelo bajo cobertura viva de malezas

La cobertura de malezas se midió un mes después de realizado el corte de las leguminosas, a través del mismo procedimiento utilizado para medir la cobertura de leguminosas (proporción de suelo bajo cobertura viva de especies leguminosas).

Altura promedio de las malezas

De la misma forma que en el caso de las leguminosas (altura promedio de las plantas leguminosas), se determinó la altura de las malezas existentes en cada unidad, un mes después de la roza.

Producción de biomasa aérea de las malezas

Se determinó un mes después del corte de cada leguminosa. Para ello se cortó toda la biomasa presente en 1 m²

de superficie de suelo, pesando en una balanza de 10 kg de capacidad para obtener el peso fresco; posteriormente, la masa fresca fue colocada en bolsas de papel previamente identificadas y llevada a estufa por 72 h a una temperatura entre 60 y 70 °C hasta obtener peso constante (peso seco), mediante la utilización de una balanza digital modelo TR-4102 sensibilidad 0,01 g. De cada unidad experimental se tomaron 3 réplicas.

La información obtenida fue analizada utilizando el programa estadístico STATISTIX 8 (Analytical Software, 1985). Para ello, se usó la prueba de Tukey para comparar las medias en aquellos casos en que el análisis de varianza resultó significativo. Para realizar el análisis combinado de los resultados obtenidos durante los meses de evaluación, se realizó el análisis de varianza para un arreglo de parcelas divididas, donde se tomó como parcela principal los tratamientos y como subparcelas los meses. Se asumió la independencia del error experimental, ya que las mediciones mensuales se tomaron en unidades de muestreo diferentes tomadas al azar en cada unidad experimental (Meredith y Stehman, 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados estadísticos de los parámetros estudiados se muestran en el Cuadro 2. Todas las variables estudiadas cumplieron con los supuestos del análisis de varianza (normalidad), a excepción de la cobertura de leguminosas, altura de leguminosas y cobertura de malezas, las cuales fueron transformadas mediante las funciones $\ln(x)$ o $\text{Acos}v_x/100$.

Proporción de suelo bajo cobertura viva de especies leguminosas: En la Figura se observa la cobertura viva de 5 leguminosas y el barbecho natural durante el período comprendido entre octubre 2005 y febrero 2006. Las especies mostraron diferencias altamente significativas en relación a la cobertura en los dos primeros meses de crecimiento. Además, existe una interacción significativa entre los tratamientos y el tiempo en este período, lo que significa que la tasa de incremento mensual de la cobertura difiere entre las especies leguminosas (Cuadro 2), tal como se observa en la pendiente de las curvas de la Figura.

El comportamiento diferencial de la cobertura de las especies esta muy relacionado con el hábito de crecimiento de las mismas: *M. pruriens* es una planta trepadora semi-leñosa de ciclo anual; *S. aterrimum* es un arbusto perenne; *V. unguiculata* y *V. unvellab* son

plantas herbáceas de ciclo corto y *C. juncea* es un arbusto erecto anual. El hecho anterior corresponde con el criterio considerado en este trabajo, de usar densidades y sistemas de siembra distintas para cada una de las especies.

Barrios *et al.* (2004) observaron comportamientos diferentes de las especies leguminosas evaluadas como cobertura viva en Palma Aceitera, asociado a sus hábitos de crecimiento. Estos mismos autores señalaron que el índice de cobertura de las especies es afectado diferencialmente por la disponibilidad de humedad durante el período seco y lluvioso. Igualmente, Abreu (1996), observó una disminución en la producción de materia seca de las leguminosas usadas como barbecho en la época seca. Sobre la base de las consideraciones anteriores, resulta pertinente repetir el presente ensayo durante el período de menor disponibilidad hídrica.

V. unguiculata fue la que presentó mayor cobertura desde el comienzo de la evaluación alcanzando el 100% en el segundo mes, momento que coincidió con su floración. Aunque *M. pruriens* no difiere estadísticamente de *V. unguiculata* en los dos primeros meses, la primera presentó un crecimiento más lento, estableciéndose con un 100% de cobertura al tercer mes; el inicio de la floración ocurrió al cuarto mes.

S. aterrimum y *V. unvellab* presentaron un valor de cobertura estadísticamente similar, al final del segundo mes de evaluación (27,73 % y 20,76 %, respectiva-

mente). Aunque *S. aterrimum* al momento de la segunda evaluación ya había iniciado su floración, no se realizó el corte de la biomasa, debido a que el hábito de crecimiento de esta especie es indeterminado y su floración es continua. No obstante, esta especie, al momento de finalizar el ensayo (cuarto mes de evaluación) sólo había alcanzado el 80,44 % de cobertura, lo cual indica que tiene un crecimiento aun más lento que la *Mucuna*, ver Figura.

La que presentó la menor cobertura fue *C. juncea* (Figura, Cuadro 2), debido probablemente a fallas en la germinación, a su porte erecto y al sistema de siembra utilizado. Abreu (1996) bajo las condiciones del valle medio del río Yaracuy, encontró que *C. juncea* resultó ser la especie más protectora del suelo durante la época lluviosa y seca, con un sistema de siembra a chorro corrido en hileras separadas a 0,4 m y al voleo, alcanzando un 100% de cobertura del dosel a los 146 días después de la siembra.

Al comparar la cobertura de *M. pruriens* y *S. aterrimum* durante los cuatro meses de cultivo, se obtiene que no existen diferencias desde el punto de vista estadístico (Cuadro 2); no obstante, el lento establecimiento de la cobertura de *S. aterrimum*, su hábito de crecimiento semi-erecto y, en general, su menor capacidad para suprimir las malezas, desestiman su utilización como cultivo de cobertura bajo las condiciones presentadas en este trabajo.

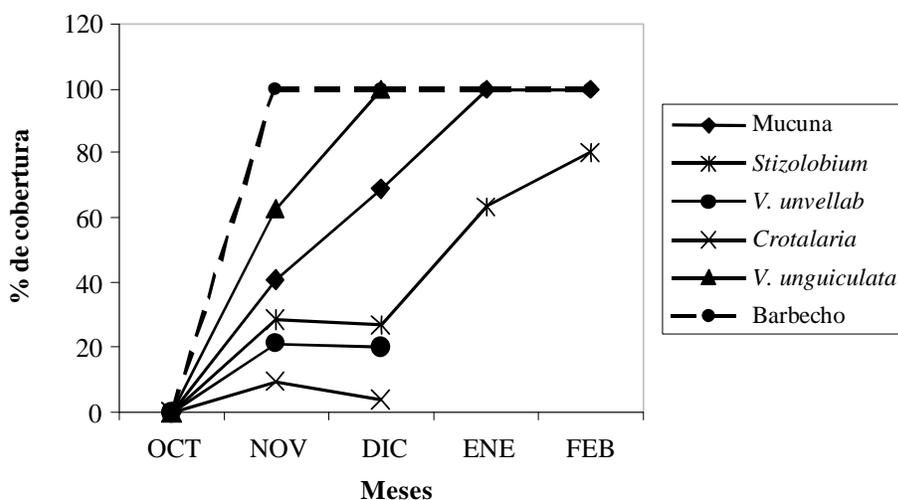


FIGURA. Cobertura viva de cinco leguminosas y barbecho natural durante cuatro meses de evaluación en un ensayo ubicado en la planicie del río Motatán, estado Trujillo.

CUADRO 2. Valores promedios de las variables cobertura viva de leguminosas durante los dos primeros meses de cultivo (CVL 1-2) y cuatro meses de cultivo (CVL 1-4), altura de leguminosas durante dos meses (AL 1-2) y cuatro meses de cultivo (AL 1-4), cobertura viva de malezas (CVM), altura de malezas (AM), peso fresco de malezas (PFM) y peso seco de malezas (PSM) en un ensayo de cinco especies leguminosas para ser usadas como cobertura en la planicie del río Motatán, estado Trujillo.

Tratamiento	CVL 1-2 (%)	CVL 1-4 (%)	AL 1-2 (cm)	AL 1-4 (cm)	CVM (%)	AM (cm)	PFM (g)	PSM (g)
<i>M. pruriens</i>	55,07 ab	77,53	50,8 bc	60,80	6,38 b	5,54 d	77,2 b	26,38 b
<i>S. aterrimum</i>	27,73 b	49,87	45,23 cd	66,95	50,22 a	9,67 bcd	588,9 ab	130,12 ab
<i>V. unvellab</i>	20,76 b		36,03 d		89,33 a	19,16 ab	1 166,7 a	199,75 a
<i>C. juncea</i>	6,8 c		97,63 a		84,33 a	24,24 a	1 094,4 a	235,17 a
<i>V. unguiculata</i>	81,47 a		52,27 b		55,11 a	18,78 abc	1 015,6 ab	205,17 a
Barbecho					90,22 a	8,73cd	1 200 a	266,75 a
CV Bloq. x Trat.	14,76	9,2	2,46	1,13	16,05	24,68	39	3,91
CV Bloq x Trat. x mes	8,54	7,66	1,61	1,78				
CM Trat.	5,02**	1,23 N.S.	0,49**	0,02 N.S.	4,08**	144,41**	584 999*	22 579,5**
CM Mes	0,02 N.S.	1,47**	3,75**	1,23**				
CM Trat. x mes	0,48*	0,22 N.S.	0,31**	0,06**				

CV= Covarianza; CM= Cuadrado Medio. Valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticas significativas, $P < 0,05$ (*) o altamente significativas, $P < 0,01$ (**); N.S. = diferencias no significativas.

A pesar de lo anterior, es probable que el desempeño de *C. juncea* y *S. aterrimum* mejoren al utilizar un sistema de siembra al voleo en vez de hileras, una densidad de siembra mayor o al permitirle su desarrollo por un tiempo más prolongado. Después de todo, la adopción de los sistemas con cultivos de cobertura varían de acuerdo a las condiciones ambientales y necesidades particulares de cada agricultor (CIDICCO, 2003).

Las unidades experimentales que fueron dejadas como barbecho natural, al primer mes de evaluación tenían 100% de cobertura de malezas (ver Figura), la mayoría en estado juvenil y algunas en estado reproductivo, lo que evidencia el efecto positivo de los cultivos de cobertura en el control de malezas.

Altura de las plantas leguminosas

En relación a la altura de las leguminosas, se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los tratamientos en los dos primeros meses de crecimiento, siendo *C. juncea* la especie que alcanzó la mayor altura, mientras que *V. unvellab* fue la de menor altura del dosel. El resto de las especies mostraron una altura estadísticamente similar (Cuadro 2).

Como se aprecia, la variable altura no está correlacionada a una mayor cobertura; al contrario, se busca que los cultivos de cobertura posean un hábito de crecimiento rastrero para lograr un cubrimiento más rápido del suelo.

Proporción de suelo bajo cobertura viva de malezas

En cuanto a la cobertura de malezas, un mes después de la roza de las leguminosas, se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Cuadro 2). La menor cobertura se encontró en el tratamiento con *M. pruriens* (6,38%), lo cual difirió en alto grado del resto de las especies, que tuvieron medias similares. Los resultados muestran el alto potencial de la Mucuna para suprimir las malezas, cuando es utilizada como barbecho mejorado bajo las condiciones de la planicie del río Motatán, sector Los Negros, municipio Andrés Bello. Los resultados obtenidos bajo las condiciones experimentales, evidencian la potencialidad de *M. pruriens* para ser empleada en sistemas de labranza conservacionista en la zona, considerando su capacidad para suprimir las malezas, con lo cual también se reduciría el uso de herbicidas.

Otro beneficio atribuido al cultivo de la Mucuna es el incremento de la fertilidad del suelo por medio del aporte

de materia orgánica. El uso de esta especie como cultivo de cobertura y abono verde es uno de los sistemas agrícolas de bajos insumos externos más ampliamente difundido en América Latina (Bunch y Kadar, 2004; Reinders, 2004).

A pesar que, *C. juncea* presentó una germinación y cobertura desuniforme, sus residuos tardaron un mayor tiempo en descomponerse, lo que sugiere que esta especie en densidades mayores podría ejercer una buena protección del suelo. La menor tasa de descomposición parece estar relacionada con el alto contenido de fibras en sus tejidos y la alta relación carbono / nitrógeno de los residuos vegetales, lo que aumenta la resistencia a la degradación (Rivero, 1993; 1995; Abreu, 1996).

Altura de las malezas

La altura de las malezas; también mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Cuadro 2). Las especies malezas presentes en las parcelas con *M. pruriens*, *S. aterrimum* y barbecho natural presentaron menor altura, mientras que en las de *C. juncea*, *V. unvellab* y *V. unguiculata* las malezas fueron más altas, a un mes después de la roza.

En el caso de *C. juncea* y *V. unvellab*, los resultados anteriores parecen estar relacionados con la poca cobertura ofrecida por las leguminosas, lo que permitió el desarrollo de gran cantidad de malezas durante su cultivo.

V. unguiculata ejerció un efecto evidente sobre la composición florística de la población de malezas, predominando las de hoja ancha. Dicho resultado posiblemente se debe a la supresión de las especies de hoja angosta por la sombra de la cobertura, dada la alta exigencia de luz de las gramíneas. Al respecto, Zamar *et al.* (2000) señalaron que el control de *Sorghum halepense* L., con el uso de coberturas de trigo y Vicia, se debió a una menor temperatura del suelo a nivel de las yemas subterráneas de los propágulos. Igualmente, Macdicken *et al.* (1996), señalan que el sombreado de *Imperata cylindrica* produce una reducción en la producción de rizomas, carbohidratos almacenados, peso seco de los brotes, y en general una disminución de la capacidad competitiva de la especie. Otra posible razón del efecto inhibitorio de la cobertura de *V. unguiculata* es la ocurrencia de alelopatía del rastrojo sobre las gramíneas (Steinsiek *et al.*, citados por Zamar *et al.*, 2000).

Producción de biomasa aérea de las malezas

Se encontraron diferencias significativas en peso fresco de malezas y altamente significativas para peso seco de

malezas entre los tratamientos, un mes después de la roza (Cuadro 2). La leguminosa *Mucuna pruriens* suprimió casi completamente el desarrollo de las malezas, obteniéndose un peso fresco y seco muy por debajo del resto de los tratamientos (77,2 g y 26,4 g, respectivamente). Observaciones posteriores permitieron corroborar que las parcelas donde la *Mucuna* alcanzó un excelente desarrollo, se suprimió el crecimiento de malezas hasta aproximadamente dos meses después de realizada la roza.

CONCLUSIONES

- Entre las leguminosas evaluadas, resalta el gran potencial que tiene la especie *Mucuna pruriens* para ser usada como cobertura muerta para el control de malezas bajo las condiciones ambientales del presente estudio.
- *V. unguiculata* y *M. pruriens* presentaron la mayor cobertura viva desde el inicio de la evaluación del barbecho mejorado; sin embargo, en el caso de la primera, esto no se tradujo en un mayor efecto del mulch para controlar las malezas en el período evaluado.
- La altura de las leguminosas no parece estar relacionada con la capacidad de las mismas para suprimir las malezas. Por el contrario, el grado de cobertura y la naturaleza del tejido vegetal, si parecen estarlo.
- Basados en los resultados, sería conveniente evaluar el comportamiento de las leguminosas durante la época seca y con diferentes densidades y sistemas de siembra, especialmente *Crotalaria juncea* y *Stizolobium aterrimum*, las cuales mostraron un comportamiento aceptable. Además, es recomendable evaluar el aporte de materia orgánica al suelo de las leguminosas.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ingeniero José G. Espinoza y a los Técnicos Alexis Medina y José G. López, por su valiosa colaboración durante el experimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, X. 1996. Evaluación de cuatro leguminosas como barbecho mejorado durante dos épocas del año para ser usadas como cultivos de cobertura. *Venesuelos* 4(1 y 2):8-13.

- Analytical Software. 1985. Statistix 8. (programa de computo). 1 disco compacto, 8 mm.
- Barrios, R, J. Fariñas, A. Díaz y F. Barreto. 2004. Evaluación de 11 accesiones de leguminosas utilizadas como cobertura viva en palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. *Bioagro* 16(2):113-119.
- Beltrán, F., J. García, R. Valdez, B. Murillo, E. Troyo, J. Larrinaga y L. Beltrán. 2006. Efectos de sistemas de labranza e incorporación de abono verde (*Lablab purpureus* L.) sobre la respiración edáfica en un Yermosol háplico. *Interciencia* 31(3):226-230.
- Bravo, C. y A. Florentino. 1997. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia sobre el rendimiento del Algodón. *Bioagro* 9(3):67-75.
- Bunch, R. y A. Kadar. 2004. La mucuna en los sistemas de agricultura de bajos insumos externos en Mesoamérica. *LEISA* 20(1):16-18.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO. (CIAT). 1982. Manual para la evaluación agronómica. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. José M. Toledo (ed.). Cali, Colombia. 170 p.
- Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura, HN. (CIDICCO). 2003. Catálogos de abonos verdes/Cultivos de Cobertura (AVCC) empleados por Pequeños productores de los trópicos. CIDICCO/HONDURAS (en línea). Consultado 21 Feb-2007. Disponible en: www.cidicco.hn/archivospdf/catalogo%20AVCC%202003.pdf
- Hesse, M. 2004. Sembradores de esperanza. Manual de conservación de suelos. Honduras. 3ra Edición, Editorial Kimpres 252 p.
- Hutchinson, C. and M. McGiffen. 2000. Cowpea cover crop mulch for weed control in desert Pepper production. *HortScience* 35(2):196-198.
- Macdicken, K., K. Hairiah, A. Otsamo, B. Duguma and N. Majid. 1996. Shade-based control of *Imperata cylindrica*: tree fallows and cover crops. *Agroforestry Systems* 36(1-3):131-149.
- Meredith, M. and S. Stehman. 1991. Repeated measures experiments in forestry: focus on analysis of response curves. *Can. J. For. Res.* 21:957-965.
- Pound, B. 1997. Cultivos de Cobertura para la Agricultura Sostenible en América (en línea). Consultado 27 junio-2006. Disponible en: <file:///A:cultivosdecoberturaparalaAgricultura.htm>.
- Reinders, H. 2004. Producción de maíz con la cobertura y el abono verde de la *Mucuna* en los bajiales del río Marañon en Loreto, Perú. *LEISA* 19(4):9-13.
- Rivero, C. 1993. Evaluación de la materia orgánica nativa e incorporada en suelos de importancia agrícola en Venezuela. Tesis Doctoral. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 200 p.
- Rivero, C. 1995. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades de un Alfisol degradado. *Venesuelos* 3(2):55-61.
- Shenk, M. 1996. Prácticas culturales para el manejo de malezas. **In:** Labrada, R; Caseley, J; Parker, C. eds. Manejo de malezas para países en desarrollo. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (en línea). Consultado 27 junio-2007. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T1147S/T1147S00.htm>.
- Torres, D., A. Florentino y M. López. 2006. Indicadores e índices de calidad del suelo en un Ultisol bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista en Guárico, Venezuela. *Bioagro* 18(2):83-91.
- Zamar, J., E. Alessandria, A. Barchuk y S. Luque. 2000. Emergencia de plántulas de malezas bajo residuos de especies utilizadas como cultivos de coberturas. *Agriscientia* 17:59-64p.

INFLUENCIA DEL MATERIAL PARENTAL Y DEL BIOCLIMA EN LA PEDOGÉNESIS DE LA CUENCA MEDIA Y ALTA DEL RÍO MOTATÁN. MÉRIDA-TRUJILLO. VENEZUELA

PARENT MATERIAL AND BIOCLIMATE INFLUENCE ON THE RIVER MOTATÁN MEDIUM AND UPPER BASIN PEDOGENESIS. MÉRIDA-TRUJILLO. VENEZUELA

Guido R. Ochoa*, Dimas Malagón** y Jajaira Oballos***

*Profesores. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio de Suelos del Instituto de Geografía. Mérida Venezuela. E-mail: guidooch@ula.ve y *** Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. oballos@ula.ve

** Investigador. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá-Colombia.

RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar física, química y mineralógicamente los suelos de la cuenca alta y media del río Motatán (Andes venezolanos) y generar información relacionada con su génesis, se seleccionaron 14 suelos representativos de las diferentes condiciones pedológicas (Entisoles, Inceptisoles, Molisoles y Ultisoles). La composición mineralógica del material parental influye fuertemente en los suelos, especialmente los ubicados en alturas superiores a 1 500-2 000 m, debido a las condiciones imperantes de fuertes pendientes, rejuvenecimiento por erosión y baja evolución (predominio de Inceptisoles y Entisoles). Los suelos se caracterizan por presentar texturas franco-arenosas, franco-arcillo-arenosas, franco-arcillosas y arcillosas; reacciones muy ácidas a ácidas (excepto algunos suelos sobre materiales calcáreos de la Formación Mucuchachí); medianos a altos contenidos de materia orgánica en los horizontes superficiales y tipos de humus que varían desde tipo mull hasta moder. Se observan 3 clases de evolución: 1. Incipiente: mezcla organo-mineral incompleta, parcial o no avanzada (mayoría de los suelos estudiados). Los procesos no han llegado a diferenciar acciones o eventos específicos, fundamentalmente por causa de los fenómenos erosivos. 2. Pseudo- Calcificación: altas saturaciones de Ca y/o Mg, pH neutro a básico, no hay iluviación de arcillas y humus tipo mull chernozénico o cálcico. Sin reacción al HCl por lo cual el proceso no es típicamente calcificación. 3. Argiluvación en medio ácido: migración de arcilla, baja saturación de cationes alcalinos y alcalino térreos y alta acidez de cambio por influencia de Al. Abundancia de minerales resistentes y acumulación de productos estables de alteración.

Palabras Clave: Suelos de montaña; material parental; grado evolutivo; génesis y clasificación de suelos; fracción arcilla; humus; Venezuela.

SUMMARY

This study aims to characterize soils from high and medium basin of *Motatán* river (located at the Venezuelan Andes) and to offer genesis-related information. Fourteen representative soil types from various pedologic conditions (Entisols, Inceptisols, Mollisols, Ultisols) were selected. Mineral composition of parent material is known to have a great influence on soils, especially on those soils located at 1 500-2 000 m above sea level or higher due to high slopes, soil rejuvenation because of. Erosion, and low evolution rates (domination of Inceptisols and Entisols). Soils textures are mainly sandy loam, sandy clay loam, clay loam, and clay. Soil reaction goes from acid to strongly acid, except some soils based on lime material at Mucuchachí Formation. Surface horizons have medium to high organic matter content, and humus types go from chernozem with mull to moder. Three classes of soil formation are observed: (1) Incipient, characterized by having an incomplete, partial and non-advanced organic/mineral mixture, (most soils under the study are included under this classification). Processes have not become to develop specific actions and/or events mainly because of erosion. (2) Pseudo-calcification, distinguished by high Ca and/or Mg saturation, neutral/basic pH, absence of clay illuvation, and calcic or chernozem with mull humus. Since no HCL reaction is observed, this is not a calcification process. (3) argilluviation, characterized by clay migration occurring under acid conditions, low base saturation of alkaline and alkaline earthy cations, high exchangeable acidity under Al influence, abundance of resistant minerals, and accumulation of stable products.

Key Words: Mountain soils; parent material; soil forming class; soil genesis and classification; clay texture; humus; Venezuela.

RECIBIDO: mayo 07, 2007

ACEPTADO: noviembre 20, 2007

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con UNDP-FAO (1966), los suelos de la cuenca del Motatán se formaron por la meteorización de los materiales de la roca mediante la acción de los diversos agentes que intervienen en el proceso. Los suelos resultantes difieren ampliamente en color, textura, profundidad y reacciones químicas. Ellos fueron clasificados como: suelos de Prado Alpino (páramo de Mucuchies), Litosoles en las laderas muy empinadas; Pódsolicos rojos y amarillos (Escuque).

En sus trabajos Ochoa y Malagón (1979), muestran la existencia de Humitropets y Troporthents en buena parte de la cuenca, en ellos predominan las arcillas tipo illita, vermiculita, clorita y caolinitas.

Por otra parte, Ochoa y Marante (1983), señalan que a excepción de aquellos suelos que se han encalado o se han desarrollado a partir de materiales de aluvión, el resto de los suelos presentan una fuerte desaturación de bases, siendo los pH ácidos. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Ochoa *et al.* (2004) al estudiar 502 perfiles sobre diferentes materiales de las formaciones geológicas de los Andes venezolanos, quienes señalan que un 82% de suelos poseen un carácter ácido.

Los ordenes representados en los perfiles estudiados son: Inceptisoles (52,19%), Entisoles (18,73%), Ultisoles (15,44%) y Mollisoles (13,55%). Los Entisoles e Inceptisoles se presentan sobre cualquier tipo de material geológico, bajo todos los ambientes climáticos y topográficos. Los Ultisoles representan porcentajes importantes sobre materiales arcillosos (lutitas) a altitudes comprendidas entre los 1 000 y los 2 500 m.s.n.m., observándose el mayor porcentajes hacia los 2 000 m.s.n.m., en zonas con precipitaciones cercanas a los a 1 600 mm.

A través de sus investigaciones Aguilar y Mendoza (1977), determinaron las áreas potenciales para el desarrollo agropecuario de la cuenca del río Motatán a nivel de reconocimiento e indicaron la necesidad de estudios de suelos más detallados a fin de poder determinar el uso potencial de las tierras en función de aumentar la producción.

La ecuación de Jenny (1941), se ha utilizado para explicar la génesis del suelo y expresa que cualquier propiedad mismo es el producto de la acción combinada del clima, organismos, material parental, relieve y el tiempo; además, la ecuación permite estudiar las propie-

dades individuales del suelo (Arnold, 1965). En todos los estados de desarrollo varios procesos contribuyen a la formación del suelo, pero algunos procesos contribuyen más que otros.

Algunos suelos presentan características adquiridas durante su desarrollo y otros suelos han evolucionados a partir de procesos geológicos acumulados en el tiempo y sus rasgos son el producto de la herencia de las formaciones geológicas, que suministran el material al suelo (Arnold, 1983).

La importancia del clima y del material parental como factores en la formación del suelo es expresado por numerosos autores (Torrent y Nettleton, 1979; Maher *et al.*, 1994; Álvarez y Lavado, 1998). Para Jenny (1980) las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cambian sistemáticamente con el tiempo, con la posición en paisaje y con otros factores.

Para Shaw *et al.* (2001); Arocena y Sanborn (1999) los materiales parentales ejercen una gran influencia sobre la pedogénesis de los suelos. Según Young y Hammer (2000) la variabilidad espacial y temporal de los procesos geomorfológicos y pedológicos da origen a los diferentes tipos de suelo.

Otros investigadores como Jaimes *et al.* (2005), estudiaron el balance de los procesos pedogeomorfológicos de los suelos de las zonas de Piedra Azul, La Loma y La Ciénaga, en el estado Trujillo, encontrando que en las zonas de mayor contenido de suelos evolucionados el balance de procesos está caracterizado por el predominio de procesos de transformación (pedogénesis), en comparación con las ganancias y pérdidas ($G < T > P$), significando que en estas áreas los sistemas tienen tendencias hacia el equilibrio morfopedológico. Este mismo procedimiento fue aplicado por Rivas *et al.* (2005) para caracterizar unidades pedogeomorfológicas en dos microcuencas de la cuenca alta del río Santo Domingo, en el estado Mérida, y encontraron que la morfogénesis domina sobre la pedogénesis ($Mg > P$) en las unidades de alta montaña y en las de fondo de valle existe un equilibrio entre la morfogénesis y la pedogénesis ($Mg = Pg$).

El objetivo del presente trabajo es: 1) Determinar las principales características físico, químicas, mineralógicas de los suelos de la cuenca alta y media del río Motatán, estado Mérida (Andes venezolanos); 2) Generar información relacionada con la génesis de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y caracterización del área de estudio

La Cuenca Alta y Media del Río Motatán está localizada entre los 8°51'16" N y 70°48'44" O y 9°16'29" N y 70°38'12" O, a una altitud entre 850 y 4 100 m (ver Figura). Las principales unidades estratigráficas que afloran en el área son: el Complejo Iglesias (rocas de alto metamorfismo), precámbrico, ocupa la mayor parte del área de estudio; la Formación Mucuchachí, Carbonífero superior-Pérmico inferior, en algunas zonas de la cuenca alta y el Granito Valera-La Puerta, Paleozoico, en la cuenca media (MEM, 1997). La zona se caracteriza por presentar una dinámica de vertientes determinada por pendientes altas (25 – 65%).

En el área se presentan las siguientes zonas de vida: Bosque húmedo premontano (bh-PM) y montano (bh-M); bosque seco tropical (bs-T), premontano (bs-PM), montano bajo (bs-MB) y montano (bs-M); páramo subalpino (psa), (Edwel y Madriz, 1968). La vegetación de Páramo domina a partir de 2 600 m, caracterizada, principalmente, por las especies de frailejón (*Espeletia* spp.); en una estrecha zona entre La Mesa y La Quebrada la vegetación es xerófila (especies de Tunas (*Opuntia* spp.), Cardones (*Cereus* spp. y *Stenocereus* spp.), Pitahaya (*Acanthocereus tetragonus*), Guamacho

(*Pereskia guamacho*), y algunas hierbas bajas como la Verdolaga (*Portulaca*), Peonias (*Adernanthera peregrina*; etc.), en las otras áreas de la cuenca se encuentran especies arbóreas como Cedro (*Cedrela odorata*), Sai-Sai (*Weimannia jahni*), Ditamo Real (*Ichthyothere terminalis*), entre otras.

El clima de acuerdo al sistema de clasificación de Köppen (1948) es variable: tropical de sabana (Aw), templado con invierno seco (Cw) y templado de altura tropical (Gs). La precipitación presenta un período de lluvias de 8 meses y uno seco de 4 meses: mayo, agosto y octubre son los meses de mayor precipitación. La excepción la constituye la zona de Pico El Águila en la cual los meses secos van de junio a septiembre. La precipitación media anual fluctúa entre 627 y 996 mm; la temperatura media anual varía entre 3,1 °C y 25 °C. Los regímenes de humedad del suelo son ústico o údico y los de temperatura son isofrígido, isomésico e isotérmico (Soil Survey Staff, 2006).

Se seleccionaron 14 suelos, con base en la altitud, la geología y las zonas de vida que fueron muestreados y analizados (Cuadro 1). Los suelos estudiados abarcan variaciones muy amplias de clima, zonas de vida, altitud y materiales parentales, no se trata, en sentido estricto, de secuencias climáticas, líticas o de vegetación.

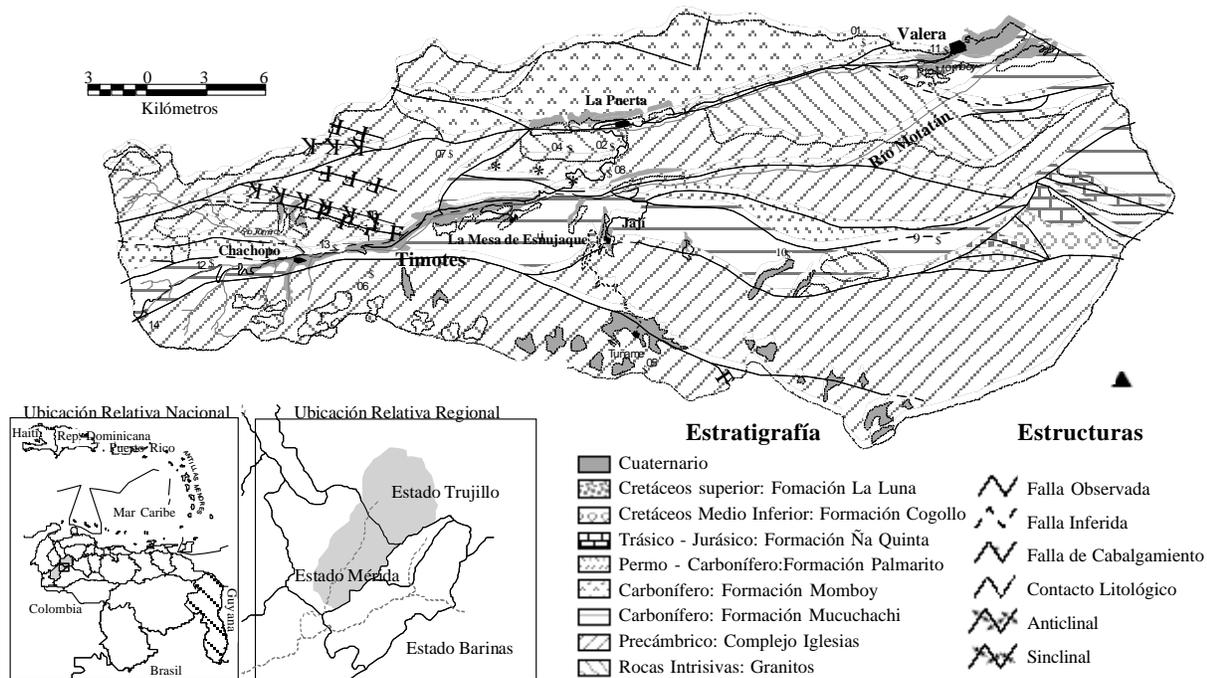


FIGURA. Geología y localización de perfiles seleccionados.

CUADRO 1. Características generales del medio y clasificación de los suelos de la cuenca media y alta del río Motatán.

Geología	Zona de Vida	Clima	Altitud, Geomorfología y Pendiente	Perfil N° y Taxonomía
Granito de Chachopo	Páramo subalpino	Gw (w")l	4 100 m. Relieve fuertemente ondulado, 65%	P13. Typic Udorthents, esquelético, mezclado, isofrigido
		Gsikn	3 890 m. Relieve ondulado, 25%	P14. Humic Dystrudepts, franco esquelético, mezclado, isofrigido
Granito de Timotes	Bosque seco montano bajo	Cw (w")bl	2 050 m. Relieve fuertemente ondulado, 40%	P7. Oxic Haplustepts, esquelético franco, mezclado, isotérmico
Granito	Bosque húmedo montano bajo	Cwb 'r'	2 100 m. Relieve fuerte ondulado, 40%	P2. Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isotérmico
Grupo Iglesias	Páramo subalpino	Gsikn	3 250 m. Relieve suavemente ondulado, 25%	P5. Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isofrígido
		Bosque húmedo montano	Cw (w")l	2 600 m. Relieve fuerte ondulado, 40%
	Gw (w")l		2 520 m. Relieve fuertemente ondulado, 45%	P6. Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isomésico
			2 540 m. Relieve ondulado, 35%	P4. Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isotérmico
	Bosque seco premontano	Cw (w")blh	1 450 m. Relieve ondulado, 40%	P8. Oxic Dystrudepts, esquelético franco, mezclado, isotérmico
Form. Mucuchachí	Páramo subalpino	Gsikn	3 420 m. Relieve fuertemente ondulado, 60%	P12. Hunic Eutrudepts, franco grueso, franco fino, mezclado, isofrígido
		Bosque seco premontano	Cw (w")blh	1 920 m. Relieve ondulado suave, 25%
				1 680 m. Relieve fuertemente ondulado, 40%
	Bosque seco tropical	Aw (w")a	850 m. Relieve ondulado, 25%	P11. Typic Haplustolls, franco esquelético, mezclado, isohipertérmico
Flujo de detritus	Bosque seco premontano	Awa ih (w")	1 020 m. Relieve ondulado, 15%, perfil en sección baja	P1. Ustic Haplumults, arcilloso muy fino, ferruginoso, isohipertérmico

Las variables analizadas fueron: 1) textura: método del hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962); 2) retención de humedad a 33 kPa y 1500 kPa: método olla y membrana (plato) de presión; 3) pH: determinación en agua destilada y solución de KCl 1N, método potenciométrico, relación 1:1 (Jackson, 1964); 4) carbono orgánico: método de Walkley y Black (1934); 5) nitrógeno total: método Micro-Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982); 6) fósforo disponible: método de extracción con FNH_4 y HCl, procedimiento Bray y Kurtz (1945); 7) acidez intercambiable: método de Yuan (1959); 8) capacidad de intercambio catiónico: acetato de amonio 1N, pH 7 (Jackson, 1964); 9) óxidos de hierro libre: extracción por el método de ditionito-citrato-bicarbonato, se determinó el hierro por espectrofotometría, Mehra y Jackson (1960); 10) materias húmicas: método de extracción directa mediante el pirofosfato de sodio (Kaurichev *et al.*, 1984); 10) fracción arcillosa total: difracción de Rayos X, aparato Diano-XRD 8 000 con anticátodo de cobre, y filtro de níquel, 45 kv y 35 miliamperios, tratamientos con catión de saturación (K o Mg), glicerol como agente solvatante y calentamiento a 550 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas y químicas de los suelos estudiados

Los 14 suelos (Cuadro 1) fueron clasificados a nivel de familia de acuerdo con Soil Survey Staff (2006).

Las principales características físicas y químicas de los perfiles estudiados (Cuadro 2) permiten hacer las siguientes inferencias:

a) La textura de los suelos varía en los rangos franco arenoso, franco arcilloso arenoso, franco arcilloso y arcilloso. Se observa un aumento de la fracción arcilla inversamente proporcional a la altitud y directo con la temperatura. No obstante, la presencia de materiales provenientes de la alteración de las rocas de la formación Mucuchachí parece incidir notablemente sobre esta característica, especialmente en los horizontes A donde la alteración es mayor. En los suelos desarrollados sobre materiales del Complejo Iglesias se observa un aumento de la fracción arcilla a medida que aumenta la temperatura edáfica. Estos valores se corresponden a los encontrados por Malagón (1982), Sosa *et al.* (1997) y Manrique *et al.* (1997) para la parte más alta de la cuenca, este último afirma que la presencia de partículas finas es el producto del desgaste del material por la fricción de las lenguas glaciales o a las intrusiones de materiales

finos de otras formaciones, o una facie sedimentaria que se acuñó al Complejo Iglesias.

b) La humedad retenida entre 33 kPa y 1 500 kPa tomada en términos globales como humedad aprovechable por las plantas, se ubica en 3 rangos de acuerdo con la textura del suelo: textura fina: 14,8%; textura media: 10,3%; textura gruesa: 8,6%.

c) Características relacionadas con el pH de los suelos. En general los suelos desarrollados sobre materiales del Complejo Iglesias presentan mayor acidez (rango muy ácido a ligeramente ácido) que los desarrollados sobre la Formación Mucuchachí. En esta última influye la variabilidad de su composición mineralógica (incluye materiales calcáreos), pudiéndose o no presentar su efecto sobre el pH, lo cual concuerda con lo encontrado por Ochoa *et al.* (2004), Manrique *et al.* (1997), Sosa *et al.* (1997) y Malagón, (1982) en la cuenca del Santo Domingo.

Las diferencias entre el pH, medido en agua y en KCl, indican una alta acidez potencial; en algunos casos (Perfiles 3, 4, 6, 7, 8, 12, 13 y 14) las diferencias son mayores a la unidad, constituyendo casos extremos de acidez potencial.

La acidez de cambio (Al^{3+} más H^+) es muy alta en todos los suelos (excepto perfiles 11 y 12, horizonte A). Valores similares han sido presentados para suelos de la cuenca del Santo Domingo por Manrique *et al.* (1997) y Sosa *et al.* (1997) y para los suelos de la cuenca del Motatán por Ochoa y Marante (1983). Ochoa *et al.* (1995), estudiaron los suelos de la cuenca del río Torbes en el estado Táchira encontrando que no hay una relación clara en cuanto a la acidez cambiante con los tipos de arcilla, lo cual los induce a pensar que estos suelos están influenciados por la naturaleza de la roca madre, e igualmente señalan que los suelos de débil evolución (Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles) presentan valores inferiores a los evolucionados (Ultisoles).

Se observan valores normales de relación Ca/Mg, acordes con los valores de acidez del medio, y sólo se exceptúan algunos perfiles sobre la Formación Mucuchachí, en los cuales el contenido de Mg es mayor con respecto al Ca. Los contenidos de calcio son mayores en los horizontes superficiales que en los de profundidad, se excluyen los suelos desarrollados sobre materiales de influencia calcárea. El mismo fenómeno se presenta en el caso del K. Los niveles de Na de intercambio son bajos aún en suelos de alta saturación de cationes.

CUADRO 2. Características físicas y químicas de los suelos de la cuenca media y alta del Río Motatán.

Perfil Nº	Profund. (cm) Horiz.	Granulometría (%)			Clase Textural	Ret. de humedad (%)		pH 1:1		CE 1:6 dS m ⁻¹	CO	NT %	C/N	P mg kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃	H + Al	Ca	Mg cmol kg ⁻¹	Na	K	SB %	SBsc	CIC cmol kg ⁻¹	CICA* cmol kg ⁻¹
		a	L	A		33kPa	1500 kPa	Agua	KCl															
P1	0-14 (A)	11,6	12,3	76,2	A	48,0	34,7	4,5	3,5	0,10	2,34	0,28	8,4	2,80	15,27	9,02	6,50	1,50	0,07	0,60	36,35	49,0	23,85	23,22
	14-46 (B _{t1})	10,0	6,2	83,7	A	47,5	35,9	4,8	3,5	0,05	1,00	0,16	6,3	1,41	17,22	15,01	2,05	1,11	0,05	0,30	13,49	19,0	26,02	22,12
	46-120 (B _{t2})	19,8	18,3	61,9	A	37,8	4,1	5,3	4,1	0,06	1,04	0,14	7,4	4,21	19,73	6,30	7,50	0,94	0,06	0,21	58,42	58,0	14,91	24,27
P2	0-27 (A)	49,6	22,4	28,1	FAa	31,1	17,1	5,0	4,0	0,04	6,51	0,24	27,1	4,90	4,30	9,00	0,31	0,11	0,03	0,10	5,05	5,8	10,90	34,05
	27-60 (C ₁)	60,1	28,3	11,6	Fa	20,4	7,2	5,4	4,4	0,03	0,91	0,04	22,8	30,10	1,79	4,10	0,05	0,03	0,03	0,01	3,12	2,8	3,85	36,29
	60-110 (C ₂)	67,8	22,4	9,9	Fa	16,2	5,2	5,5	4,3	0,03	0,35	0,02	17,5	33,60	2,54	4,10	0,05	0,02	0,04	0,01	3,24	2,8	3,70	42,71
P3	0-18 (A)	72,0	24,1	3,9	Fa	12,1	6,0	5,9	4,0	0,04	0,43	0,05	8,6	25,20	3,59	4,10	2,25	0,15	0,18	0,09	42,72	39,4	6,25	174,94
	18-80 (C ₁)	60,3	28,0	11,6	Fa	23,1	13,0	5,4	4,0	0,06	2,96	0,25	11,8	33,60	4,28	7,60	2,15	0,48	0,19	0,67	31,73	31,5	11,0	95,27
P4	0-35 (A)	69,8	26,0	14,2	Fa	20,0	12,1	5,7	4,2	0,03	2,92	0,16	18,3	46,20	3,18	4,10	2,35	0,55	0,17	0,20	43,60	44,4	7,50	51,90
	35-103 (C ₁)	73,5	10,7	15,8	Fa	13,3	7,0	6,5	4,3	0,03	0,44	0,03	14,7	93,80	1,03	4,10	0,85	0,15	0,26	0,09	36,00	24,8	3,75	34,45
	103-150 (C ₂)	87,7	10,3	20,7	a	7,8	4,7	6,6	3,7	0,03	0,15	0,02	7,5	33,60	3,11	2,00	0,65	0,55	0,25	0,13	41,58	44,1	3,80	172,95
P5	0-31 (A)	44,3	32,1	23,6	F	34,5	23,5	4,9	3,9	0,08	4,79	0,28	17,1	2,10	7,42	9,01	0,46	0,24	0,16	0,41	12,39	12,4	10,25	43,56
	31-80 (C1)	71,7	20,4	7,9	Fa	21,8	12,9	5,0	4,0	0,03	0,20	0,04	5,0	0,70	5,75	6,30	0,20	0,09	0,15	0,16	8,05	8,7	7,45	87,90
	80-135 (C2)	47,8	40,7	11,7	F	42,5	25,3	4,9	3,9	0,04	0,05	0,01	5,0	0,00	17,49	12,00	0,05	0,10	0,02	0,07	1,68	2,0	14,25	106,53
P6	0-30 (A)	55,8	32,6	11,6	Fa	31,5	23,0	5,0	3,9	0,05	5,35	0,29	18,5	1,40	10,37	12,00	0,50	0,15	0,18	0,20	7,49	7,9	13,75	112,81
	30-50 (C ₁)	51,9	22,4	25,7	FAa	22,6	16,0	5,5	4,1	0,03	0,67	0,16	4,2	6,30	8,17	6,30	0,20	0,08	0,16	0,07	11,33	7,5	4,50	26,50
	50-100 (C ₂)	67,7	20,5	11,8	Fa	20,5	10,9	5,9	4,3	0,03	0,15	0,02	7,5	103,60	1,54	3,00	0,20	0,07	0,13	0,03	28,67	12,5	1,50	29,07
P7	0-30 (A ₁)	68,8	6,2	25,0	FAa	20,5	10,3	6,1	4,9	0,14	3,16	0,27	11,7	35,70	3,75	4,10	0,55	2,86	0,17	0,41	72,55	49,3	5,50	32,36
	30-60 (A ₂)	55,7	14,9	29,3	FAa	19,4	13,5	5,7	4,2	0,13	1,80	0,14	12,9	19,60	6,23	4,10	0,50	2,03	0,16	0,16	60,00	41,0	4,75	23,69
	60-145 (C ₁)	57,0	24,0	19,1	Fa	19,6	7,9	6,6	5,0	0,08	0,15	0,02	7,5	59,50	4,02	2,00	0,40	2,11	0,19	0,23	83,71	59,4	3,50	25,81

CICA: CIC de la arcilla estimada según fórmula. CICA = (Suma de cationes/% Arcilla)*100.

.../...continúa

./... continuación CUADRO 2

Perfil N°	Profund. (cm) Horiz.	Granulometría (%)			Clase Textural	Ret. de humedad (%)		pH 1:1		CE 1:6 dS m ⁻¹	CO	NT	C/N	P mg kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃	H + Al	Ca	Mg cmol kg ⁻¹	Na	K	SB	SBsc	CIC	CICA*
		a	L	A		33kPa	1500 kPa	Agua	KCI															
P8	0-50 (A)	60,1	18,4	21,5	FAa	16,1	9,9	6,5	5,2	0,14	2,85	0,26	11,0	18,50	5,19	2,00	0,95	1,99	0,18	0,17	57,22	62,2	5,75	24,63
	50-95(C)	55,6	19,6	24,8	FAa	14,6	9,3	6,2	5,4	0,11	0,91	0,12	7,6	18,20	5,58	2,00	1,00	3,81	0,26	0,13	86,67	72,2	6,00	29,04
P9	0-17 (A)	28,3	34,0	37,7	FA	29,2	14,4	5,2	4,1	0,05	2,27	0,14	16,2	1,40	12,91	4,10	0,40	1,11	0,04	0,07	21,74	28,3	7,45	15,17
	17-48 (Bw ₁)	18,0	36,2	45,8	A	27,4	14,4	4,9	3,8	0,05	1,11	0,11	10,1	0,00	15,36	6,30	0,15	0,29	0,03	0,04	7,85	7,5	6,50	14,89
	48-89 (Bw ₂)	17,9	34,3	47,8	A	28,6	14,2	5,1	3,9	0,04	0,45	0,09	5,0	1,75	16,31	4,10	0,55	0,07	0,03	0,02	12,07	14,0	5,55	9,97
P10	0-16 (A)	13,8	28,6	57,7	A	43,4	28,8	5,0	4,0	0,06	5,60	0,28	20,0	0,35	18,92	9,00	0,76	0,49	0,03	0,27	11,36	14,7	13,65	18,30
	16-75 (Bt)	11,8	22,1	66,1	A	32,0	24,4	5,2	4,2	0,04	1,56	0,12	13,0	0,70	18,41	6,30	0,05	0,46	0,03	0,02	7,37	8,2	7,60	10,39
	75-100 (C)	29,8	22,0	48,2	A	32,1	10,7	5,2	4,1	0,04	0,65	0,10	5,5	4,50	13,63	4,10	0,04	0,02	0,02	0,04	2,31	2,8	5,20	8,75
P11	0-27 (A)	64,0	10,1	25,9	FAa	16,0	9,8	7,6	6,8	0,07	1,56	0,11	14,2	1,75	9,43	0,00	9,33	0,36	0,02	0,16	100,0	100,0	8,50	38,15
	27-60 (Bw ₁)	61,8	10,5	27,8	FAa	13,7	9,5	8,1	7,2	0,12	0,25	0,04	6,3	1,40	11,17	0,00	8,72	0,15	0,02	0,18	100,0	100,0	6,20	32,66
	60-95 (Bw ₂)	61,6	10,4	28,1	FAa	14,3	8,9	8,2	7,2	0,10	0,35	0,03	11,7	1,75	12,08	0,00	15,54	0,19	0,01	0,13	100,0	100,0	6,35	56,54
P12	0-38 (A)	43,7	28,2	28,1	FA	31,1	16,8	7,1	6,1	0,09	4,57	0,35	13,1	11,20	9,73	0,00	9,15	0,79	0,03	0,25	100,00	100,0	5,60	36,34
	38-64 (C ₁)	63,5	18,3	18,3	Fa	13,6	6,8	5,7	4,2	0,04	0,58	0,07	8,3	5,95	5,64	2,00	2,00	0,36	0,03	0,09	88,57	55,4	2,80	24,55
	64-93 (C ₂)	67,5	20,5	12,0	Fa	11,9	6,0	5,6	4,0	0,02	0,58	0,15	3,9	8,40	5,71	4,10	1,25	0,26	0,03	0,06	84,21	28,1	1,90	47,70
P13	0-11 (A)	63,6	12,6	23,8	Fa	20,3	8,2	5,4	4,1	0,05	3,41	0,22	15,5	28,70	3,49	6,30	1,50	0,35	0,11	0,22	76,49	25,7	2,85	35,60
	11-40 (C ₁)	73,6	18,2	8,2	Fa	13,0	4,6	5,8	4,4	0,03	0,72	0,06	12,0	38,15	2,65	2,00	0,40	0,11	0,10	0,15	95,00	27,5	0,80	33,58
P14	0-34 (A)	50,0	28,1	21,8	FAa-F	44,2	25,5	4,6	4,1	0,08	9,37	0,66	14,2	0,35	5,71	5,00	0,20	0,13	0,06	0,15	7,15	9,7	7,55	25,38
	34-60 (C ₁)	65,7	24,5	9,8	Fa	15,9	4,6	5,7	4,5	0,02	0,82	0,04	20,5	17,50	1,71	3,00	0,20	0,05	0,03	0,06	21,25	10,2	1,60	34,05
	60-90 (C ₂)	69,5	20,4	10,0	Fa	14,9	4,6	4,4	4,5	0,03	0,82	0,04	20,5	12,25	1,44	2,00	0,20	0,04	0,03	0,06	26,40	14,2	1,25	23,21

CICA: CIC de la arcilla estimada según formula. CICA = (Suma de cationes/% Arcilla)*100.

Los contenidos de Ca se encuentran en los rangos bajos a medios, excepto en los perfiles 11, 12 y 14 donde son altos. El Mg salvo el caso ya comentado de los perfiles 7, 8 y 9, donde Mg supera a Ca, presenta contenidos bajos y medios.

La saturación de bases varía acorde con parámetros ya discutidos, entre los principales pH y acidez de cambio, siendo baja en los perfiles 2, 5, 6 y 10, muy alta en los perfiles 7, 8, 11, 12 y 14 mediana-alta en los demás.

d) Capacidad de intercambio de cationes. En general se observan valores bajos para los horizontes subsuperficiales y en los horizontes A aumentan a rangos de bajos a medios. La estimación de la capacidad de intercambio basados en la suma de los cationes básicos y la acidez de cambio se relaciona bastante bien con la determinada por el método del acetato de amonio (excepto perfiles 12, 13 y 14).

La composición mineralógica de la fracción arcilla (especialmente para los horizontes subsuperficiales) y el porcentaje de arcilla son dos factores importantes para su interpretación. En los horizontes de superficie el contenido y tipo de humus explican, además, esta característica.

El alto contenido de materia orgánica en los horizontes A (perfiles 2, 5, 6, 4, 12, 14, 13, 9 y 10) no se relaciona con la capacidad de cambio, la explicación más razonable parece corresponder al bajo grado de humificación que presenta la misma. Este aspecto se relaciona ampliamente con la clasificación que se hace del humus ya que en muchos perfiles se presentan restos no incorporados de materiales orgánicos y, en consecuencia, humificación incipiente con poco desarrollo de los grupos funcionales asociados al fenómeno del intercambio iónico.

La capacidad de intercambio catiónico estimada para la fracción arcilla, por suma de cationes, indica valores dominantes en el rango 20-40 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, con ciertos valores muy altos (superiores a 100 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, perfiles 3, 4 5 y 6) o bajos (inferiores a 20 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, Perfiles 9 y 10).

La interpretación para los valores de capacidad de intercambio catiónico muy altos puede verse afectada por los bajos contenidos de arcilla (2, 4 y 12), por lo que la estimación pierde validez ya que ni por los valores de pH ni por la determinación mineralógica en la fracción arcilla pueden inferirse compuestos de alta capacidad

de intercambio. En los demás casos, la presencia de minerales 2:1 (vermiculita, esmectita) e interstratificados y productos intermedios mica-vermiculita-clorita, podrían ser los responsables de dichos valores.

e) Los valores de conductividad eléctrica indican que el nivel de salinidad es muy bajo a bajo en todos los suelos, presentándose sólo casos aislados (Perfiles 7 y 8) con valores que se encuentran en la transición de bajos a medianos.

f) El nivel de fósforo aprovechable por las plantas es variable, valores altos en los perfiles 3, 4, 18 y 14; medianos en el perfil 8 y horizontes subsuperficiales del perfil 13 y bajos en los demás. Los valores altos tienden a presentarse en suelos con pH ligeramente ácido, a valores de pH por encima de 7,6 (Perfil 11) o inferior a 5,4, los valores de fósforo disminuye notablemente.

g) Los óxidos libres de hierro varían entre 1-19%, los valores más altos (rango 12,9-18,5 % en perfiles 1, 9 y 10) se observan en los horizontes con valores de pH promedio de 5,05. Los valores intermedios (9,4 y 12,1%) en los perfiles 11 y 12 (Horizontes A) con valores de pH superiores a 7,1 (7,1-8,2). Los valores bajos (1-7%) en el resto de los perfiles con valores de pH en el rango 4,4-6,6 y promedio de 5,6.

Es importante destacar que los máximos contenidos de óxidos libres ocurren a altitudes inferiores a 2 000 m, en suelos con mayor grado de evolución (Ultisoles y un Inceptisol con horizontes ABwC). Estos valores contrastan con los obtenidos por Oballos y Ochoa (1996) para la cuenca del río Capaz, estado Mérida, en cuanto a que no presentan diferencias entre los suelos poco evolucionados y los evolucionados.

En sus trabajos, Oballos (1995), señala que al hierro libre no se le puede atribuir un valor de índice de alteración cuando la referencia inicial de la roca madre está esencialmente constituida por productos de hierro bajo este estado.

Los suelos desarrollados sobre la Formación Mucuchachí presentan en general altos contenidos de óxidos libres que se ven afectados por la altitud a la cual se desarrollan, pero sus valores disminuyen cuando sobrepasan los 2 500m. Resultados similares han sido señalados por Sosa *et al.* (1997), para suelos ubicados a alturas superiores a 2 600 m.s.n.m., en la cuenca del Santo Domingo y por Ochoa y Marante (1983) para suelos ubicados en la cuenca del Motatán.

Caracterización del Humus

De acuerdo con datos presentados en el Cuadro 3 y la información de campo, las características y clasificación del tipo humus (Duchaufour, 1977) pueden interpretarse de la manera siguiente:

a. La clasificación bioquímica y ecológica del humus integra las características de evolución húmica en un contexto global asociado a los factores evolutivos de los suelos. Según los parámetros indicados por Duchaufour (1977) el tipo predominante de humus se encuentra en el rango moder-mull, es decir constituye un tipo de humus indicativo de evolución orgánica parcial (moder) o asociada ya sea con influencia bioclimática (mull chernozémico) o de predominio biológico (mull ácido y mull eutrofo). No obstante, es importante aclarar que en varios casos la clasificación es aproximada debido al nivel de análisis y aparente contradicción en algunos criterios (relación C/N *vs.* relación AF/AH). Los humus tipo Mull ácido y Mull eutrofo indican proporciones débiles de materiales orgánicos poco transformados y de humina heredada, esta última se relaciona con compuestos húmicos de insolubilización y poco móviles. El predominio de la humificación biológica es acentuado y la relación C/N fluctúa en valores cercanos al rango 10 - 15.

A alturas superiores a 1 900-2 000 m, hasta las máximas de 4 100 m, los suelos que presentan alta acidez, baja saturación y relación C/N alta (17 - 27) tienen un humus transicional entre el Mull ácido y el Moder, o Moder como tal, en este último la evolución es baja y la incorporación de la materia orgánica es limitada.

El máximo grado de evolución bioclimática corresponde al suelo estudiado a menor altitud (850 m.s.n.m.), con un Mull chernozémico, en el cual la saturación de cationes básicos, la relación C/N, AF/AH y el clima estacional han inducido una mayor estabilidad, evolución y polimerización de sus integrantes.

b. En los componentes fraccionados del humus predomina la humina, fracción que puede variar en evolución desde la correspondiente a herencia del material original hasta aquellos de mayor evolución y síntesis biológica. Este parámetro se toma en cuenta, a la vez que la relación AF/AH, para la caracterización húmica.

c. Las relaciones estudiadas entre algunos parámetros utilizados para caracterizar el tipo de humus pueden resumirse así:

- No se observa relación entre AF/AH y el pH de los horizontes superficiales de los suelos estudiados.

- Se observa una tendencia a aumentar la relación AF/AH a medida que aumenta la relación C/N.
- Otras relaciones (altitud *vs.*, relación C/N o clima *vs.*, relación C/N) no son claras, observándose tan sólo tendencias a aumentar el valor de la relación C/N con la altitud, hasta aproximadamente los 2 500 m de altitud.

d. El efecto de la composición de los materiales húmicos sobre la génesis y evolución de los suelos depende tanto de la relación AF/AH como del tipo de humina y medio químico donde evoluciona, valores altos en la relación AF/AH, humina de herencia y pH ácido favorecen los fenómenos de transferencias y alteración química, condiciones opuestas aumentan la estabilidad, permanencia y complejidad de las reacciones arcillo-húmicas.

En los suelos estudiados se presentan condiciones variables de estos parámetros pues las relaciones comentadas tienen rangos amplios de manifestación, así: el Perfil 11 (Haplustol) presenta saturación de bases muy alta, pH neutro a básico y relaciones AF/AH con valores de 1,0, su evolución será diferente, en los aspectos comentados, a la presente en perfiles 1 y 10 (Haplohumult) y 13 (Dystrudepts), donde el medio es ácido, la saturación de bases baja y las relaciones AF/AH presentan valores muy altos en horizontes B y C (perfil 13) o en Ah y Bt (perfiles 1 y 10).

e. Con base en la mineralogía presente, especialmente dentro de la fracción arcilla, se estima que la formación de complejos órgano-minerales (arcillosos) es baja, no obstante puede presentarse a nivel del aluminio de cambio y de algunos óxidos libres de hierro.

Mineralogía de la fracción arcilla

Los resultados más sobresalientes de la mineralogía de la fracción arcilla se presentan en el Cuadro 4. Del análisis se tiene que:

a. Existen diferencias marcadas en la mineralogía de la fracción arcilla de los suelos. Estas diferencias se asocian con el grado evolutivo, el material parental y la altitud-pendiente-clima.

b. Los suelos ubicados a altitudes inferiores a 1 000 m.s.n.m., presentan un predominio de caolinita, independiente del material parental, grado de desarrollo (Ultisol, Inceptisol o Molisol), pH y tipo de humus.

CUADRO 3. Caracterización del humus mediante parámetros bioquímicos y ecológicos de los suelos de la cuenca media y alta del río Motatán.

Perfil N°	Prof. (cm) Horiz.	Altitud (m.s.n.m.)	Estimación* actividad biológica	AF/AH	Humina	pH 1:1	C/N (%)	SB	Tipos de humus Duchaufour
P1	0-14 (A)	1 020	Mediana	4,3	79,4	4,5	8,4	36,4	Mull ácido a moder
	14-46 (B _{t1})			8,5	81,0	4,8	6,3	13,5	
	46-120 (2B _{t2})			0,9	74,0	5,3	7,4	58,4	
P2	0-27 (A)	2 100	Mod. baja a baja	1,1	65,4	5,0	27,1	5,0	Moder
	27-60 (C ₁)			6,3	75,8	5,4	22,8	3,1	
	60-110 (C ₂)			9,0	71,4	5,5	17,5	3,2	
P3	0-18 (A)	2 600	Med. a mod. alta	4,3	51,1	5,9	8,6	42,7	Mull eutrofo a mull ácido
	18-80 (C)			2,9	62,8	5,4	11,8	31,7	
P4	0-35 (A)	2 540	Mod. baja	1,1	69,9	5,7	18,3	43,6	Mull eutrofo a mull ácido
	35-103 (C ₁)			1,0	72,7	6,5	14,7	36,0	
	103-150 (C ₂)			0,3	73,3	6,6	7,5	41,6	
P5	0-31 (A)	3 250	Baja	1,6	46,0	4,9	17,1	12,4	Moder a mull ácido
	31-80 (C ₁)			0,8	65,0	5,0	5,0	8,1	
	80-135 (C ₂)			0,0	0,0	4,9	5,0	1,7	
P6	0-30 (A)	2 520	Mod. baja a baja	0,5	59,2	5,0	18,5	7,5	Moder a mull ácido
	30-50 (C ₁)			1,4	49,2	5,5	4,5	11,3	
	50-100 (C ₂)			9,0	33,3	5,9	7,5	28,7	
P7	0-30 (A ₁)	2 500	Mod. alta	1,0	87,9	6,1	11,7	72,5	Mull eutrofo
	30-60 (A ₂)			0,2	76,1	5,7	12,9	60,0	
	60-145 (C ₁)			2,0	80,0	6,6	7,5	83,7	
P8	0-50 (A)	1 450	Alta	0,6	93,8	6,5	11,0	57,2	Mull eutrofo
	50-95 (C)			0,8	82,4	6,2	7,6	86,7	
P9	0-17 (A)	2 680	Mediana	1,1	85,9	5,2	16,2	21,7	Mull eutrofo
	17-48 (B _{w1})			6,7	79,3	4,9	10,1	7,9	
	48-89 (B _{w2})			6,0	84,4	5,1	5,0	12,1	
P10	0-16 (A)	1 920	Mod. baja	6,7	67,1	5,0	20,0	11,4	Moder
	16-75 (B _t)			2,6	58,3	5,2	13,0	7,4	
	75-100 (C)			6,0	78,4	5,2	5,5	2,3	
P11	0-27 (A)	850	Alta	1,1	86,5	7,6	14,2	100	Mull chemozénico
	27-60 (B _{w1})			1,0	84,0	8,1	6,3	100	
	60-95 (B _{w2})			0,0	97,1	8,2	11,7	100	
P12	0-38 (A)	3 420	Mod. baja	1,1	77,6	7,1	13,1	100	Mull eutrofo
	38-64 (C ₁)			1,0	86,2	5,7	8,3	88,6	
	64-93 (C ₂)			3,0	86,2	5,6	3,9	84,2	
P13	0-11 (A)	2 510	Mediana	0,1	74,2	5,4	15,5	76,5	Mull eutrofo a mull ácido
	11-40 (C ₁)			3,3	76,3	5,8	12,0	95,0	
P14	0-34 (A ₁)	3 890	Baja	0,2	43,9	4,6	14,2	72,5	Moder
	34-60 (A ₂)			10,3	58,5	5,7	20,5	60,0	
	60-90 (C ₁)			15,5	59,7	4,4	20,5	83,7	

* Actividad biológica con base al clima del suelo (cualitativa) estimada como alta, mediana, baja, etc. Se estima a partir de los organismos observados en el suelo y el producto de sus actividades.

CUADRO 4. Características generales del medio y clasificación de los suelos de la cuenca media y alta del río Motatán.

Perfil N° Altitud (m)	Prof. (cm) Horizontes	Mineralogía ¹ y estimación de abundancia ²	Clasificación
P1 1020	0-14 (A) 14-46 (Bt ₁) 46-120 (2Bt ₂)	C ⁺⁴ > V(Cl) ⁺² > M y Cz	Ustic Haplumults, arcilloso muy fino, ferruginoso, isohipertérmico
P2 2100	0-27 (A) 27-60 (C ₁) 60-110 (C ₂)	A: Difracciones mal definidas, amplia base y baja intensidad, se reconocen materiales vermiculíticos. C1: Materiales 5.1 - 5.2 Å > V(Cl) ⁺ , M ⁺ , Cz ⁺ C2: Materiales 5.1 Å, V(Cl) ⁺⁴ > M ⁺² > C ⁺	Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isotérmico
P3 2600	0-18 (A) 18-80 (C ₁)	Cl ⁺⁴ > C ⁺³ > M, Cz ⁺²	Typic Udorthents, franco esquelético, mezclado, isotérmico
P4 2540	0-35 (A) 35-103 (C ₁) 103-150 (C ₂)	A y C1: Cl ⁺⁴ > C ⁺² > M ⁺ > Cz ⁺ C2: Cl ⁺⁴ > C ⁺² > M ⁺ > Cz Roca madre: Cz, F y M	Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isotérmico
P5 3250	0-31 (A) 31-80 (C ₁) 80-135 (C ₂)	A: C ⁺⁴ > M, Cz, ET (M-V) ⁺² > V ^{tr} C1: Cl ⁺⁴ > C ⁺² > M ⁺ > Cz C2: E ⁺⁴ > C ⁺³ > ET (E-V, Cl) Roca madre: Cz, M, C y alteraciones ET (28 Å)	Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isofrígido
P6 2520	0-30 (A) 30-50 (C ₁) 50-100 (C ₂)	A: Baja intensidad de difracciones, presencia de Cz, V(Cl), trazas de C y M, posibilidad de G C1: G(?) ⁺⁴ > Cz ⁺² > V ⁺ , M ⁺ , C ⁺ C2: Cz, G(?) > C > V(Cl) Roca madre: M, Cz, alteraciones ET (28 Å), materiales 14 Å, trazas C.	Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isoméxico
P7 2050	0-30 (A ₁) 30-60 (A ₂) 60-145 (C ₁)	Perfil homogéneo en mineralogía M ⁺⁴ > Cz ⁺³ > C ⁺² > V ^{tr}	Oxic Haplustepts, esquelético franco, mezclado, isotérmico
P8 1450	0-50 (A) 50-95 (C)	A: M, Cz ⁺⁴ > C ⁺² > V ⁺ C: M, Cz, C ⁺⁴ > V(Cl) ⁺³	Oxic Dystrustepts, esquelético franco, mezclado, isotérmico
P9 2680	0-17 (A) 17-48 (Bw ₁) 48-89 (Bw ₂)	A: M, Cz ⁺⁴ > C ⁺² > V(Cl) ⁺ Bw1: M, V(Cl), Cz ⁺⁴ > C ⁺³ Bw2: M ⁺⁴ > Cz ⁺³ > C, V ⁺²	Oxic Dystrustepts, arcilloso fino, mezclado, isotérmico

¹ Cz: Cuarzo; C: Caolinita; M: Mica-ilita; E: Esmectita; V: Vermiculita; V(Cl): vermiculita parcialmente cloritizada; Cl: Clorita; F: Feldespatos; ET: Interestratificados; G: Gibsita.

² ⁺⁴: Muy abundante; ⁺³: Abundante; ⁺²: Común; ⁺¹: Presencia; ^{tr}: Trazas

../... continúa

./...continuación CUADRO 4

Perfil N° Altitud (m)	Prof. (cm) Horizontes	Mineralogía ¹ y estimación de abundancia ²	Clasificación
P10 1920	0-16 (A) 16-75 (Bt) 75-100 (C)	A: Difracciones poco intensas. V(Cl) > Cz, C Bt: V(Cl), Cz ⁺⁴ > M ⁺² > C+ > Cl ^{tr} C: V(Cl), C ⁺⁴ > Cz, M ⁺³	Ustic Haplumults, arcilloso muy fino, ferruginoso, isotérmico
P11 850	0-27 (A) 27-60 (Bw ₁) 60-95 (Bw ₂)	C ⁺⁴ > M, Cz, V(Bw ₂) > V(Cl)	Typic Haplustolls, franco esquelético, mezclado, isohipertérmico
P12 3420	0-38 (A) 38-64 (C ₁) 64-93 (C ₂)	M ⁺⁴ > Cz ⁺³ > C ⁺² , V(Cl) ⁺² , V(C ₂) ⁺²	Humic Eutrudepts, franco grueso-franco fino, mezclado, isofrígido
P13 2510	0-11 (A) 11-40 (C ₁)	A: M, Cz, C, V(Cl): iguales cantidades relativas C: M ⁺⁴ > Cz ⁺² > C, V(Cl) ⁺²	Typic Udorthents, esquelético, mezclado, isofrígido
P14 3890	0-34 (A) 34-60 (C ₁) 60-90 (C ₂)	A: Materiales cloríticos > C, Cz, M C ₁ y C ₂ : C, M ⁺⁴ > Cz ⁺³ , Cl ⁺³ > ET (M-V) ⁺	Humic Dystrudepts, franco esquelético, mezclado, isofrígido

¹ Cz: Cuarzo; C: Caolinita; M: Mica-ilita; E: Esmectita; V: Vermiculita; V(Cl): vermiculita parcialmente cloritizada; Cl: Clorita; F: Feldespatos; ET: Interestratificados; G: Gibsita.

² ⁺⁴: Muy abundante; ⁺³: Abundante; ⁺²: Común; ⁺¹: Presencia; ^{tr}: Trazas

En los suelos formados sobre materiales de la formación Mucuchachí (Inceptisoles, Molisoles), el contenido de caolinita se asocia más con herencia que con síntesis; el resto de minerales presentes, productos de alteración micácea (vermiculita-clorita o vermiculita) son asociados a la evolución pedológica. Resultados similares fueron encontrados por Ochoa y Malagón (1979).

c. Los suelos desarrollados a alturas superiores a 3 200 m.s.n.m., presentan una composición mineralógica variable, aún dentro de perfiles específicos, varía su composición. Las especies predominantes son mica, caolinita, cuarzo y materiales cloríticos o transicionales entre micas y arcillas (hidromicas). La caolinita presenta tendencia a aumentar en los horizontes superficiales. Resultados similares fueron encontrados por Ochoa y Malagón (1979) y Malagón (1982).

Estos suelos presentan un grado de evolución mineralógica importante si se consideran las condiciones de baja temperatura debidas a la altitud, no obstante parece ser que la precipitación (850,8 mm de precipitación y

471,5 mm de EVT) favorece el proceso ayudado por mecanismos físicos que, como la gelifración, fomentan o aumentan la superficie específica incrementando la oportunidad de alteración mineral. En general las condiciones de alta acidez favorecen las condiciones para una mayor síntesis de caolinita. Los grupos interestratificados, transiciones vermiculita-clorita y esmectitas pueden considerarse relacionados a la alteración micácea, en especial de biotita, heredándose su estructura fundamentalmente. Para la colinita el grado de ordenamiento y definición cristalina es variable (varía desde alta hasta baja simetría en sus difracciones) algo similar ocurre con las micas, aumentando su simetría e intensidad con la profundidad. Estas especies se corresponden con las encontradas por Ochoa y Malagón (1979) y Malagón (1982).

d. Suelos ubicados en altitudes intermedias (1 000-3 200 m.s.n.m.) manifiestan una amplia gama de minerales en su fracción arcillosa, abundan mica, cuarzo, materiales cloríticos o transicionales (vermiculita-clorita) y caolinita. La abundancia de caolinita tiende a

disminuir si se compara los suelos ubicados en las zonas más bajas. Otros minerales menos conspicuos son vermiculita y gibsita (Perfil 6). Las características relacionadas con el grado de cristalinidad y ordenamiento son variables, no obstante se aprecia que, por ejemplo, la caolinita tiende a manifestar grados de ordenamiento cristalino por lo general medianos-bajos exceptuándose los Perfiles 8 y 10 donde se consideran como altos (especialmente en horizontes C).

Las micas varían en simetría e intensidad de sus difracciones siendo predominantemente bajas, no obstante en algunos perfiles (7, 8 y 9) se expresan como altos, especialmente en los horizontes C donde el grado de pedogénesis es menor. Los materiales transicionales (vermiculita-clorita) manifiestan rangos variables de ordenamiento y definición cristalina, hay variaciones desde “hombros” amplios hasta difracciones definidas y agudas; este fenómeno está acorde con la naturaleza “intermedia” de muchos de estos productos.

e. El grado evolutivo en general permite afirmar que en la parte más baja de la secuencia altitudinal domina caolinita, pero que en zonas superiores a los 1 000 m.s.n.m., existe una heterogeneidad de especies mineralógicas sobresaliendo micas, cuarzo, minerales transicionales micas-hidromicas-arcillas y caolinita, comprobándose el bajo grado evolutivo y la reserva potencial de nutrientes.

CONCLUSIONES

- La composición mineralógica de las rocas influye grandemente en los suelos, especialmente en los ubicados a altitudes superiores a 1 500-2 000 m, debido a las condiciones imperantes de pendientes pronunciadas, rejuvenecimiento por pérdidas erosivas y baja evolución.
- Los suelos presentes a altitudes más bajas aumentan en grado de evolución, disminuyendo el efecto de los materiales parentales.
- La dinámica de las vertientes con pendientes altas (25 - 65%) constituye uno de los mecanismos determinantes de las características de los suelos.
- El dominio de altas pendientes en las partes altas y medias de la Cuenca del Río Motatán generarán tendencias a la eliminación (pérdidas por erosión) de los productos provenientes de los mecanismos de alteración de los materiales geológicos, determinando

rejuvenecimientos pedológicos y predominio de suelos “jóvenes” (Entisoles e Inceptisoles), sólo atenuados por la protección, mayor o menor, de la vegetación.

- La intensidad de la erosión es variable, en zonas de alta pendiente y dominio de la precipitación sobre la evapotranspiración se observan suelos menos evolucionados (Entisoles e Inceptisoles), que en aquellas donde el balance hídrico cambia (30-40 cm de horizontes A, sobre horizontes C en zonas con pendientes de 25-60%, en comparación con 50-100 cm de horizontes A y B en zonas de bosque seco con pendientes en el rango 15-40%), en estas se presentan Inceptisoles y Ultisoles.
- Los suelos con pH menos ácido (perfiles 7, 8 y 11) están ubicados en zonas donde la evapotranspiración predomina sobre la precipitación, según los cálculos del balance hídrico. No obstante, no se descarta la influencia del material parental, especialmente por intermedio de la Formación Mucuchachí. Los suelos de zona del Pico El Águila con un balance que indica predominio de la precipitación, tienen pH más ácidos (4,4-5,7).

Los principales procesos evolutivos evidenciados en los suelos estudiados son:

- Pérdidas: asociadas a erosión y/o lavado de elementos (Ca, Mg, K, Na).
- Transferencias de arcilla, en el caso de los Ultisoles (Perfiles 1 y 10).
- Transformaciones de materiales tanto orgánicos (humificación) como minerales (alteración y síntesis).
- Los procesos de pérdidas, como ya se ha comentado, están asociados a los mecanismos erosivos con la consiguiente disminución en el espesor de los horizontes A (Perfiles 3 y 14, Udorthents) y al lavado de elementos alcalinos y alcalino térreos que aumentan la acidez, disminuyen la fertilidad y aumentan la concentración de elementos tóxicos, como en el caso del Al de cambio, (Perfiles 1, 2, 5, 6 y 8).
- La iluviación de arcilla constituye uno de los procesos indicativos de mayor grado evolutivo en los suelos estudiados. El proceso está definido por incrementos de la fracción arcilla en los horizontes Bt (Perfiles 1 y 10) del orden del 8% comparados con los horizontes A y del 18 a 22% en relación con los

infrayacentes; además, estos suelos se encuentran en la zona de vida del bosque seco premontano y manifiestan alta acidez en los horizontes eluviales (pH 4,5 – 5,0), que disminuye en los horizontes iluviales Bt (pH 4,8 - 5,3).

- Las transformaciones tanto orgánicas como minerales están expresadas por las siguientes secuencias:

Transformaciones Orgánicas M. Orgánica → Humus (Moder, Mull ácido - Moder, Mull ácido, Mull eutrofo a Mull ácido, Mull eutrofo, Mull chernozémico). Transformaciones minerales:

Muscovita	illita
Feldspatos	caolinita y gibsitita
Cuarzo	cuarzo ligeramente alterado

Los tipos de evolución pueden agruparse en tres clases:

Incipiente: mezcla órgano-mineral incompleta, parcial o no avanzada (mayoría de los suelos estudiados). Los procesos no han llegado a diferenciar acciones o eventos específicos, fundamentalmente por causa de los fenómenos erosivos.

Pseudo-Calcificación: Altas saturaciones de Ca y/ o Mg, pH neutro a básico, no hay iluviación de arcillas y tipo de humus mull chernozémico o eutrofo. Suelos representados por los perfiles 8 y 11. No hay reacción al HCl razón por la cual el proceso no es típicamente de calcificación.

Argiluviación: migración e iluviación de arcilla en medio ácido, baja saturación de cationes alcalinos y alcalino térreos y alta acidez de cambio con influencia de Al. Suelos representados por perfiles 1 y 10. Abundancia de minerales resistentes y acumulación de productos estables de alteración.

- La mayor parte de los suelos estudiados pertenecen al tipo de evolución “incipiente”, sólo algunos perfiles en zona de bosque seco (tropical o premontano) y generalmente bajo la influencia de la Formación Mucuchachí, presentan “pseudo calcificación”. El proceso de “argiluviación” se genera en zonas de bosque seco premontano a altitudes inferiores a los 2 000 m.s.n.m. Los procesos comentados tratan de resumir la evolución del suelo en la zona investigada.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, L. y G. Mendoza. 1977. Determinación de áreas potenciales para el desarrollo agropecuario, cuenca del Río Motatán. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Taller de Publicaciones Forestal. Mérida - Venezuela. 171 p.
- Álvarez, R. and R. S. Lavado. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83:127-141 p.
- Arnold, R. W. 1965. Multiple Working hypothesis in soil genesis. *Soil Science Society of America Proceeding* 29:717-724.
- Arnold, R. W. 1983. Concepts of soils and pedology. Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions. Ed. L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F.Hall. Elsevier. pp. 1-21.
- Arocena, J. M. and P. Sanborn. 1999. Mineralogy and genesis of selected soils and their implications for forest management in central and northeastern British Columbia. *Canadian Journal of Soil Science* 79:571-792.
- Bouyoucos, G. S. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54:464-465.
- Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. En *Methods of Soil Analysis. Part. 2. Chemical and microbiological properties*. Soil Science Society of America 595-624.
- Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59:39-45.
- Duchaufour, P. H. 1977. *Pédogènese et classification*. Masson. Paris. 477p.
- Edwel, J. J. y A. Madriz. 1968. Zonas de vida de Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas. 265p.
- F.A.O. 1966. Suelos Ríos Cojedes Superior y Motatán. Proyecto “Venezuela I” del Fondo Especial (UNDP-FAO) de la ONU.

- Jackson, M. L. 1964. Soil Clay Mineralogical Analysis. Soil Clay Mineralogy. The University of North Carolina Press.
- Jaimes, E., J. Mendoza., N. Pineda y H. Rodríguez. 2005. Homogeneidad Pedogeomorfológica y Pedogénesis en la Cuenca del Río Motatán, Trujillo, Venezuela. *Interciencia* 30(2):73-80.
- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. A system of quantitative Pedology. McGraw-Hill-Book Co., Inc., New York. 281 p.
- Jenny, H. 1980. The soil Resource. *Ecological Studies* 37, Springer, New York, N. Y. 377 p.
- Kaurichev, R. S., N. P. Panov, M. V. Stratonovich., I. P. Crechin, V. I. Sávich, N. P. Ganzhara and A. P. Mershin. 1984. Prácticas de Edafología. Editorial MIR-Moscu. 289 p.
- Köppen, W. 1948. Climatología. Hendrichs, PR. (Trad). Fondo de Cultura Económica. México-Buenos Aires. 478 p.
- Maher, B. A., R. Thompson and L. P. Zhou. 1994. Spatial and temporal reconstructions of changes in the Asian paleomonsoon: A new mineral magnetic approach. *Earth Planetary Sci. Lett.* 125:461-471.
- Malagón, D. 1982. Evolución de suelos en el páramo andino. (NE del estado Mérida-Venezuela). CIDIAT. Mérida. 222p. (Serie: Suelos y Clima).
- Manrique, J., G. Ochoa y J. Oballos. 1997. Suelos de la cuenca del Santo Domingo. (Sector Los Frailes. Caracterización físico-química). Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 41(1):61-68.
- Mehra, O. and L. M. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soil and clay dithionite citrate system buffered with sodium bicarbonate. **In:** Clays and Clay Minerals. Proc. 7th. Conf. Natl. Acad. Sci. Natl. R. p. 317-327.
- Ministerio de Energía y Minas (M. E. M). 1997. Léxico Estratigráfico de Venezuela. Boletín de Geología. Publicación especial N° 12. 3ª ed. SERVIGEOMIN. Ministerio de Energía y Minas. Venezuela. 828 p.
- Oballos, J. y G. Ochoa. 1996. Los óxidos de hierro en la génesis de los suelos de la región Las Cruces-Santa Elena de Arenales. Mérida. Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 40(2):69-74.
- Oballos, J. 1995. Caractérisation des sols de la région de Las Cruces-Santa Elena de Arenales, Mérida, Venezuela (contribution à la connaissance de la pédogénese en montagne tropicale humide). Tesis de doctorado. Université de Toulouse Le Mirail, 244 p.
- Ochoa, G. y M. Malagón. 1979. Atlas de microscopía electrónica en suelos de Venezuela. (Región de la Cordillera de Mérida) (1 000-3 500 m.s.n.m.). CIDIAT. 40 p. (Serie: Suelos y Clima).
- Ochoa, G y R. Marante. 1983. Estudios de suelos de la parte alta y media del río Motatán. Estados Mérida-Trujillo. Universidad de Los Andes. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Taller de Publicaciones Forestal. Mérida - Venezuela. 101 p.
- Ochoa, G., D. Malagón y O. Márquez. 1995. Acidez en suelos de la cuenca del río Torbes (Estado Táchira). *Revista Geográfica Venezolana* 36(1):13-30.
- Ochoa, G., J. Oballos, E. Jaimes y J. Manrique. 2004. Relación entre el material parental y el pH de los suelos en los Andes Venezolanos. *Revista Geográfica Venezolana*. 45(2):281-288.
- Rivas, S., J. Oballos, G. Ochoa y J. Santiago. 2005. Ensayo metodológico de evaluación de tierras para la captación de agua en dos microcuencas del río Santo Domingo, Mérida, Venezuela. *Interciencia* 30(6):347-355.
- Soil Survey Staff. 2006. Key to Soil Taxonomy. USDA/NRCS. Washington. EEUU. 323p.
- Sosa, J., G. Ochoa y J. Oballos. 1997. Suelos de la cuenca del Santo Domingo, Sector Mucubají. (Caracterización físico-química). Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 41(2): 155-160.
- Shaw, J. N., L. T. West and B. F. Hajek. 2001. Ca-Mg ratios for evaluating pedogénesis in the piedmont province of the southeastern United States of America. *Canadian Journal of Soil Science* 81:415-421.
- Torrent, J. and W. D. Nettleton. 1979. A simple textural index for assessing chemical weathering in soils. *Soil Science Society of America Journal*. 43:373-377 p.
- Walkley, A. and A. Black. 1934. An examination of the Detjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.

Young, F. J. and R. H. Hammer. 2000. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. *Soil Science Society America Journal* 64:989-998.

Yuan, T. L. 1959. Determination of exchangeable hydrogen in soil by titration Method. *Soil Science* 88: 164-167p.

MODELOS DE ESTIMACIÓN DE LAS TEMPERATURAS PROMEDIO DE LA MÍNIMA, MÁXIMA Y MEDIA DIARIA PARA LA REGIÓN ANDINA DE VENEZUELA

ESTIMATION MODELS FOR CLIMATIC AVERAGE OF DAILY MINIMUM, MAXIMUM, AND MEDIUM AIR TEMPERATURES FOR THE ANDES REGION IN VENEZUELA

Beatriz Ibet Lozada García* y Paulo César Sentelhes**

* Investigadora. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), CIAE-Táchira. Carretera vía Delicias, Bramón, Rubio- Estado Tachira. E- mail: blozada@inia.gob.ve.

** Profesor. Departamento Ciencias Exactas. Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). USP. Av. Pádua Díaz N° 11. Piracicaba. SP. Brasil.

RESUMEN

La disponibilidad de datos diarios de temperatura del aire es indispensable para una amplia variedad de estudios agrometeorológicos como: estimación de la evapotranspiración, balance hídrico, zonificación agroclimática y confort animal, y especialmente en la previsión de enfermedades y rendimiento de los cultivos. Debido a la baja densidad de estaciones de la red meteorológica en los estados Táchira, Mérida y Trujillo, de la región Andina de Venezuela, los datos de temperatura del aire no están disponibles con la distribución espacial requerida para estudios de esa naturaleza. Con el interés de disponer de una forma rápida y eficiente de estimar los promedios diarios de las temperaturas mínimas, máximas y medias, El objetivo de este estudio fue generar modelos diarios de estimación de las variables en estudio empleándose la regresión lineal múltiple, considerando como variables independientes las coordenadas geográficas (longitud y latitud) y la altitud. Los datos utilizados en este estudio pertenecen a la red de estaciones meteorológicas del Ministerio del Ambiente de Venezuela, del cual fueron escogidas 22 unidades distribuidas en esos tres estados. Los modelos obtenidos presentaron en promedio, coeficientes de determinación superiores a 0,90 cuando fueron probados con datos independientes, con estimaciones libres de errores significativos: índice de concordancia d variando de 0,98 a 1,0 y RMSE medio menor que 2 °C.

Palabras Clave: Regresión lineal múltiple; coordenadas; altitud.

SUMMARY

Nowadays, the availability of daily data of air temperature is essential for a wide range of studies in agrometeorology, like evapotranspiration, water balance, crop zoning, animal comfort, and mainly for diseases and crop yield forecasts. Due to the low density of weather stations in Táchira, Trujillo, and Mérida states, in the Andes region of Venezuela, air temperature data are not available in the spatial distribution required for the studies cited above. With the purpose of having a reliable daily air temperature database for the Andes region, the aim of this study was to generate models for estimating climatic average of daily minimum, maximum, and medium air temperature, using multiple linear regression, considering as input the geographical coordinates (longitude and latitude) and altitude. The data used in this study come from the weather stations network of the Ministry of Environment of Venezuela, from which were chosen 22 units spread over the three states. The obtained models showed on average coefficients of determination higher than 0.90, when tested with independent data, and estimated values free of significant errors: d index between 0.98 and 1.00, and an average RMSE smaller than 2 °C.

Key Words: Multiple linear regression; coordinates; altitude.

RECIBIDO: marzo 05, 2007

ACEPTADO: julio 12, 2007

INTRODUCCIÓN

La temperatura del aire es el elemento meteorológico y climatológico más importante en el crecimiento y desarrollo vegetal, determinando la distribución espacial de la vegetación natural, y condicionando la aptitud agrícola de los cultivos.

Con el uso de la temperatura se puede interpretar las transformaciones de la masa y estructura vegetal, o sea, la fenología que caracteriza el ciclo biológico del vegetal (Pascale y Damario, 2004). La influencia de la temperatura del aire en los vegetales puede ser indirecta, sobre su crecimiento y desarrollo, producto del efecto cuantitativo en el suplemento de energía aportado por el metabolismo basal y la biosíntesis, afectando procesos o fases de desenvolvimiento como: germinación, formación de flores, frutos y semillas. La influencia directa se da vía procesos reguladores como: inducción térmica, termoperiodismo y termomorfismo. También actúa como factor de estrés de la planta. El calor y el frío, dependiendo de la intensidad y duración, impiden la actividad metabólica, el crecimiento y la viabilidad de las plantas, imponiendo, de esa forma, límites para la distribución geográfica de las especies (Larcher, 2000).

Uno de los principales problemas para la realización de estudios agrometeorológicos, es la inexistencia de datos de temperatura. En ese sentido, Feitoza *et al.* (1980) consideran que la ausencia de estaciones meteorológicas en la localidad de interés, fallas en las series o series históricas muy cortas comprometen el detalle y la precisión de los estudios de zonificación agroclimática.

La temperatura del aire puede ser estimada por las coordenadas geográficas mediante ecuaciones de regresión lineal múltiple, basándose en el hecho que la distribución de calor del globo terrestre es condicionada por la latitud, que determina la disponibilidad de radiación solar incidente en la superficie terrestre; por la altitud, producto de la variación de presión y del enrarecimiento del aire; y algunas veces por la longitud, que expresa el efecto de la proximidad a los océanos y de la continentalidad (Coelho *et al.*, 1973; Garabatos, 1990; Pereira *et al.*, 2002).

Ese método ha sido probado por diversos autores en escala mensual (Coelho *et al.*, 1973; Ferreira *et al.*, 1974; Feitoza *et al.*, 1980; Pedro Junior *et al.*, 1991; Pascale y Damario, 2004) encontrando correlaciones superiores a 0,86 y coeficientes de regresión significativos al 1%.

Estos elevados coeficientes permiten señalar que el uso del modelo de las coordenadas geográficas para estimar las temperaturas medias normales de otro local, es factible desde que sean ajustados los coeficientes de la regresión.

Price *et al.* (2000) consideran que para algunas situaciones es preferible utilizar un método más simple a uno más sofisticado, el cual normalmente requiere considerablemente mayor tiempo para su aplicación. En ese sentido, Lookingbill y Urban (2003) sugieren que el primer paso en estudios agrícolas para regiones montañosas es el desarrollo de modelos geográficos simples de estimación de la temperatura del aire.

En Venezuela, estudios de estimación de las temperaturas son escasos, algunos de ellos fueron elaborados para determinar la temperatura media mensual y anual para regiones con gran variabilidad en la altitud. Esos modelos emplean ecuaciones de regresión lineal múltiple, considerando la altitud como variable independiente, encontrando coeficientes de determinación elevados entre 0,95 y 0,99 (Rondón, 1986; Solórzano y Lacruz, 1994).

En la región de los Andes (estados Táchira, Mérida y Trujillo) la densidad de estaciones meteorológicas que registran la temperatura del aire es muy irregular y escasa, lo que dificulta los estudios agrometeorológicos. Siendo esa región responsable por gran parte de la producción hortícola del país, el conocimiento de sus diferentes regímenes térmicos es de extrema importancia desde el punto de vista agrícola, especialmente para fines de zonificación agroclimática, modelación del crecimiento y rendimiento de los cultivos, evapotranspiración, balance hídrico y pronóstico de enfermedades.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar los coeficientes del modelo de coordenadas geográficas para estimar las medias diarias de las temperaturas mínima, máxima y media, para la región andina de Venezuela.

MATERIAL Y MÉTODOS

La región de estudio esta compuesta por los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela (Cuadro 1). Los tres ocupan un área aproximada de 29 200 km². En esa área, se encuentran 22 estaciones meteorológicas pertenecientes al Ministerio del Ambiente (Cuadro 2).

CUADRO 1. Coordenadas geográficas de los estados considerados en el estudio.

Estado	Latitud (N)	Longitud (W)
Táchira	7°21'52" a 8°39'0"	71°18'47" a 72°29'15"
Mérida	7°39'53" a 9°19'05"	70°32'23" a 71°54'54"
Trujillo	8°57'17" a 10°02'42"	69°59'50" a 71°04'13"

Los datos de temperatura del aire promedio diaria (mínima, máxima y media) conjuntamente con las coordenadas geográficas (latitud, longitud y altitud) de cada local fueron utilizados para estimar los coeficientes lineares y angulares de las ecuaciones de regresión lineal múltiple para cada día del año. La ecuación resultante es del tipo:

$$Y = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + \varepsilon$$

en donde: Y es la temperatura estimada, en °C, x_1 es la altitud, en metros; x_2 es la longitud y x_3 es la latitud,

expresadas en minutos; es la desviación entre los valores observados y estimados; y a , b , c , y d son los coeficientes de la ecuación. Esos coeficientes fueron determinados con los datos de 17 de las 22 estaciones meteorológicas consideradas en el estudio.

La prueba de los modelos fue realizada mediante la comparación de los valores estimados diarios, para cada temperatura, con las observaciones (datos independientes) de las siguientes estaciones meteorológicas: 2 146, 3 134, 3 161, 4 063 y 8 053 (Cuadro 1), las cuales no fueron utilizadas en los procedimientos de generación de los coeficientes de los modelos.

Los siguientes índices estadísticos fueron utilizados con el interés de evaluar el grado de ajuste entre los datos de temperatura observados y estimados por los modelos:

· Raíz del Error Cuadrado Medio (RMSE) según Zacharias *et al.* (1996):

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5} \quad (1)$$

CUADRO 2. Relación de estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio, con sus respectivas coordenadas geográficas.

Código	Estado	Estación	Altitud	Latitud	Longitud
2100	Trujillo	La Ceiba	2	9°28'21"	-71°03'58"
2132	Trujillo	Agua Viva	110	9°33'35"	-70°37'31"
2146	Trujillo	G. Monay	272	9°38'07"	-70°25'00"
3035	Mérida	El Vigía	130	8°36'27"	-71°37'47"
3040	Mérida	La Cuchilla	2280	8°38'00"	-71°21'10"
3061	Táchira	La Fría	95	8°14'26"	-72°15'55"
3072	Mérida	Mucubaji	3560	8°48'10"	-71°44'27"
3114	Mérida	Santo Domingo	2155	8°52'27"	-70°40'27"
3134	Mérida	Canagua	1560	8°08'08"	-71°26'25"
3141	Mérida	Tovar	952	8°20'30"	-71°44'40"
3161	Mérida	Los Plantíos	3878	8°49'11"	-70°47'05"
3170	Mérida	S. J. de Lagunillas	1050	8°30'40"	-71°21'14"
4030	Mérida	Punta Piedras	198	7°36'47"	-71°30'24"
4038	Mérida	San Cristóbal	800	7°48'00"	-72°13'47"
4041	Táchira	Bramón-Esc	1105	7°39'22"	-72°23'40"
4063	Táchira	Las Adjuntas	560	7°46'20"	-72°25'25"
4072	Táchira	P. Zumbador	2570	7°46'20"	-72°25'25"
4083	Táchira	Puente Salón	475	7°35'08"	-72°10'35"
4086	Mérida	Las Bocas de Cuparo	220	7°41'00"	-72°26'00"
8052	Táchira	Caño Negro	151	8°29'58"	-71°50'50"
8053	Táchira	La Palmita	600	8°33'03"	-71°36'02"
9060	Táchira	El Paradero	1120	7°45'13"	-71°54'17"

Error cuadrado medio sistemático (MSE_s) analizado por Willmott. (1981).

$$MSE_s = MSE_a + MSE_p + MSE_i \quad (2)$$

$$MSE_a = a^2 \quad (3)$$

$$MSE_p = (b-1)^2 \left[\frac{\sum_{i=1}^N O_i^2}{N} \right] \quad (4)$$

$$MSE_i = 2a(b-1)^2 \quad (5)$$

en donde: MSE_a es el componente aditivo, MSE_p es el componente proporcional y MSE_i es el componente independiente del error sistemático, a es el intercepto, b el coeficiente angular de la recta, O_i es el valor observado, N es el número total de O y P_i es el valor estimado.

Error cuadrado medio aleatorio (MSE_u) descrito por Willmott. (1981).

$$MSE_u = MSE - MSE_s \quad (6)$$

en que MSE es el error cuadrado medio (Willmott, 1981).

Índice de concordancia (d) según Willmott. (1981).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (7)$$

$$\bar{O} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i \quad (8)$$

en que: O_i y P_i representan los valores observados y estimados, n representa el número de pares de valores O_i y P_i y \bar{O} es la media de los valores observados.

El RMSE fue utilizado ya que permite conocer el tamaño del error producido por el modelo, y su descomposición en los errores sistemático y aleatorio auxilia en la explicación de la capacidad de predicción del modelo. Por su parte el índice de concordancia (d) es una medida

del grado en que los datos estimados por el modelo están libres de error. Este índice varía de 0 a 1, siendo que $d = 1$ indica una perfecta concordancia entre los valores observados y los estimados, y $d = 0$ significa total discordancia (Willmott, 1981).

La selección del modelo para cada día y temperatura (mínima, máxima y media) se basó en los valores y en la significancia de los coeficientes de determinación ajustados (R^2), evaluados por la prueba de F, considerándose un nivel de 0,05 de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Coefficientes de regresión lineal múltiple para estimar las temperaturas

Los coeficientes de los modelos seleccionados para estimar las temperaturas variaron de acuerdo con la época del año. A continuación se presenta una descripción detallada para cada una de las temperaturas.

Temperatura mínima

La media de la temperatura mínima de la región presenta los menores valores entre enero y diciembre ($\approx 16,0^\circ\text{C}$), en febrero se inicia el aumento de las temperaturas hasta alcanzar los valores máximos del año entre abril y mayo (de $17,5^\circ\text{C}$ a $18,0^\circ\text{C}$), y disminuye a partir de junio, manteniéndose entre $16,5^\circ\text{C}$ y $17,0^\circ\text{C}$ durante los meses de julio y agosto, aumentando ligeramente en los meses de septiembre y octubre (Figura 1).

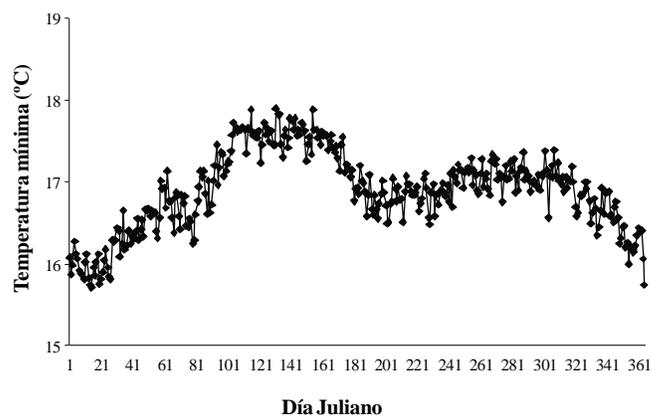


FIGURA 1. Promedio diario de temperatura mínima considerando todas las estaciones de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela.

Esos valores muestran claramente la característica bimodal de la temperatura, la cual está relacionada con el movimiento aparente del sol. En el solsticio de invierno (21 de diciembre) el sol se encuentra en el punto más distante del hemisferio norte (HN invierno astronómico), como consecuencia de eso las temperaturas mínimas y medias alcanzan sus valores más bajos en los meses de diciembre, enero y febrero. Los vientos alisios del nordeste comunes en esa época también contribuyen a la disminución de la temperatura.

A pesar de esa variación bimodal, la amplitud anual de las mínimas en la región de estudio es del orden de ± 2 °C, siendo menor a la observada en el resto del país.

El coeficiente lineal a del modelo de estimación de la temperatura mínima presentó la mayor amplitud de variación, con valores oscilando entre $-133,45$ y $123,18$, y la mayoría de los valores fue del orden de 20. Se observó que en los meses de marzo y de junio a noviembre el valor de a es predominantemente negativo, variando entre -30 y -133 . Los coeficientes c (longitud) y d (latitud) forman parte de los modelos a lo largo de todo el año, con valores predominantemente negativos y positivos, respectivamente, variando entre $0,023695$ y $-0,03349$ para la longitud y entre $0,042444$ y $-0,00901$ para la latitud. El coeficiente de la altitud (b) presentó valores negativos y con poca variación, entre $-0,00514$ y $-0,00615$ (Figura 2).

Temperatura máxima

La media de la temperatura máxima no presenta exactamente la misma estacionalidad observada para la temperatura mínima, en este caso el máximo principal ocurre entre agosto y octubre y el secundario en abril. Se observó que los valores más elevados ocurren entre agosto y septiembre ($> 27,0$ °C), y los menores valores (entre $24,5$ °C y $25,5$ °C) entre mayo y junio (Figura 3).

Los valores del coeficiente a se mantuvieron próximos a 200 durante los meses de enero a mayo. A partir de julio hasta agosto los valores variaron entre 10 y 270, siendo esa la mayor oscilación, y de septiembre a diciembre los valores oscilaron entre 30 y 180. Considerándose todo el año, el valor máximo de a es de 368,56 y el mínimo de 7,73. Los coeficientes relativos a la longitud y latitud presentaron magnitudes semejantes entre ellos, con valores entre $0,073567$ y $-0,009974$ para la latitud y entre $0,048037$ y $-0,039864$ para la longitud, en el caso de la latitud tuvo influencia apenas en los meses de mayo a agosto. El coeficiente de la altitud presentó valores negativos en el orden de $-0,005549$ a $-0,006940$ (Figura 4).

Temperatura media

La variación bimodal presente en las medias diarias de las temperaturas mínima y máxima se refleja en la temperatura media, observándose dos máximos asociados a la variación anual de las temperaturas máxima (Figura 5).

En el período de enero a marzo, el coeficiente a es superior a 100 y durante los meses de abril y mayo presenta valores oscilando entre 10 y 100 indistintamente. En general, los valores extremos para este coeficiente fueron 164,93 y $-28,44$. Los coeficientes c y d presentaron valores positivos con magnitudes semejantes entre ellos, variando entre $0,031977$ y $-0,01036$ para la longitud y entre $0,034364$ a $-0,009191$ para la latitud. La longitud presentó influencia sólo en los meses de diciembre a mayo, en cuanto que la latitud tuvo influencia en el resto del año (de junio a noviembre). Para el coeficiente b , se repitió la misma tendencia observada para las temperaturas mínima y máxima, con valores oscilando entre $-0,00555$ y $-0,00632$ (Figura 6).

Esos valores del coeficiente b presentaron magnitudes semejantes a los obtenidos por Solórzano y Lacruz (1994) para la temperatura media anual en las condiciones del estado Mérida.

Variación de esa magnitud en los coeficientes de las ecuaciones de estimación de la temperatura del aire no es normalmente observada en los modelos para estimación en escala mensual (Coelho *et al.*, 1973; Ferreira *et al.*, 1974; Feitoza *et al.*, 1979; Pascale y Damario, 2004). Las variaciones observadas para las temperaturas mínima, máxima y media parecen estar asociadas directamente a los modelos de estimación en la escala diaria, dada la oscilación de los valores de esas temperaturas día a día, a lo largo del año (Figuras 1, 3 y 5).

El coeficiente b presentó en las tres temperaturas valores con una variación muy pequeña a lo largo del año, siendo este el factor con mayor influencia. Esos valores representan que para cada 1 000 m de variación en la altitud las temperaturas sufren una disminución de 5 a 6 °C, los cuales se encuentran próximos del valor del gradiente adiabático medio (6 °C) como lo muestran las Figuras 2, 4 y 6.

Considerando que la latitud influencia la distribución del calor en la tierra (Coelho *et al.*, 1973), eso puede explicar la influencia diferenciada de la latitud en las temperaturas medias y máximas.

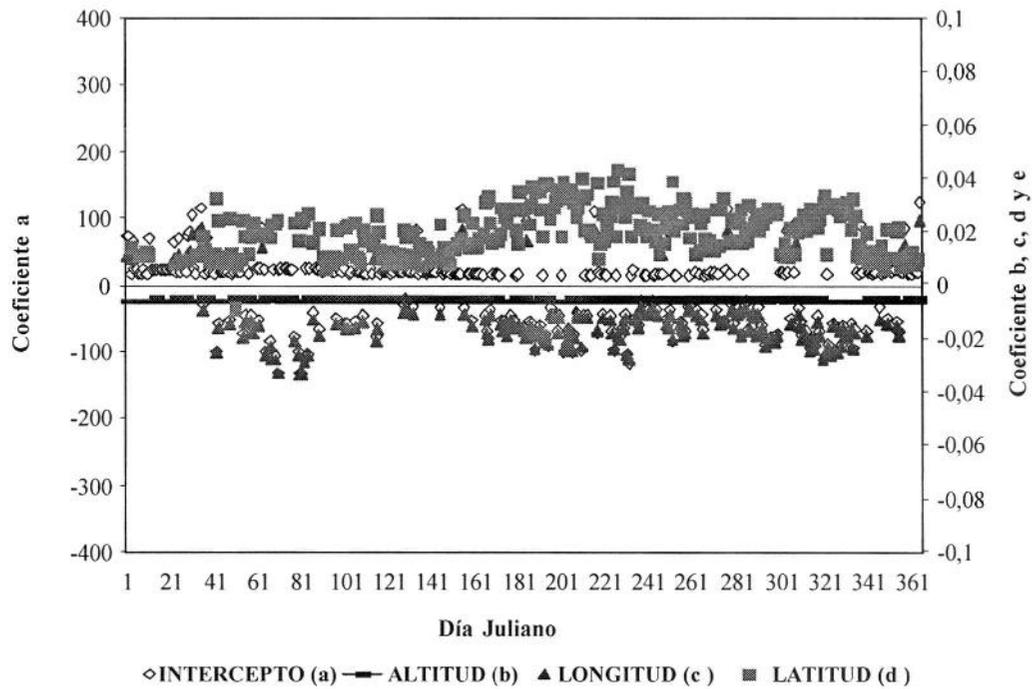


FIGURA 2. Coeficientes a (intercepto), b (altitud), c (longitud) y d (latitud) de las ecuaciones de estimación del promedio diario de la temperatura mínima, para los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela.

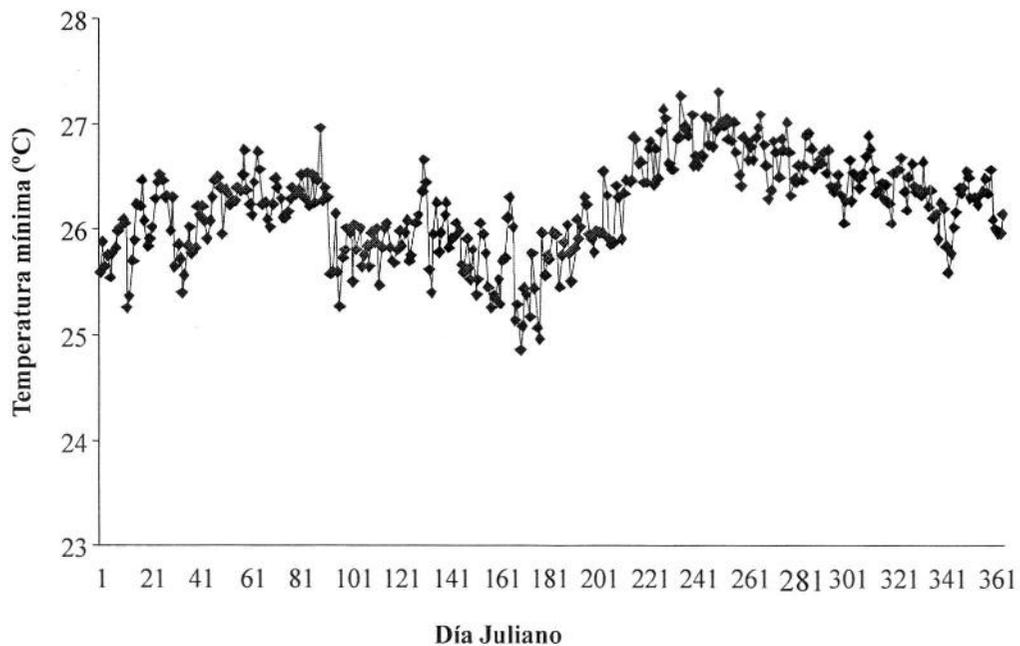


FIGURA 3. Promedio diario de la temperatura máxima considerando todas las estaciones de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela.

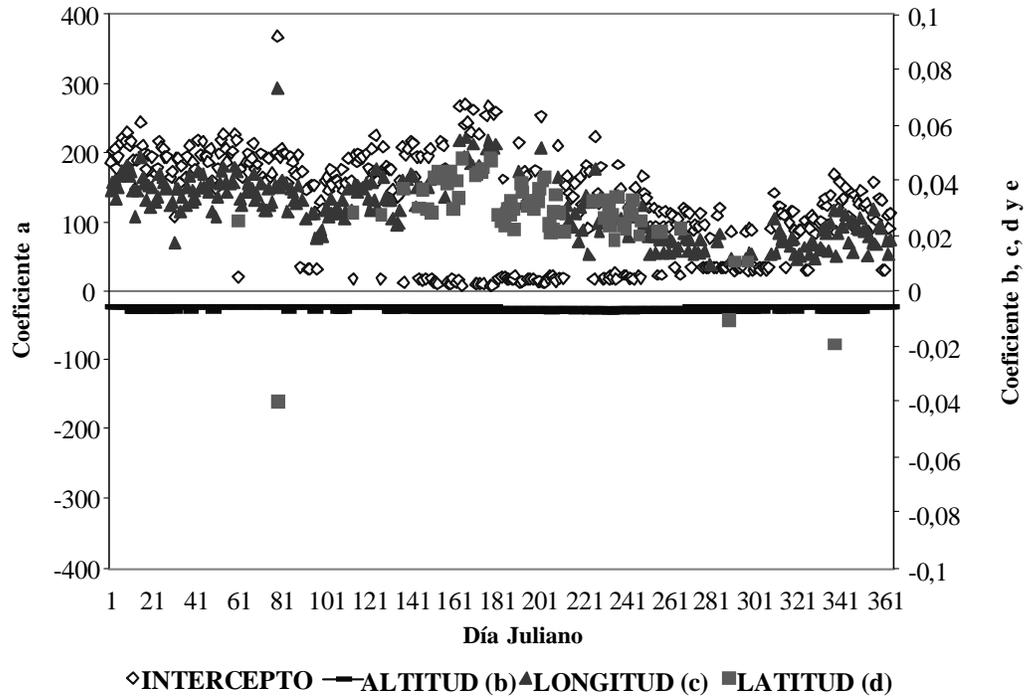


FIGURA 4. Coeficientes a (intercepto), b (altitud), c (longitud) y d (latitud) de las ecuaciones de estimación del promedio diario de la temperatura máxima, para los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela.

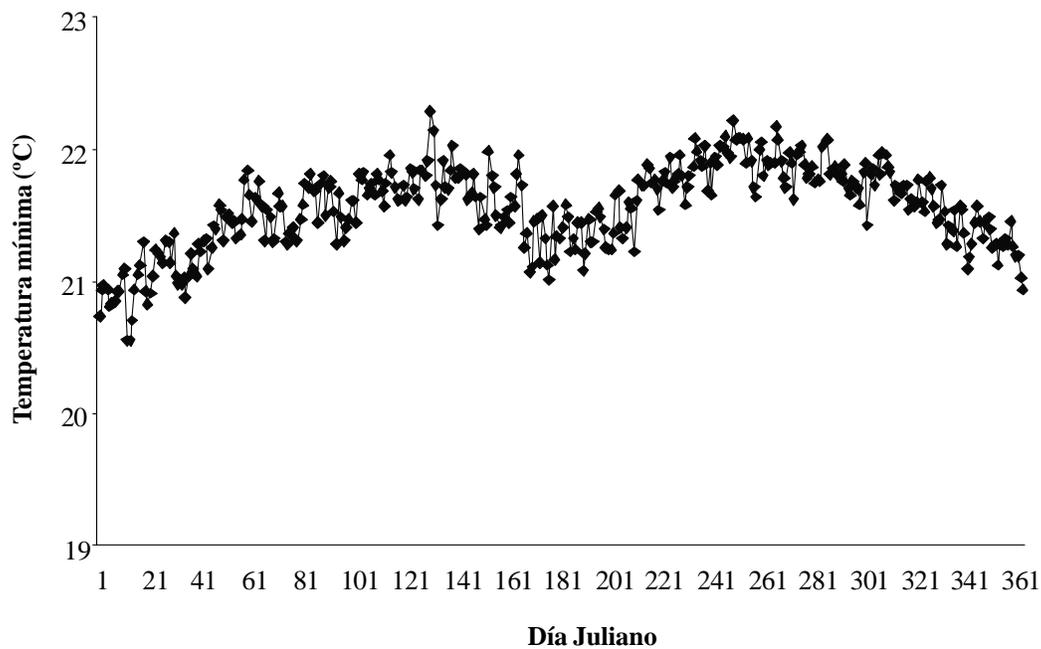


FIGURA 5. Promedio diario de la temperatura media considerando todas las estaciones de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela.

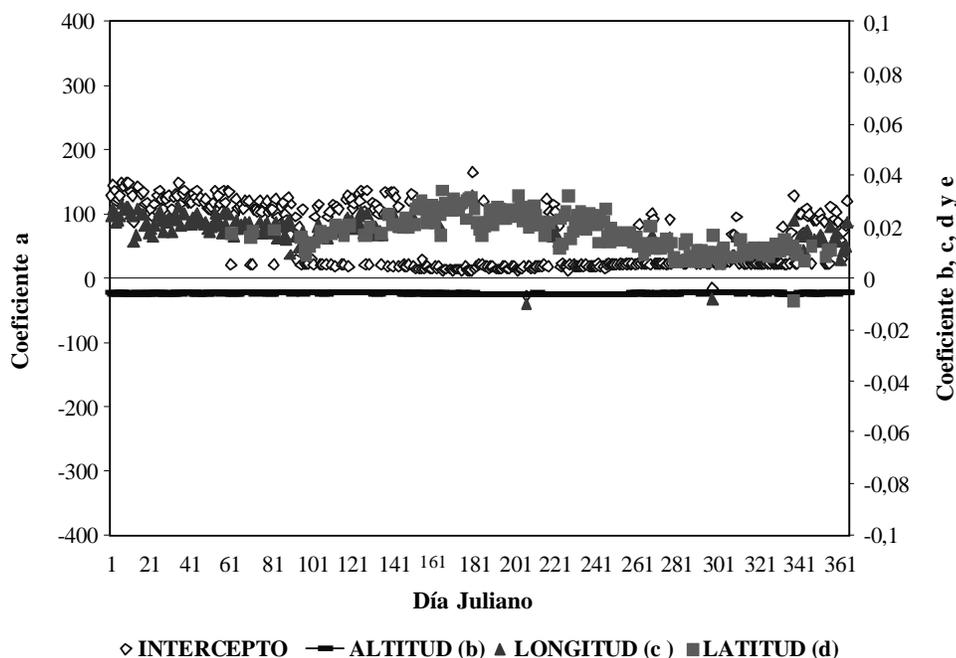


FIGURA 6. Coeficientes a (intercepto), b (altitud), c (longitud) y d (latitud) de las ecuaciones de estimación del promedio diario de la temperatura media, para los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela.

En la temperatura media no se observó influencia de la latitud durante los meses de diciembre a abril, período en el cual el sol se encuentra en su posición más al sur, por tanto el hemisferio norte se encuentra en el invierno astronómico, lo que significa una menor disponibilidad de energía. Lo contrario ocurre con las temperaturas máximas durante los meses de mayo a agosto, cuando el sol está más próximo del hemisferio norte, o sea, el verano astronómico, por tanto, se cuenta con mayor cantidad de energía disponible.

Se obtuvieron valores elevados del coeficiente de determinación (R^2) para las relaciones entre las temperaturas y las coordenadas geográficas, los cuales variaron de 0,90 a 0,99, para las temperaturas medias y mínimas, y de 0,69 a 0,96, para la máxima, los menores valores ocurrieron en el primer semestre.

Prueba y evaluación de los modelos de estimación de las temperaturas

Los modelos obtenidos fueron probados con los datos independientes de 5 estaciones, con altitudes entre 150 a 3 900 m.s.n.m. El análisis de regresión entre los valores observados y los estimados por los modelos indicaron, de un modo general, la existencia de una buena relación de proporcionalidad entre ellos, con R^2 variando de 0,95 a 0,98 y d entre 0,95 y 0,99.

No obstante, del excelente desempeño de los modelos indicados por los índices R^2 y d , se observó que tendieron a subestimar las temperaturas medias diarias para la localidad situada a 3 878 m.s.n.m. En el caso de las localidades situadas entre 200 y 1 500 m.s.n.m., las estimaciones estuvieron más próximas de la línea de valores (1:1), no se observó un buen desempeño para estimar la variabilidad de las temperaturas observadas, especialmente en el caso de la temperatura mínima (Figura 7). Esa misma tendencia fue observada para la temperatura máxima y media, más no de una forma tan evidente (Figuras 8 y 9).

A pesar de las subestimaciones observadas, los modelos presentaron un bajo nivel de error, evidenciados por el MSE que varió entre 1,53 y 1,82 °C. En la descomposición del MSE en los componentes sistemático (MSEs) y aleatorio (MSEa), se encontró que para las temperaturas mínima y máxima prevalece el componente aleatorio (80 y 70 % del MSE), indicando que los modelos pueden ser utilizados con un alto nivel de exactitud. En el caso de la temperatura media el RMSEa fue menor a los anteriores (54% del MSE), más sigue siendo superior al RMSEs, lo que sugiere que los modelos aún pueden ser utilizados, considerándose la posibilidad de minimizar ese error sistemático, con la finalidad de mejorar la capacidad predictiva del modelo (Cuadro3).

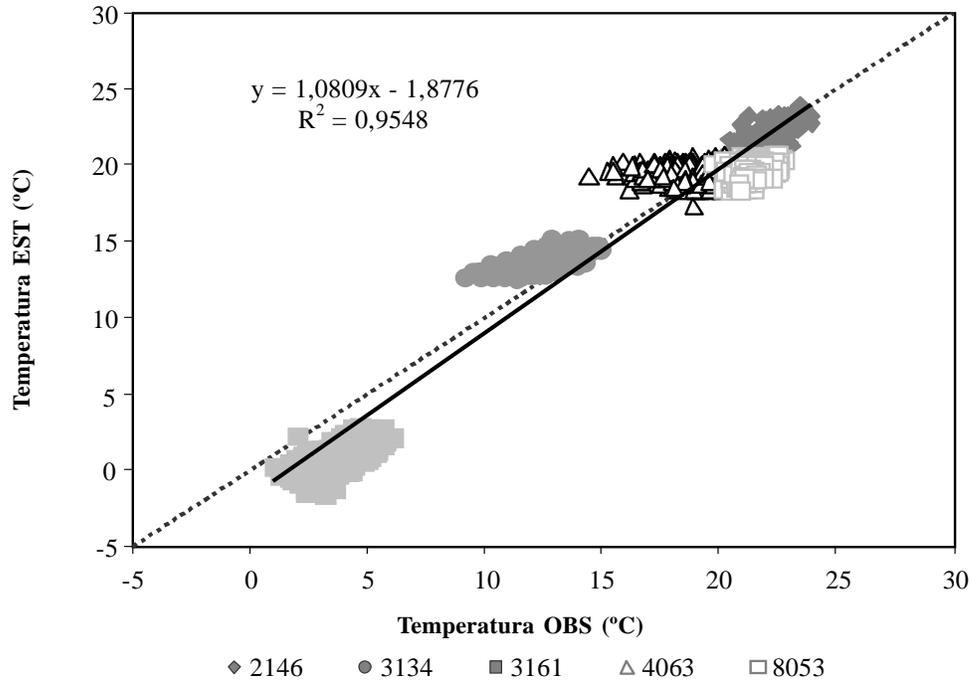


FIGURA 7. Relación entre el promedio diario de la temperatura mínima observada (TEMP OBS) y la estimada (TEMP EST) con los modelos de las coordenadas geográficas, considerándose cinco estaciones meteorológicas de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, en Venezuela.

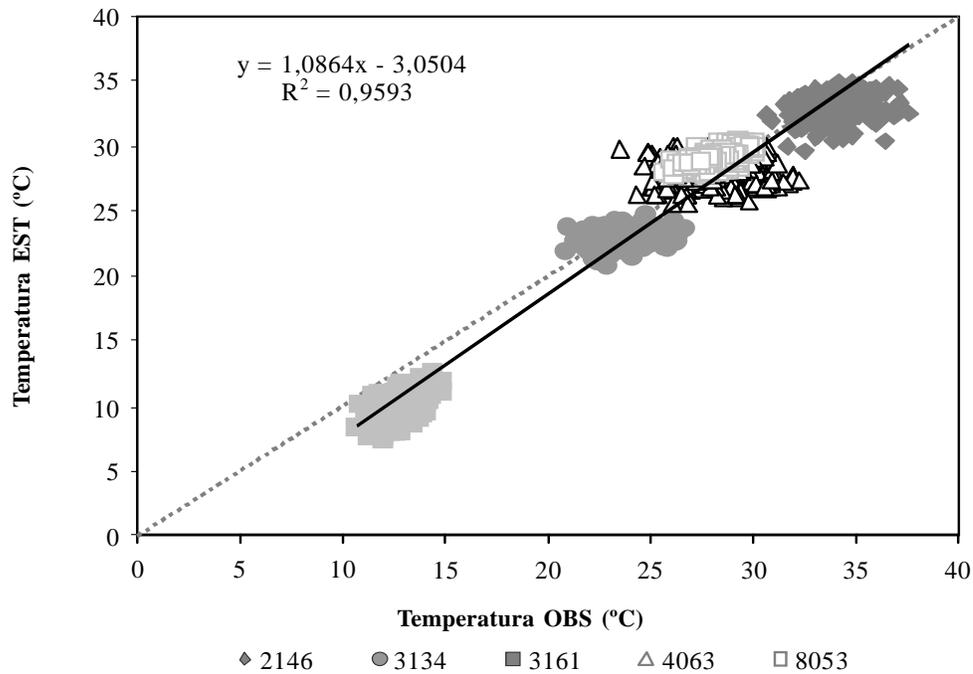


FIGURA 8. Relación entre el promedio diario de la temperatura máxima observada (TEMP OBS) y la estimada (TEMP EST) con los modelos de las coordenadas geográficas, considerándose cinco estaciones meteorológicas de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, en Venezuela.

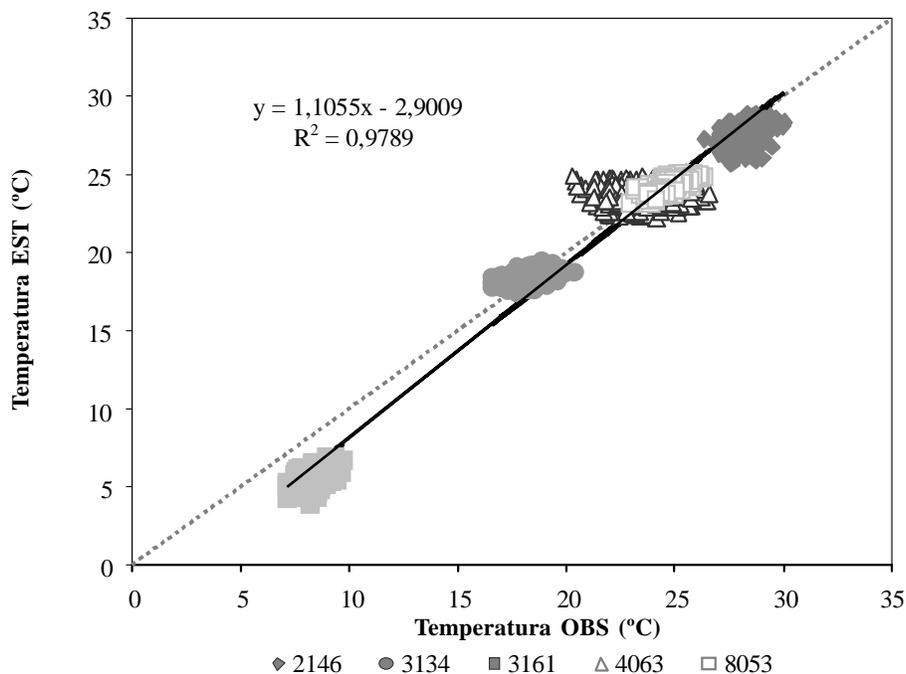


FIGURA 9. Relación entre el promedio diario de la temperatura media observada (TEMP OBS) y la estimada (TEMP EST) con los modelos de las coordenadas geográficas, considerándose cinco estaciones meteorológicas de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, en Venezuela.

El hecho de que las temperaturas mínimas observadas sean superiores a las estimadas, refleja el efecto de la alta nebulosidad existente en las estaciones localizadas sobre los 3 500 m.s.n.m., en la región andina, por tanto, se presume que en esas condiciones es el gradiente adiabático saturado que determina la disminución de la temperatura ($-4\text{ }^{\circ}\text{C}/1\ 000\text{ m}$), aproximadamente entre 1 y $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ menor que los coeficientes obtenidos para los modelos seleccionados. Por otro lado, la mayor disponibilidad de calor en las capas más próximas a la superficie

estarían influenciando las temperaturas en las estaciones situadas en altitudes menores, siendo el caso de la estación a 200 m.s.n.m.

El valor medio del RMSE de cada modelo diario, representado en las Figuras 10, 11 y 12, por la línea continua, presentó valores próximos a los mencionados por Magarey *et al.* (2001) como errores aceptables en la estimación de la temperatura diaria ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) para aplicaciones en el manejo de las enfermedades.

CUADRO 3. Índice de concordancia (d), Raíz del Error Cuadrado Medio (RMSE) y la relación entre los componentes aleatorio (MSEa) y sistemático (MSEs) y el Error Cuadrado Medio (MSE) de los modelos de coordenadas geográficas, considerándose cinco estaciones meteorológicas de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela.

	RMSE	d	RMSEs	RMSEa	MSEs/MSE	MSEa/MSE
TempMed	1,53	0,99	1,03	1,13	0,46	0,54
TempMáx	1,92	0,95	1,05	1,61	0,30	0,70
TempMín	1,82	0,95	0,82	1,63	0,20	0,80

TempMed = Temperatura media TempMax = Temperatura máxima TempMin = Temperatura mínima

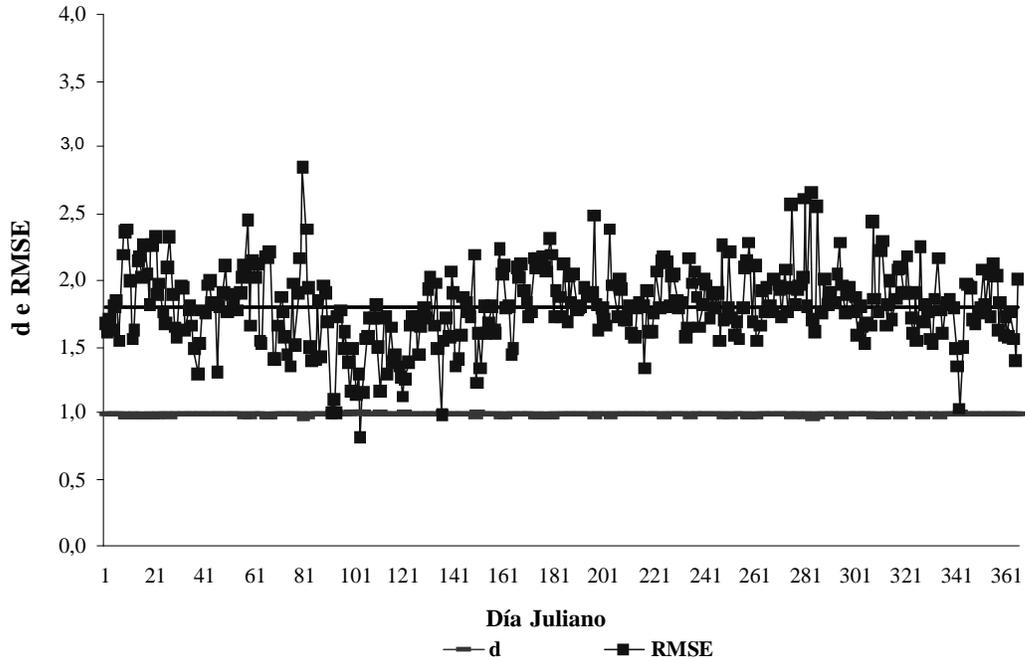


FIGURA 10. Índice de concordancia (d) y Raíz del Error Cuadrado Medio (RMSE) de las ecuaciones de estimativa del promedio diario de la temperatura mínima, de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela.

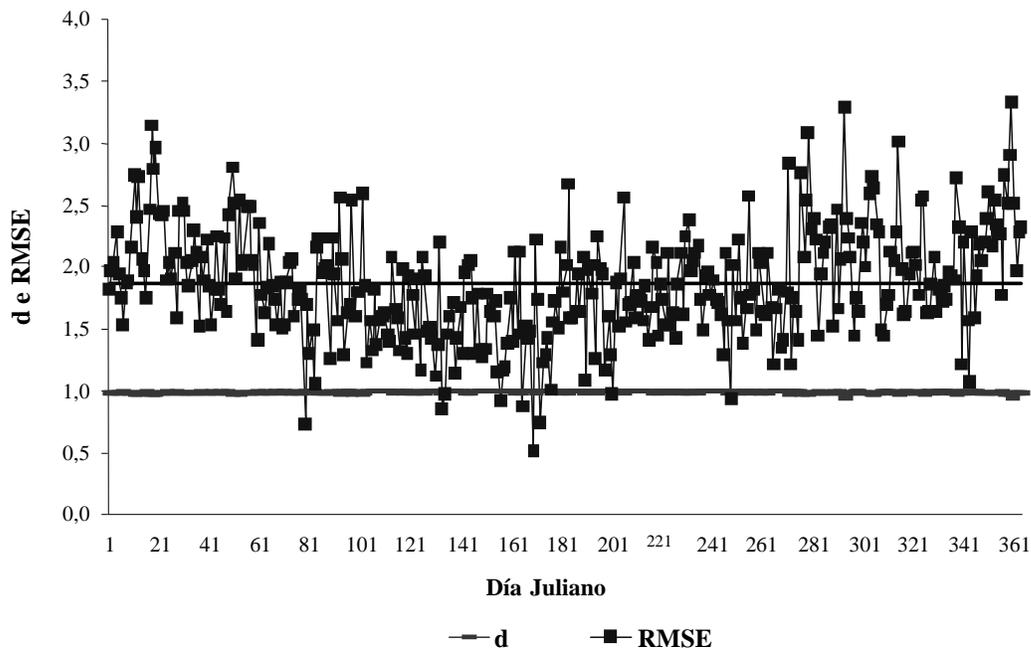


FIGURA 11. Índice de concordancia (d) y Raíz del Error Cuadrado Medio (RMSE) de las ecuaciones de estimativa del promedio diario de la temperatura máxima, de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela.

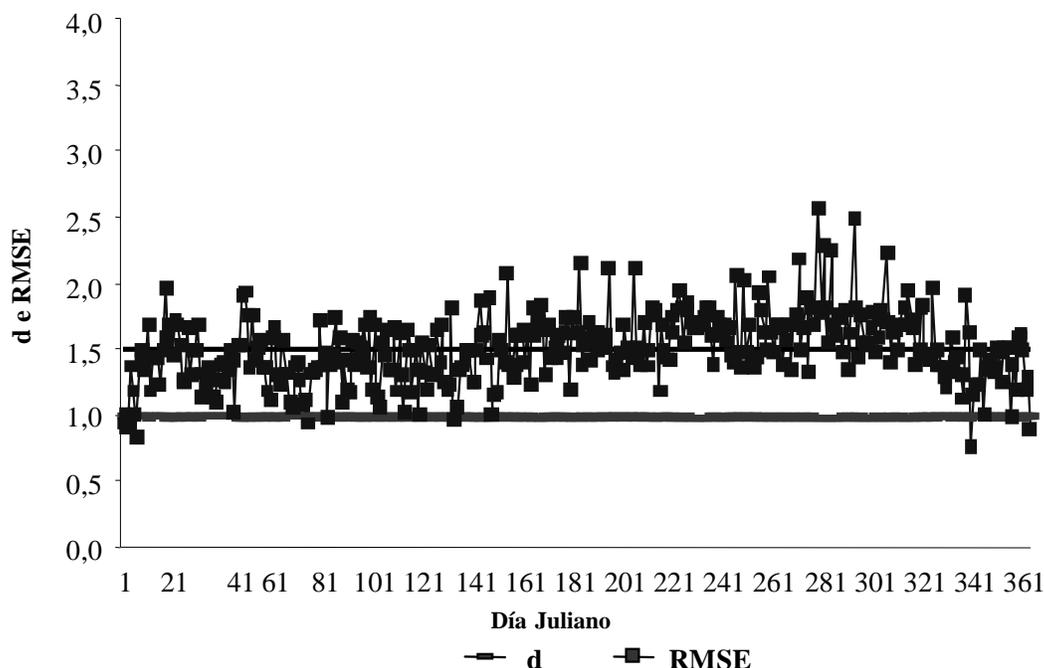


FIGURA 12. Índice de concordancia (d) y Raíz del Error Cuadrado Medio (RMSE) de las ecuaciones de estimativa del promedio diario de la temperatura media, de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, Venezuela.

La mayor variación a lo largo del año es observada para las temperaturas máximas en el período de marzo a noviembre, con valores inferiores a $1,87\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lo contrario ocurre en el resto del año. EL máximo error cometido en la estimación de las temperaturas máximas fue de $3,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el mínimo de $0,51\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 11).

En las temperaturas mínimas los RMSE de los modelos diarios son menores que el valor medio ($1,79\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante el período en que ocurren las temperaturas mínimas más elevadas (abril – junio), y se mantuvieron próximos al valor medio del RMSE en el resto del año (Figura 1 y 10).

Los menores valores del RMSE se observaron en las temperaturas medias, los cuales variaron entre $0,76\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $2,57\text{ }^{\circ}\text{C}$, con menor oscilación que en las temperaturas mínimas y máximas, siendo el valor medio del RMSE igual a $1,50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 12).

Los valores de RMSE para los modelos diarios de estimación de las temperaturas mínima, máxima y media, permiten inferir que los modelos determinados pueden ser aplicados sin otros ajustes, obteniendo estimados con una elevada exactitud.

Los valores del índice d mostraron que existe una perfecta concordancia entre las temperaturas estimadas

por los modelos y las observadas, dado que sus valores variaron de 0,98 a 1,00 (Figuras 10, 11 y 12) indicando que los estimados de los modelos están libres de errores significativos.

En función de los valores elevados de los coeficientes de correlación y determinación, así como el excelente desempeño de los índices d y RMSE, los modelos determinados permitirán estimar las temperaturas promedio diaria de las mínimas, máximas y media de la región Andina de Venezuela, con un mínimo de error.

CONCLUSIONES

- La regresión lineal múltiple es una técnica adecuada para la determinación de modelos de estimación de los promedios diarios de las temperaturas mínimas, máximas y medias en regiones montañosas, con elevada precisión y exactitud, además de lo práctico de su aplicación.
- Los modelos diarios determinados permiten estimar los promedios diarios de las temperaturas mínimas, máximas y medias de los estados Táchira, Mérida y Trujillo, de la región andina de Venezuela, con un mínimo grado de error.

BIBLIOGRAFÍA

- Coelho, D, G. Sedyama e M. Vieira, 1973. Estimativa das temperaturas medias mensais y anais no estado de Minas Gerais. *Revista Ceres*, 20(112):455-459.
- Feitoza, M., J. A. Scárdua, G. Sedyama e S. S. Valle. 1980. Estimativa das medias das temperaturas mínimas mensais y anais del estado del Espírito Santo. *Revista Centro Ciências Rurais*, 10(1):15-24.
- Ferreira, M., G. A. Buriol e I. A. Pignatano. 1974. Estimativa das temperaturas medias mensais e anais del estado de Santa Catarina. *Revista Centro Ciências Rurais*, 4(1):19-38.
- Garabatos, M. 1990. *Temas de Agrometeorología: Naturaleza de la Agrometeorología*, Unidad de Agrometeorología. Buenos Aires: CPIA/OGE.
- Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. Tradução de C.H. Prado y A.C. Franco. São Carlos: RIMA.
- Lookingbill, T. R. and D. L. Urban. 2003. Spatial estimation of air temperature differences for Landscape-scale studies in mountain environments. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, 114:141-151.
- Magarey, R., R. C. Seem, J. M. Russo, J. W. Zack, K. T. Waight, J. W. Travis and P. V. Oudemans. 2001. Site-specific wheatear information without on-site sensors. *Plant disease*, New York, 85(12):1.216-1.226.
- Pascale, A. L. y E. A. Damario. 2004. *Bioclimatología agrícola y agroclimatología*. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.
- Pedro Jr, M. J., M. H. A. Mello, A. A. Ortolani, R. R. Alfonsi e P. C. Sentelhas 1991. Estimativa das temperaturas medias mensais das máximas y das mínimas no estado de São Paulo. Campinas: Inst. Agronômico de Campinas. 11 p. *Boletim Técnico*, 142.
- Pereira, A. R., L. R. Angelocci e P. C. Sentelhas. 2002. *Agrometeorologia: fundamentos y aplicações práticas*. Piracicaba: Editora Agropecuária.
- Price, D. T, D. W. Mckenney, I. A. Naider, M. F. Hutchinson and J. L. Kesteven. 2000. A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. *Agricultural and Forest Meteorology*, *Ámsterdam*, 101: 81-9.
- Rondon, F. 1986. Estimación de temperatura media mensual y anual para zonas sin información climatológica - aplicación al cálculo de evaporación y evapotranspiración potencial. *Oriente Agropecuario*, Jusepín, 13(1/2):112.
- Solórzano, G. y G. Lacruz. 1994. Delimitación de áreas homoclimáticas de precipitación y temperatura en el Estado Mérida, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*, Caracas, 45, (suppl. 1):44.
- Willmott, C. J. 1981. On the validation of models. *Physical Geography*, Norwich, 2(2):184-194.
- Zacharias, S., C. D. Heatwole and C. W. Coakley. 1996. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. *Transactions of the ASAE*. 39(1):47-54.

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE DOS SUELOS SUBIRRIGADOS CULTIVADOS CON PALMA ACEITERA EN EL ESTADO MONAGAS, VENEZUELA¹

HYDRAULIC PROPERTIES OF TWO SUBIRRIGATED SOILS CULTIVATED WITH OIL PALM IN MONAGAS STATE, VENEZUELA¹

Renny Barrios M.* y Adriana Florentino**

¹ Trabajo financiado por el Fondo para la Investigación en Palma Aceitera (Foninpal) y a la empresa Palmas de Monagas C. A.

* Investigador. INIA Monagas. San Agustín de la Pica, Vía Laguna Grande, Apdo. 184, Maturín, estado Monagas. Venezuela.

E-mail: rbarrios@inia.gov.ve

** Profesora. FAGRO-UCV. Universidad Central de Venezuela. Vía El Limón. Apdo. 4579, Maracay, estado Aragua. Venezuela.

RESUMEN

En un ensayo conducido en el estado Monagas se evaluaron las propiedades hidráulicas de dos suelos representativos de las plantaciones comerciales de palma aceitera, *Elaeis guineensis* Jacq., a fin de inferir acerca del comportamiento de un sistema de subirrigación sobre el cultivo. Para el muestreo se trazaron 5 transectas en las cuales se seleccionaron 102 puntos en el Ultisol (*Typic Plinthudults*) y 92 puntos en el Vertisol (*Entic Pelluderts*). Las propiedades hidráulicas fueron evaluadas en cuatro estratos. Las variables evaluadas fueron: conductividad hidráulica saturada (Ks), densidad aparente (Da), distribución de tamaño de partículas, porosidad total, macroporosidad e infiltración. Los resultados evidenciaron la presencia de horizontes compactados a partir de los 25 cm de profundidad, que se reflejaron en una reducción de Ks acompañada de incrementos en la Da y reducciones en la porosidad total y en la macroporosidad. En el Ultisol la infiltración básica fue inferior a Ks, mientras que en el Vertisol el comportamiento fue inverso debido al flujo interagregados. En el Ultisol, la curva de retención de humedad se caracterizó por un descenso drástico del contenido de humedad a tensiones comprendidas entre -10 y -300 kPa y muy pocos cambios a partir de éste punto, mientras que en el Vertisol se produjo un cambio importante en el agua retenida con tensiones entre -300 y -1500 kPa. El estrato superficial fue el que presentó el mejor comportamiento hidráulico por lo que se descartó el sistema de subirrigación como alternativa de riego.

Palabras Clave: Compactación; *Elaeis guineensis*; Ks; Ultisol; Vertisol.

SUMMARY

In an essay carried out in Monagas State the hydraulic properties of two representative soils of the commercial plantations of palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) were evaluated in order to infer about the behavior of a subirrigation system. For the sampling 102 points were selected in the Ultisol (*Typic Plinthudults*) and 92 points in the Vertisol (*Entic Pelluderts*) over five transects. The hydraulic properties were evaluated in four strata. The evaluated variables were: saturated hydraulic conductivity (Ks), dry bulk density, particle-size distribution, total porosity, macroporosity and infiltration. The results evidenced the presence of horizons compacted starting from the 25 cm of depth that are reflected in a reduction of Ks accompanied by increments in the bulk density and reductions in total porosity and macroporosity. In Ultisol the steady infiltration was less than Ks, while in Vertisol the behavior was inverse due to the flow interagregates. For Ultisol the curve of retention of humidity was characterized by a drastic descent of the content of humidity between -10 and -300 kPa of tension, with very few changes starting from this point in the Ultisol, while in the Vertisol an important change in the water retained with tensions between -300 and -1500 kPa was obtained. The superficial stratum presented the best hydraulic behavior so that the subirrigation system was discarded as an alternative of irrigation on palm oil.

Key Words: Compaction; *Elaeis guineensis*; Ks; Ultisol; Vertisol.

RECIBIDO: octubre 10, 2006

ACEPTADO: febrero 02, 2007

INTRODUCCIÓN

El manejo eficiente de la nutrición hídrica para la producción requiere de un control estricto del contenido de humedad en el suelo en función de la demanda del cultivo, lo cual depende de los factores ambientales y de la capacidad del suelo para suministrar agua desde el área insaturada, a fin de garantizar la fluctuación del contenido de humedad en el suelo dentro de un rango aceptable de valores, debido a que un valor demasiado bajo no permitirá que las demandas de la planta sean cubiertas por el ascenso capilar, mientras que un valor demasiado alto excluirá el aire del área radical.

Los requerimientos edafoclimáticos de la palma aceitera, *Elaeis guineensis* Jacq., generalmente conducen a la selección de áreas localizadas dentro del bosque húmedo tropical, caracterizado por alta pluviometría, generalmente con picos de precipitación que conducen a excesos de agua en los horizontes superficiales que requieren ser evacuados para evitar problemas en el cultivo.

Debido al patrón unimodal de distribución de las precipitaciones que caracteriza a la región tropical, las zonas productoras de palma aceitera de Venezuela cuentan con excesos de agua superficiales en algunas épocas del año y con déficits hídricos marcados en otras épocas, lo cual obliga a la realización de prácticas de riego y drenaje para lograr un desarrollo adecuado del cultivo.

En el estado Monagas, la precipitación anual se concentra en un período de 7 a 8 meses, produciéndose un período seco de 4 meses con precipitaciones inferiores a los 50 mm mensuales, provocando un déficit hídrico anual de 450 mm, lo cual conduce a la obtención de bajos rendimientos y a la fluctuación de la producción durante el año, concentrándose la mayor parte de la producción en períodos cortos de tiempo.

El conocimiento de las propiedades hidráulicas de los suelos es una premisa para la cuantificación del balance hídrico y de las características de flujo de agua en los suelos y permite el desarrollo de alternativas para el manejo agronómico del cultivo y para el establecimiento de criterios de diseño para el desarrollo de sistemas de riego y/o drenaje en las plantaciones de palma aceitera de la región; sin embargo, los perfiles de suelos frecuentemente exhiben diferencias tanto en el sentido vertical como en el sentido horizontal, es decir, presentan cierto grado de anisotropía, lo cual se manifiesta como diferencias en la permeabilidad entre la superficie y la subsuperficie. Los mayores cambios en las propiedades

hidráulicas ocurren en los límites donde se presentan discontinuidades físicas, tales como límites de horizontes pedogenéticos contrastantes o capas compactadas derivadas del mal manejo de los suelos.

En función de la distribución radicular del cultivo y de la profundidad efectiva, los suelos involucrados en un sistema de riego subsuperficial deben reunir las siguientes características: Permitir un rápido movimiento lateral y vertical del agua, aún cuando el suelo esté húmedo; presentar un estrato subsuperficial, por debajo del fondo del canal de riego, que restrinja drásticamente el movimiento vertical descendente del agua; facilitar el movimiento lateral y ascendente del agua en los estratos suprayacentes al horizonte considerado impermeable; y presentar pendientes suaves, uniformes y paralelas a la mesa de agua (FAO, 1988).

Con el estudio se pretende caracterizar las propiedades hidráulicas de los cuatro estratos superiores de dos suelos representativos de las plantaciones comerciales de palma aceitera del estado Monagas a fin de inferir acerca del comportamiento de un sistema de subirrigación en el suministro de agua al cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área experimental

El ensayo se condujo en las plantaciones comerciales de palma aceitera de la empresa Palmas de Monagas C.A. (PALMONAGAS, C.A.), ubicadas en el Asentamiento Campesino "El Zamuro", municipio autónomo Maturín del estado Monagas. En esta región el clima está clasificado como Bosque Húmedo Tropical, con temperatura media anual de 27,3° C, precipitación de 1291 mm como promedio anual; humedad relativa superior al 80% durante todo el año y la altitud se encuentra entre los 30 y 40 m (MARNR, 1997). Los suelos donde se llevó a cabo el ensayo fueron seleccionados por su representatividad de las plantaciones comerciales del estado Monagas. Están ubicados dentro del paisaje de terrazas aluviales del río Punceres y clasificados como *Typic Plinthudults* (Francosa fina, mixta, isohipertérmica) y como *Entic Pelluderts* (Arcillosa fina, mixta, isohipertérmica) según lo expresa Pérez (1987).

Esquema de muestreo

Para efectuar el muestreo se seleccionó una superficie de 1,5 ha en cada suelo y se trazaron 5 transectas de 125 m cada una, paralelas entre sí con una separación de 23 m

donde se realizaron muestreos a intervalos de distancia que variaron entre 2 y 12 m. Dicho muestreo generó un total de 102 puntos para el caso del Ultisol y 92 puntos de muestreo para el caso del Vertisol.

Determinación de las propiedades físicas

En cada uno de los puntos de muestreo se evaluó la conductividad hidráulica saturada a través del método del pozo barrenado invertido (Van Beers, 1976) en cuatro profundidades diferentes: desde la superficie hasta 25 cm; desde la superficie hasta 50 cm; desde la superficie hasta la profundidad del estrato plintítico (65 cm, aproximadamente) y desde la superficie hasta 100 cm para el Ultisol; en el caso del Vertisol se consideraron las profundidades: 0 a 25 cm, 0 a 50 cm, 0 a 75 cm y 0 a 100 cm. Posteriormente se recolectaron muestras no disturbadas a través del barreno tipo Uhland, con cilindros de aproximadamente 100 cm³ de volumen, removiéndose los estratos para obtener muestras representativas de las profundidades de 0 a 25 cm; de 25 a 50 cm; de 50 a 75 cm y de 75 a 100 cm; procediéndose luego a la determinación de la densidad aparente (Da) sobre muestras saturadas, según metodología descrita por Blake y Hartge (1965), porosidad total (Pt) y macroporosidad (Ma; poros con diámetro mayor a 30 mm) aplicando el método descrito por Pla (1983).

El 50% de las muestras recolectadas se utilizaron para determinar la distribución de tamaño de partículas a través del método de Bouyoucus modificado (Day, 1965) analizándose puntos ubicados a distancias de 10 m en las transectas y considerando todos los estratos evaluados. A estas muestras también se les determinó la curva característica de retención de humedad a tensiones de -10, -33, -100, -300 -500 y -1 500 KPa, aplicando la metodología descrita por Pla (1983). Por otro lado, se procedió a evaluar la infiltración con cilindros en campo, utilizando cilindros de infiltración concéntricos (40 cm alto x 30 cm de diámetro para el cilindro interno y 40 cm alto x 40 cm de diámetro para el cilindro externo); las pruebas se efectuaron en 36 puntos, distribuidos en toda el área de estudio y a lo largo de las 5 transectas mencionadas.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis exploratorio, el cual se realizó a través del programa GeoEAS (Englund y Sparks, 1988) y del programa SAEG (Euclides, 1983). Este análisis permitió la comparación del comportamiento de las variables físicas evaluadas entre los dos suelos y entre los diferentes estratos

de cada suelo evaluado, originando curvas de variación en función de la profundidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis del comportamiento de las variables, tanto en el Ultisol como en el Vertisol, mostró valores normales en el estrato superficial de acuerdo a su clase textural (Florentino, 1996), pero también reveló la presencia de horizontes compactados a partir de los 25 cm de profundidad.

En el Ultisol se observó que la Da presentó un valor medio de 1,54 Mg/m³ en el estrato de 0 a 25 cm, valor que aumentó a 1,59 Mg/m³ a partir de los 25 cm y luego se mantuvo prácticamente constante; la Pt se mantuvo prácticamente constante a través del perfil, mientras que la Ma disminuyó de 9,4% en la superficie a 6,5% entre 75 y 100 cm de profundidad (Figura 1A); sin embargo, es importante destacar que a partir de los 25 cm existe un incremento en el contenido de arcilla (pasando de 12,7% en el estrato superficial a 29,5% entre 75 y 100 cm) y una reducción en el contenido de arena, y existe suficiente documentación que asegura que esta situación debería reflejarse en una disminución de los valores de Da y en incrementos en la Pt (Ahuja *et al.*, 1985; Bathke y Cassel, 1991; Horn *et al.*, 1995; Florentino, 1996; Seguel, 2005).

El comportamiento de las variables en el Vertisol mostró algunas similitudes con el Ultisol, ya que se obtuvo incremento en los valores de Da a través del perfil, la cual varió desde 1,35 Mg/m³ en la superficie a 1,49 Mg/m³ a los 75 cm de profundidad; la Pt disminuyó de 44,7% a 40,5% y la Ma de 5,1% a 3,1% (Figura 1B).

La presencia de capas compactadas ha sido señalada en diferentes plantaciones de palma aceitera como consecuencia del uso permanente de maquinaria agrícola y de animales de tiro dentro de los lotes (Dufour y Olivin, 1985; Caliman *et al.*, 1987; 1990).

El origen de las capas compactadas en estos suelos está asociado al paso excesivo de maquinarias durante el proceso de deforestación, apilamiento de los troncos y extracción de las raíces del suelo; al uso de maquinarias (rotativas) para el control de malezas en etapas jóvenes del cultivo y el paso de carretas y animales de tiro para la cosecha en plantaciones adultas, sobre todo cuando esto fue realizado a contenidos elevados de humedad, donde el suelo muestra gran susceptibilidad a la compactación.

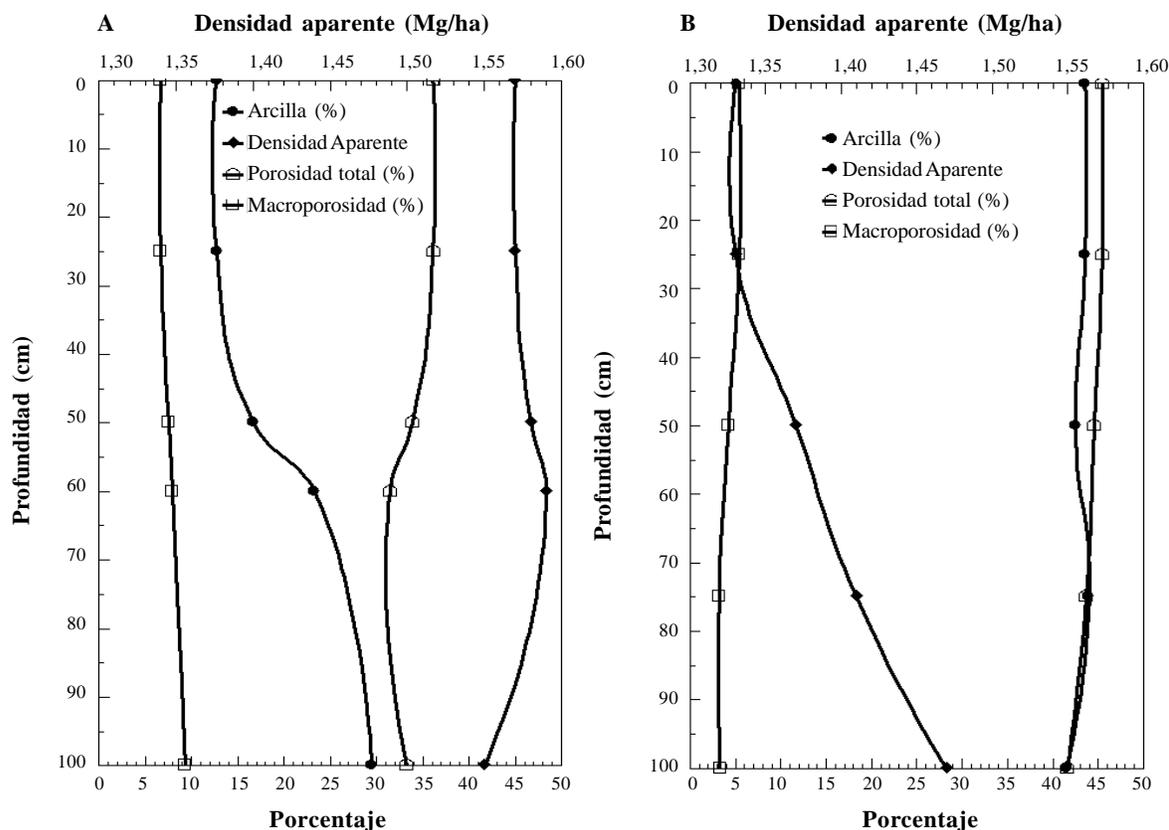


FIGURA 1. Comportamiento de la densidad aparente, la porosidad total, la macroporosidad y el porcentaje de arcilla en un Ultisol (A) y un Vertisol (B) cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela.

Trabajos de Barrios y Florentino (2001) demostraron que estos suelos presentan limitaciones importantes para conducir el agua, tanto en el sentido horizontal como en el vertical ascendente, descartando el sistema de subirrigación como un método efectivo para el suministro de agua en plantaciones de palma aceitera del estado Monagas.

Conductividad hidráulica saturada (Ks) e infiltración

El comportamiento de Ks ratificó la presencia de un horizonte compactado a partir de los 25 cm de profundidad, a través de la reducción del valor promedio de Ks a la profundidad de 0 a 50 cm en relación a la profundidad de 0 a 25 cm. En el Cuadro se muestra el comportamiento de Ks y de la infiltración a medida que se profundiza en el perfil de los suelos estudiados.

Tomando en consideración la afirmación realizada por Oosterbaan y Nijland (1994) acerca de que para el flujo

horizontal el valor de Ks es determinado por el estrato que tiene mayor conductividad hidráulica, se puede inferir que a la profundidad de 0 a 50 cm, para ambos suelos, el mayor aporte al valor promedio de Ks en el perfil es realizado por el estrato de 0 a 25 cm, y que la inclusión del estrato de 25 a 50 cm en la prueba genera una reducción de la velocidad de flujo por unidad de superficie.

En el caso del Ultisol, la inclusión de estratos más profundos en la prueba de Ks produjo un aumento en el promedio, lo cual evidenció mejor comportamiento hidráulico de estos, pasando a ser determinantes en la Ks horizontal del perfil; mientras que en el Vertisol, se observó una disminución continua en los valores de Ks en la medida que se profundizó en el perfil, lo cual indica que el estrato que gobierna el flujo horizontal de agua es el superficial y que los estratos por debajo de 25 cm hacen poco o ningún aporte a la conductividad hidráulica general.

CUADRO. Estadísticos para infiltración básica (mm/h), infiltración acumulada (mm) y conductividad hidráulica (mm/h), en dos suelos irrigados cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela.

Variable	Estadístico	Ultisol			Vertisol		
		Media	Coef. de Variación	Desviación Estándar	Media	Coef. de Variación	Desviación Estándar
Infiltración Básica		5,37	25,7	0,136	20,1	28,7	0,570
Infiltración Acumulada		82,4	24,2	1,964	303	27,9	8,329
Ks 0-25 cm		7,42	65,7	9,92	7,31	120,0	8,73
Ks 0-50 cm		7,11	74,9	5,53	5,50	101,5	5,55
Ks 0-75 cm		8,61	68,0	7,28	4,84	90,6	4,36
Ks 0-100 cm		10,5	82,0	8,60	4,54	85,6	3,86

Probablemente esta condición sea la consecuencia del continuo proceso de secado y humedecimiento (del perfil del suelo) que origina la formación de grietas, trayendo consigo cambios en la Da y en la distribución y arreglo de los poros; y prevalece en los estratos subsuperficiales debido a que no existe un proceso completo de secamiento que produzca la formación de una grieta amplia y profunda.

Las evidencias de compactación descritas para cada uno de los estratos de los suelos evaluados guarda concordancia con la afirmación realizada por Horn *et al.* (1995), quienes efectuaron una clasificación de susceptibilidad de los suelos a las presiones externas en función de la distribución de tamaño de partículas, destacando que suelos derivados de limos con bajo contenido de coloides, suelos francos con texturas finas y media (caso del Ultisol) y los suelos arcillosos (caso Vertisol) son altamente susceptibles a la compactación severa cuando presentan contenidos de humedad altos, condición frecuente en las plantaciones, ya que la cosecha se realiza durante todo el año utilizando carretas y animales de tiro durante el proceso. Por su parte, Soracco (2005) destaca que los diferentes usos del suelo pueden modificar las propiedades hidráulicas del suelo, siendo de importancia modificaciones derivadas de la pérdida de volumen de poros como consecuencia de la compactación.

Es importante destacar los elevados coeficientes de variación que mostró la variable Ks, con valores que variaron desde 65% hasta 82% en el Ultisol y desde

85% hasta 120% en el Vertisol. La mayor variabilidad observada en este último suelo se atribuyó a la presencia de grietas, a través de las cuales se produjo un flujo preferencial.

Cerana *et al.* (2005) señala grandes dificultades para obtener valores confiables de Ks en suelos Vertisoles, expansivos y que se agrietan al secarse. White (1985) destaca que la presencia de macroporos es de importancia primordial para el movimiento de agua en suelos arcillosos con agregados y/o cuerpos planares (grietas), y según estudios realizados por Lauren *et al.* (1988), el flujo de agua en los poros interagregados presenta una mayor variabilidad que el flujo intra-agregados.

Los coeficientes de variación obtenidos para Ks fueron similares a los registrados por Nielson *et al.* (1973) y por Polo *et al.* (2003), y se consideran bajos en comparación con los presentados por Anderson y Casel (1986), quienes encontraron coeficientes de variación entre 130 y 3300% para un Ultisol franco arenoso considerado homogéneo. Por otro lado, Davenport (1986) mostró rangos de Ks entre 0,12 y 48,6 m/d en un campo de 7,4 ha. mientras que Tabrizi y Skaggs (1983) encontraron valores que oscilaban entre 0,54 a 10,8 m/d en un campo de 5 ha de un Ultisol franco arenoso. Esta alta variabilidad ha sido atribuida tanto a la textura y estructura, como a la presencia de raíces o grietas, la distribución de los macroporos y a la conformación de los horizontes en el perfil.

Varios estudios sugieren que los datos de infiltración pueden ser aproximados a la K_s (Philip, 1957; 1969; Dunin, 1976; Gish y Starr, 1983; Maller y Sharma, 1984; Ruiz *et al.*, 2003), a través de la aproximación de ésta a la tasa de infiltración básica, ya que generalmente se asume que el gradiente hidráulico en la zona de transmisión de agua se aproxima a la unidad (1) de forma asintótica y al final la tasa de infiltración iguala a la K_s ; sin embargo, al comparar los valores medios de infiltración básica y K_s , se encontró que estos son marcadamente disímiles dentro de cada suelo. Para el Ultisol se obtuvo un valor de infiltración básica de 5,34 mm/h, mientras que la K_s osciló entre 7,11 y 10,54 mm/h para las 4 profundidades evaluadas. Para el Vertisol la infiltración básica alcanzó un valor promedio de 20,1 mm/h, mientras que K_s varió entre 4,54 y 7,31 mm/h en las diferentes profundidades.

Retención de humedad

Se obtuvieron diferencias marcadas entre los valores de retención de humedad de los suelos estudiados, al ser sometidos a una misma tensión, donde los valores de retención de humedad para el Vertisol son notablemente superiores a los del Ultisol, lo cual se atribuye a las diferencias en la distribución de tamaño de partículas que existe entre ambos suelos.

En el Ultisol (Figura 2a) se evidenció la tendencia a retener mayor cantidad de agua a medida que se profundiza en el perfil, lo cual es el resultado del incremento en el contenido de arcilla con la profundidad. En lo que respecta al Vertisol (Figura 2b), el comportamiento de la retención de humedad en el perfil es prácticamente similar, a excepción del estrato de 75 a 100 cm, el cual presenta niveles de retención de humedad ligeramente más bajos, lo que pudiera ser consecuencia del ligero incremento en el contenido de arena a medida que se profundiza en el perfil.

El comportamiento general de estas curvas se caracterizó por una reducción del contenido de humedad retenida por el suelo a medida que disminuye el potencial mátrico. Para el Ultisol se produjo un descenso drástico del contenido de humedad los valores de tensión de -10 a -300 KPa, intervalo en el cual se concentra cerca del 80% del agua retenida, con muy pocos cambios a partir de ésta última tensión, y se consideró prácticamente constante a partir de -500 KPa. En el caso del Vertisol también hubo un descenso al inicio de la curva, pero no tan marcado como en el caso anterior, ya que en este intervalo se concentró menos del 65% del agua retenida, y se observó un cambio importante en la curva entre los -300 y -1500 KPa, lo cual significa, desde el punto de vista práctico, mejor capacidad para suplir agua durante períodos de tiempo relativamente largos.

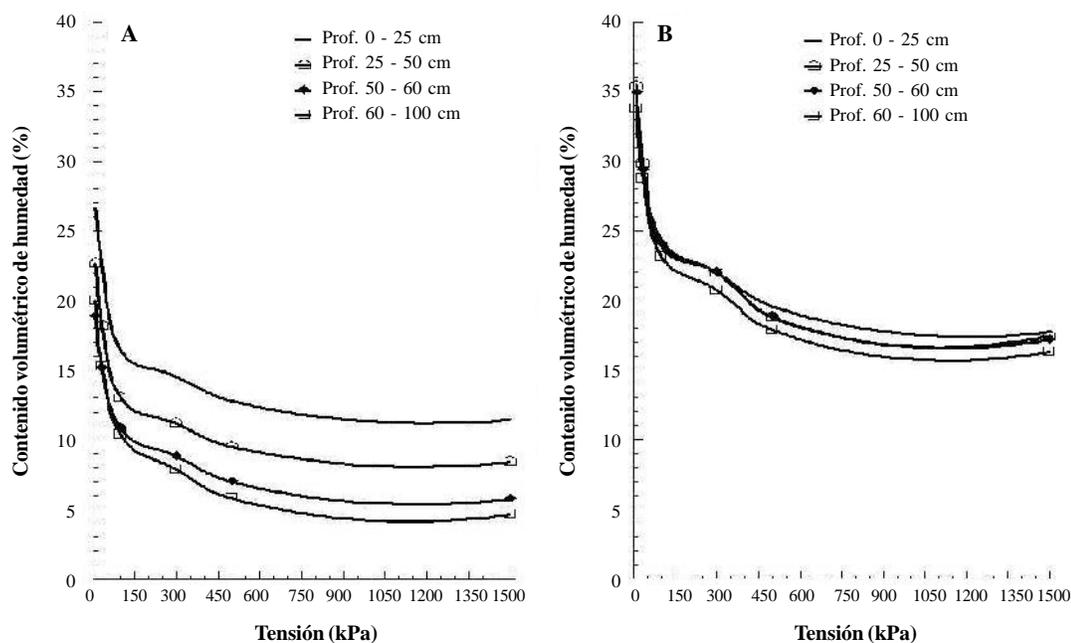


FIGURA 2. Comportamiento de la retención de humedad en un Ultisol (A) y en un Vertisol (B) cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela.

CONCLUSIONES

- Las condiciones de manejo de los suelos estudiados han conducido a la formación de horizontes compactados a partir de los 25 cm de profundidad, donde los altos valores de Da y las reducciones de la Pt y de la Ma en relación al estrato superficial, se han convertido en una limitación para el movimiento hidráulico, que se manifestó a través de bajos valores en la Ks.
- Se detectó alta variabilidad en los valores de infiltración básica y de Ks en ambos suelos. En el Ultisol la infiltración básica fue menor que la Ks, mientras que en el Vertisol el comportamiento fue inverso debido al flujo interagregados.
- La curva de retención de humedad se caracterizó por un descenso drástico del contenido de humedad entre -10 y -300 kPa de tensión, concentrándose en este intervalo cerca del 80% del agua útil retenida por el Ultisol y menos del 65% en el Vertisol, confirmando mejor capacidad para suplir agua durante períodos de tiempo relativamente largos.
- El estrato superficial fue el que mostró el mejor comportamiento hidráulico en ambos suelos y, debido a las limitaciones de los suelos, se descartó al sistema de subirrigación como alternativa para suplir los requerimientos hídricos de la palma aceitera.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahuja, L. R., J. W. Naney y R. D. Willians. 1985. Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1 100-1 105.
- Anderson, S. H. y D. K. Cassel. 1986. Statistical and autoregressive analysis of soil physical properties of Portsmouth sandy loam. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1 096-1 104.
- Barrios, R. y A. Florentino. 2001. Evaluación del patrón de humedecimiento de los suelos subirrigados cultivados con palma aceitera. *Agronomía Tropical* 51(3):371-386.
- Bathke, G. R. y D. K. Cassel. 1991. Anisotropic variation of profile characteristics and hydraulic conductivity in an ultisol landscape. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:333-339.
- Blake G. R y K. H. Hartge. 1965. Bulk density. **In:** *Methods of soil analysis, Part 1* (A. Klute, ed.), Agronomy N° 9. Madison, WI. Am. Soc. Agron. 371-373.
- Caliman J., J. Olivin y F. Dufour. 1987. Degradation of sandy ferralitics soil in oil palm cultivation through compaction. *Correction methods. Oleagineux* 42(11):393-401.
- Caliman, J., J. Concaret, J. Olivin y F. Dufour. 1990. Maintenance of physical soil fertility under oil palm in humid tropical regions. *Oleagineux* 45(3):103-110.
- Cerana, J., Fontanini P., Duarte O., Rivarola S., Díaz E. y R. Benavidez. 2005. Permeabilidad saturada en Vertisoles. *Uso del Permeámetro Guelph. In: Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. UNESCO. Documentos Técnicos en Hidrología del PHI, N° 71.* 17-22 p.
- Davenport, M. S. 1986. Effects of drain slope and envelope on performance of a drainage-subirrigation system. M.S. Thesis, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, 302 p.
- Day, P. R. 1965. Particle size fractionation and particle size analysis. **In:** *Methods of soil analysis, Part 1* (A. Klute, ed.), Agronomy N° 9. Madison, WI. Am. Soc. Agron. 545-566.
- Dufour, O. y J. Olivin. 1985. Evolution of soils in oil palm plantation on savannah. *Oleagineux* 40(3):113-123.
- Dunin, F. X. 1976. Infiltration: its simulation for field conditions. **In:** *Facets of Hydrology* (J.C. Rhoda, Ed.). Wiley-Interscience, New York. 199-227 p.
- Englund, E. y A. Sparks. 1988. *Geo-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) User's guide.* EPA. Las Vegas, Nevada. 182 p.
- Euclides, R. F. 1983. *Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG).* Central do Processamento de Dados. Viçosa, UFV. 68 p.
- FAO. 1988. *Irrigation practice and water management. Irrigation and drainage paper N° 1 Rev. 1.* Roma. 64 p.
- Florentino de A., A. 1996. Guía sobre índices físicos de suelo. Valores críticos. Curso de Física de Suelos. Postgrado en Tecnología de Suelo. E.T.S. de Ingenieros Agrónomos. España. Universidad Politécnica de Madrid. Mimeografiado. 20 p.

- Gish, T. J. y J. L. Starr. 1983. Temporal variability of infiltration under field conditions. **In:** Proc. Natl. Conf. on Advances in Infiltration, Dec. 12-13, 1983, Chicago, Illions. Am. Soc. Soil Sci. 122-131 p.
- Horn, R., H. Domzal, A. Slowinska-Jurkiewicz y C. Van Ouwerkerk. 1995. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the enviroment. *Soil Tillage Research* 35:23-36.
- Lauren, J. G., R. J. Wagenet, J. Bouma y J. H. M. Wosten. 1988. Variability of saturated hydraulic conductivity in a *Glossaquic Hapludalf* with macropores. *Soil Science* 145(1):20-28.
- Maller, R. A. y M. L. Sharma. 1984. Aspects of rainfall excess from spatially varying hydrological parameters. *J. Hydrol.*, 67:115-127.
- Nielson, D., J. Bigger y K. Erh. 1973. Spatial variability of field measure soil-water properties. *Hilgardia* 42:215-259.
- MARNR. 1997. Atlas del Estado Monagas. Gobernación del estado Monagas. 99 p.
- Oosterbaan, R. J. y H. J. Nijland. 1994. Determining the saturated hydraulic conductivity. **In:** Dainage principles and applications (Ritzema H. P., Ed.) ILRI Publication 16. 435-476 p.
- Pérez, R. 1987. Estudio agrológico semidetallado del Asentamiento Campesino "El Zamuro". Palmonagas, C. A. Mimeografiado. 459 p.
- Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration. 4. Sorptivity and algebraic infiltration. *Soil Sci.* 84:257-264.
- Philip, J. R. 1969. The theory of infiltration. *Advances in Hydrosience* 5:215-296.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance Nº 32. UCV-Maracay, Venezuela. 93 p.
- Polo, M. J., Lafuente P. y J. V. Giráldez. 2003. Variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada en suelos de olivar y su influencia en el balance hidrológico global. **In:** Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI: 209-213.
- Ruiz, J. D., B. Lucas, A. Romero, M. J. Noguera, A. Gallegos, J. Márquez y J. F. Martínez. 2003. Determinación de la conductividad hidráulica en laderas mediante el uso de infiltrómetros de minidisco a lo largo de un gradiente pluviométrico mediterráneo. **In:** Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI: 143-152.
- Seguel, O. 2005. Efecto de la dinámica del agua en el comportamiento mecánico del suelo. **In:** Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. UNESCO. Documentos Técnicos en Hidrología del PHI, Nº 71. 11-16.
- Soracco, G. 2005. Relación entre la conductividad hidráulica saturada y la densidad aparente en tres situaciones de manejo contrastantes. **In:** Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. UNESCO. Documentos Técnicos en Hidrología del PHI, Nº 71. 35-38.
- Tabrizi, A. y R. Skaggs. 1983. Variation of saturated hydraulic conductivity within a soil series. *ASAE Paper* Nº 83: 2044.
- White, R. E. 1985. The influence of macropores on the transport of dissolved and suspended matter throught soil. *Advances in Soil Science* 3:95-121.
- Van Beers, W. F. J. 1976. The auger hole method. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). The Netherlands. Bulletin Nº 1:24.

SISTEMA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FENOLOGÍA EN VARIEDADES DETERMINADAS E INDETERMINADAS DE CARAOTA¹

SYSTEM FOR THE IDENTIFICATION OF PHENOLOGY IN DETERMINATE AND INDETERMINATE BEAN VARIETIES¹

Rosemary Warnock* y José García**

¹ Trabajo parcialmente financiado por Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH, Proyecto PG-01-03-329796) FUNDACITE Aragua y Vicerrectorado Académico de la Universidad Central de Venezuela.

* Profesora-Investigadora e **Ing. Agrónomo. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía. Instituto de Agronomía. Av. Universidad vía El Limón. Apdo. 4579. Maracay. 2101. Aragua. Venezuela. E-mail: warnockr@agr.ucv.ve

RESUMEN

La inexistencia de un sistema de identificación de eventos fenológicos versátil, común y de fácil aplicación en el campo, para variedades determinadas e indeterminadas de caraota, *Phaseolus vulgaris* L., ha limitado la comunicación entre investigadores y productores agrícolas. En el presente trabajo, se evaluó, en forma comparativa, el desarrollo de cuatro variedades de caraota, Montalbán, Tacarigua, Tenerife y UCV-Manuare, mediante varios sistemas de identificación de fases fenológicas. Los materiales genéticos fueron sembrados en dos localidades, Samán Mocho, estado Carabobo y Maracay, estado Aragua, utilizando un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Con fines de generación de información utilizable para la aplicación de modelos agroambientales, se valoraron los sistemas de identificación de fenofases existentes en la literatura para caraota. Los resultados mostraron que la variedad UCV-Manuare fue la más sensible al fotoperíodo, la más precoz, exhibió los primeros racimos florales y vainas en los nudos más bajos del tallo, presentó las etapas más cortas de desarrollo y crecimiento de vainas y semillas (R7+R8) y el menor rendimiento. Se propone un sistema de identificación de fenofases para variedades determinadas e indeterminadas de caraota de fácil aplicación en el campo y adecuado a las exigencias del modelo CROPGRO del programa DSSAT. Éste, reúne tres mejoras fundamentales para calificar la ocurrencia de etapas de desarrollo: es práctico para utilizarlo en el campo; de fácil aplicación tanto a variedades determinadas como indeterminadas; y diferencia ocho eventos reproductivos importantes requeridos como datos de entrada por los modelos de simulación.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L.; caraota; fenología; modelos de simulación agroambiental.

SUMMARY

Communication between bean, *Phaseolus vulgaris* L., researchers and producers has been restricted by the absence of an adequate and effective system of identification of phenological events for the crop. A comparative evaluation, using various systems of identification, of the development of four cultivars (Montalbán, Tacarigua, Tenerife and UCV-Manuare) was performed. Seeds were planted at two sites (Saman Mocho, Carabobo State and Maracay, Aragua State) using an experimental design of randomized blocks with three repetitions. In order to generate input data for the application of simulation models cultivars and available identification systems were evaluated. Results indicated that UCV-Manuare was the most sensitive to photoperiod, precocious, exhibited the first floral racemes and pods in the lowest nodes, had the shortest stages of development and growth of pods and seeds (R7+R8) and lowest yield. A system of identification of phenological phases of easy application in the field which complies to the requirements of the model CROPGRO of DSSAT is proposed for determinate and indeterminate bean cultivars. It integrates three main improvements for rating the occurrence of development stages: it is of practical use in the field, easy to apply to determinate and indeterminate cultivars and it identifies eight important reproductive events required as input data by simulation models.

Key Words: *Phaseolus vulgaris* L.; bean; identification of phenology; simulation.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de identificación de eventos fenológicos aplicables al cultivo de caraota, *Phaseolus vulgaris* L., existentes en la literatura muestran inconsistencia en cuanto a los criterios que utilizan para evaluar el progreso del desarrollo. En muchas áreas de la agronomía se ha adoptado el concepto de estadios fenológicos para monitorear el curso del desarrollo en los cultivos y es importante que la terminología usada sea común, objetiva y precisa.

Las recomendaciones en cuanto a realización de muchas prácticas agronómicas, como fertilización y control de competidores generalmente se hacen basados en un estadio fenológico determinado. También, en el área de los modelos de simulación agroambientales se requiere información de entrada y se genera información de salida acerca de la ocurrencia de eventos fenológicos.

Los sistemas de identificación de eventos fenológicos reseñados por la literatura para caraota utilizan el criterio de número de nudos sobre el tallo principal para diferenciar las etapas consecutivas del desarrollo y diferencian el ciclo del cultivo en vegetativo y reproductivo. El sistema de Fehr *et al.* (1991), aplicable a caraota, fue desarrollado para soya y adoptado con modificaciones por los autores del programa DSSAT 3.5 (Tsuji *et al.*, 1994) para la identificación de estadios de desarrollo en los cultivos de la familia *Fabaceae* (soya, maní y caraota) con los cuales opera el modelo CROPGRO (Jones *et al.*, 2000). Los criterios establecidos por Fehr *et al.* (1991; Cuadro 1) diferencian un número variable de etapas vegetativas (al menos 6) y 8 etapas reproductivas consecutivas de desarrollo comenzando por emergencia y nudo cotiledonal (Ve-Vc) hasta madurez completa (R8).

Para la identificación de etapas vegetativas, este sistema se basa en el número de nudos sobre el tallo principal, contados a partir del nudo unifoliado, en los cuales se presente una hoja completamente desarrollada. La determinación de cuándo una hoja está completamente desarrollada se origina del examen del desarrollo foliar del nudo inmediatamente superior, en desarrollo incipiente, en cuanto a si los folíolos de ésta última se tocan o no por sus bordes. La identificación de etapas reproductivas se hace mediante la evaluación de la aparición de órganos reproductivos de acuerdo a una progresión basípeta (en sentido ápice-base) del desarrollo, al considerar de mayor importancia la evolución de los órganos reproductivos en los nudos superiores del tallo.

Por su parte, Fernández *et al.* (1985) crearon un sistema de identificación de etapas de desarrollo específico para caraota (Cuadro 2) en el cual se diferencia un número variable de etapas vegetativas (al menos 5) y 5 etapas reproductivas consecutivas, comenzando con germinación y emergencia (V0-V1) hasta maduración (R9). En este sistema se inicia el conteo de nudos a partir del nudo cotiledonal, utilizando como criterio el número de nudos consecutivos sobre el tallo principal con una hoja cuyos folíolos estén totalmente desplegados y en un solo plano. Para calificar la ocurrencia de etapas reproductivas se considera la aparición de los primeros órganos reproductivos diferenciados como flores, frutos y semillas, en cualquiera de los nudos del tallo principal.

Los modelos de simulación de cultivos de CROPGRO requieren información fenológica relativa a la ocurrencia de varios estadios vegetativos y al menos 5 estadios reproductivos. Los nombres de los estadios están basados en la definición de Fehr *et al.* (1991). Entre los estadios reproductivos se requiere información sobre los siguientes:

R4: Días después de la siembra (DDS) cuando el 50% de las plantas presenta al menos una vaina completamente desarrollada.

R6: DDS cuando el 50% de las plantas presenta al menos una vaina que contenga granos verdes de tamaño completo.

R7: DDS cuando el 50% de las plantas presenta al menos una vaina en amarillamiento, madurez fisiológica.

R8: DDS cuando el 50% de las plantas presenta al menos 95% de las vainas de color marrón, madurez de cosecha.

Los objetivos de la presente investigación son: a) evaluar en forma comparativa, el desarrollo de cuatro variedades de caraota mediante los sistemas de identificación de Fehr *et al.* (1991) y de Fernández *et al.* (1985) con fines de generación de información utilizable para la aplicación de modelos agroambientales; b) determinar y señalar las limitaciones de los sistemas de identificación de fenofases existentes para caraota; y c) proponer un sistema de identificación de fenofases para variedades determinadas e indeterminadas de caraota de fácil aplicación en el campo y adecuado a las exigencias de los modelos agroambientales.

CUADRO 1. Sistema de identificación de estadios fenológicos para soya de acuerdo a Fehr *et al.* (1991), aplicable al cultivo de caraota.

Etapa	Denominación	Descripción
Ve	Emergencia	Desde la siembra hasta que el 50% de la población presenta los cotiledones sobre la superficie del suelo.
Vc	Cotiledones	Desde la emergencia hasta que el 50% de las plántulas presenta cotiledones completamente desarrollados. Esta etapa finalizará cuando las hojas unifoliadas superpuestas a los cotiledones no se toquen en los bordes (despliegue).
V1	Primer nudo	Hojas unifoliadas. Desde que el 50% de las plántulas inicia el despliegue de los protófilos (hojas unifoliadas) hasta su máxima expansión.
V2	Segundo nudo	Primera hoja compuesta. Desde que en el 50% de las plántulas, la primera hoja compuesta (trifoliada), en el segundo nudo del tallo principal (comenzando por los nudos unifoliados), se despliega lo suficiente para que sus folíolos no se toquen hasta su completo desarrollo.
V3	Tercer nudo	Segunda hoja compuesta. El 50% de las plántulas presenta tres nudos en el tallo principal con hojas completamente desarrolladas, comenzando por los nudos unifoliados.
Vn	Enésimo nudo	N número de nudos en el tallo principal con hojas completamente desarrolladas, comenzando por los nudos unifoliados.
R1	Inicio floración	El 50% de las plantas presenta una flor abierta en cualquier nudo del tallo principal.
R2	Floración plena	El 50% de las plantas presenta una flor abierta en cualquiera de los dos nudos superiores del tallo principal con hoja completamente desarrollada.
R3	Inicio formación vainas	El 50% de las plantas presenta una vaina de 5 mm de longitud en cualquiera de los cuatro nudos superiores del tallo principal con hoja completamente desarrollada.
R4	Plena formación vainas	El 50% de las plantas presenta una vaina de 2 cm de longitud en cualquiera de los cuatro nudos superiores del tallo principal con hoja completamente desarrollada.
R5	Inicio formación semillas	El 50% de las plantas presenta una semilla de 3 mm de longitud en una vaina en cualquiera de los cuatro nudos superiores del tallo principal con hoja completamente desarrollada.
R6	Plena formación semillas	El 50% de las plantas presenta una vaina con una semilla verde que llena toda la cavidad en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal con hoja completamente desarrollada.
R7	Inicio maduración	El 50% de las plantas presenta una vaina de tamaño normal en el tallo principal que ha alcanzado su color de maduración.
R8	Maduración completa	En el 50% de las plantas el 95% de las vainas ha alcanzado el color característico de maduración.

CUADRO 2. Sistema de identificación de estadios fenológicos para caraota de acuerdo a Fernández *et al.* (1985).

Etapa	Denominación	Descripción
V0	Germinación	Desde la siembra hasta que los cotiledones se observan a simple vista a nivel del suelo en el 50% de las plántulas.
V1	Emergencia	Desde que los cotiledones se observan a simple vista a nivel del suelo hasta que están por encima del nivel del suelo y comienzan a separarse sus bordes en el 50% de las plántulas.
V2	Hojas primarias	Desde que el 50% de las plántulas presenta los protófilos (hojas primarias unifoliadas) desplegados en el segundo nudo del tallo principal, comenzando por el nudo cotiledonal, hasta que los foliolos se despliegan completamente y se extienden en un solo plano.
V3	Primera hoja trifoliada	En el 50% de las plántulas la primera hoja trifoliada está completamente abierta y plana.
V4	Tercera hoja trifoliada	En el 50% de las plántulas la tercera hoja trifoliada está completamente abierta y plana.
R5	Prefloración	Aparición del primer botón o primer racimo en el 50% de las plantas.
R6	Floración	Aparición de la primera flor abierta en el 50% de las plantas.
R7	Formación vainas	Aparición de la primera vaina con la corola de la flor colgada o recién desprendida en el 50% de las plantas.
R8	Llenado vainas	Cuando se empieza a llenar la primera vaina en el 50% de las plantas.
R9	Maduración	Inicio de decoloración y secado de vainas en el 50% de las plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos a nivel de campo, durante la época de salida de lluvias, entre los meses de septiembre a diciembre de 1995. El primer experimento se inició el 18 de septiembre de 1995 en la Estación Experimental Samán Mocho (10° 05' 58" Latitud Norte y 67° 51' 40" Longitud Oeste a 425 m.s.n.m.), en la localidad de Samán Mocho, estado Carabobo y se cosechó el 23 de noviembre del mismo año. El segundo experimento se estableció el 13 de octubre de 1995 en el Campo Experimental del Departamento de Agronomía (10° 15' Latitud Norte y 67° 36' Longitud Oeste a 447 m.s.n.m.), en Maracay, estado Aragua y se cosechó el 25 de diciembre de 1995.

Características Edafoclimáticas

Ambos campos experimentales se ubican dentro de la cuenca del Lago de Valencia. En Samán Mocho los suelos son de origen lacustrino, calcáreos con alto contenido de carbonato de calcio y permeabilidad y

drenaje interno rápido, con predominio de las familias Typic ustifluvents francosa gruesa carbonática isohipertérmica y Mollic ustifluvents francosa gruesa mixta isohipertérmica (Borges *et al.*, 1982). En Maracay son de origen aluvial, franco arenosos a francos arcillo-limosos, heterogéneos; Tortoza (1997) los clasifica como Fluventic ustropepts, con textura limosa, gruesa, mixta isohipertérmica. De acuerdo a los análisis de suelos estudiados por Bolaños (1993) y Carrión (1994), los suelos usados en el experimento de Samán Mocho presentan textura franca, pH promedio de 8 y altos contenidos de materia orgánica (MO). El análisis de suelo del Campo Experimental de Maracay dio como resultado textura franco-arenosa, pH de 7,36, bajo contenido de MO y valores muy altos de calcio, fósforo, magnesio y potasio.

Las dos localidades se clasifican dentro de la zona de vida (Ewel *et al.*, 1976) de Bosque Seco Premontano en transición con los Bosques Muy Seco y Seco del piso tropical, los cuales presentan precipitación promedio anual comprendida entre 850 y 1 000 mm, distribuida

en dos estaciones bien definidas y época seca que se ubica en general entre diciembre a marzo. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 24 y 26°C. Durante los ciclos de cultivo, las temperaturas máximas promedio estuvieron entre 29 y 31 °C, las mínimas entre 19 y 20 °C y la precipitación total entre 161 y 407 mm.

Descripción de los Experimentos

Se sembraron las variedades comerciales Montalbán, Tacarigua y Tenerife, así como la variedad experimental, UCV-Manuare, todas de crecimiento indeterminado. Se utilizó un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones en un arreglo factorial 4 x 4 (4 variedades y 4 densidades), lo que dio origen a 16 tratamientos. Cada variedad se sembró a 4 densidades poblacionales, 333 333 pl ha⁻¹, 208 333 pl ha⁻¹, 151 500 pl ha⁻¹ y 119 000 pl ha⁻¹. Respectivamente la separación entre plantas fue 5, 8, 11 y 14 cm y la separación entre hilos 60 cm. Todas las parcelas estuvieron constituidas por 12 hilos de 5 m de longitud cada uno. El área total fue de 2 074 m² en Samán Mocho y 2 246 m² en Maracay.

Se mantuvieron las condiciones óptimas para que se manifestase el crecimiento y desarrollo potencial de los materiales genéticos evaluados. En tal sentido, se prepararon los suelos de acuerdo a los métodos usuales para cada localidad y se controlaron los competidores bióticos y todos los demás factores como agua y nutrimentos que pudieran causar estrés a las plantas.

Evaluaciones Fenológicas

Cada siete días durante el desarrollo vegetativo y cada 3 d durante el reproductivo, desde que las plantas cumplieron 11 DDS hasta 71 DDS, en los 2 experimentos se realizaron observaciones cualitativas y cuantitativas sobre el tallo principal siguiendo los criterios establecidos por Fehr *et al.* (1991) y Fernández *et al.* (1985). Para determinar el número de días requeridos para el inicio de las etapas vegetativas más importantes, se registró información del número de nudos y hojas unifoliadas y trifoliadas. Además, para evaluar el progreso reproductivo se registró información en cuanto a la presencia de flores, vainas, semillas y ocurrencia de maduración. Por convención, los estadios se identificaron con diferentes subíndices para la letra V o R de acuerdo a su naturaleza vegetativa o reproductiva. En cada unidad experimental se evaluaron 3 ó 4 plantas consecutivas, sanas y de tamaño uniforme, resultando en un total de entre 9 a 12 plantas evaluadas para cada variedad.

La información proveniente de las repeticiones se integró en un solo valor resumen para caracterizar el comportamiento del cultivo expresado a través de cada una de las variedades. El estadio de desarrollo general del cultivo está dado por el estadio promedio de una muestra representativa. Como es usual en este tipo de trabajos (Fehr *et al.*, 1991; Fernández *et al.*, 1985) se determinó el estadio de desarrollo de acuerdo al evento más avanzado en el 50% o más de la población observada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de los criterios de Fehr *et al.* (1991) a la población en estudio determinó la diferenciación de 17 etapas consecutivas de desarrollo comenzando por Ve (emergencia) y finalizando con R8 (maduración completa), en cambio con el sistema de Fernández *et al.* (1985) sólo se diferenciaron 11 etapas consecutivas, desde V0 (germinación) hasta R9 (maduración).

Una vez iniciada la etapa reproductiva se presentó dificultad para identificar las subetapas de acuerdo al sistema de Fehr *et al.* (1991), el cual se basa en una progresión basípeta (sentido ápice-base) del desarrollo, ya que las guías de las plantas al estar más desarrolladas tendieron a entrelazarse con las plantas vecinas. Las variedades con mayor desarrollo de guías manifestaron este problema más temprano.

La Figura 1 muestra los resultados de la comparación de las 4 variedades estudiadas en la localidad de Samán Mocho. La aplicación de los criterios de los 2 sistemas muestra diferencias de desarrollo claras entre el conjunto de Montalbán, Tacarigua y Tenerife al compararlos con UCV-Manuare. UCV-Manuare finalizó la fase vegetativa entre los 29 y 35 DDS, mientras que las otras 3 variedades la finalizaron entre los 36 y 43 DDS, lo cual en promedio indica una diferencia de 8 d. Por otra parte, el máximo desarrollo vegetativo de la variedad UCV-Manuare fue de 6 nudos (V6) en cambio las demás variedades alcanzaron a desarrollar hasta 9 nudos (V9) antes de iniciarse la floración. Ello es indicativo de la mayor precocidad exhibida por UCV-Manuare.

En la Figura 2 se presentan los resultados correspondientes a la sucesión de etapas en la localidad de Maracay. Las semillas de este ensayo fueron sembradas 25 d después que las de Samán Mocho, durante el período del año en el cual los días se acortan progresivamente hasta el 21 de diciembre. La variedad UCV-Manuare evidenció aún mayor precocidad durante este ciclo de siembra-cosecha, llegando a iniciar la floración

a los 28 DDS. Incluso las variedades Montalbán, Tacarigua y Tenerife mostraron cierta sensibilidad al fotoperíodo.

No se observaron diferencias en el desarrollo debido a la densidad de siembra en ninguna de las dos localidades.

En experimentos de campo el efecto del fotoperíodo no se puede separar del efecto de la temperatura porque ambos se encuentran confundidos e interactúan de una manera conjunta sobre los procesos de crecimiento y

desarrollo. Sin embargo se sabe que la caraota al ser una planta de día corto, en general necesita menor número de días para alcanzar la floración a medida que la longitud promedio del día decrece. La duración de la noche, o período de oscuridad es crucial para el control interno de la diferenciación en tejidos y órganos que constituyen las estructuras reproductivas. La duración del período de oscuridad es traducido dentro de las células vegetales por el pigmento fitocromo el cual ejerce una acción importante en muchos procesos fisiológicos de la caraota. Uno de éstos es la inducción floral.

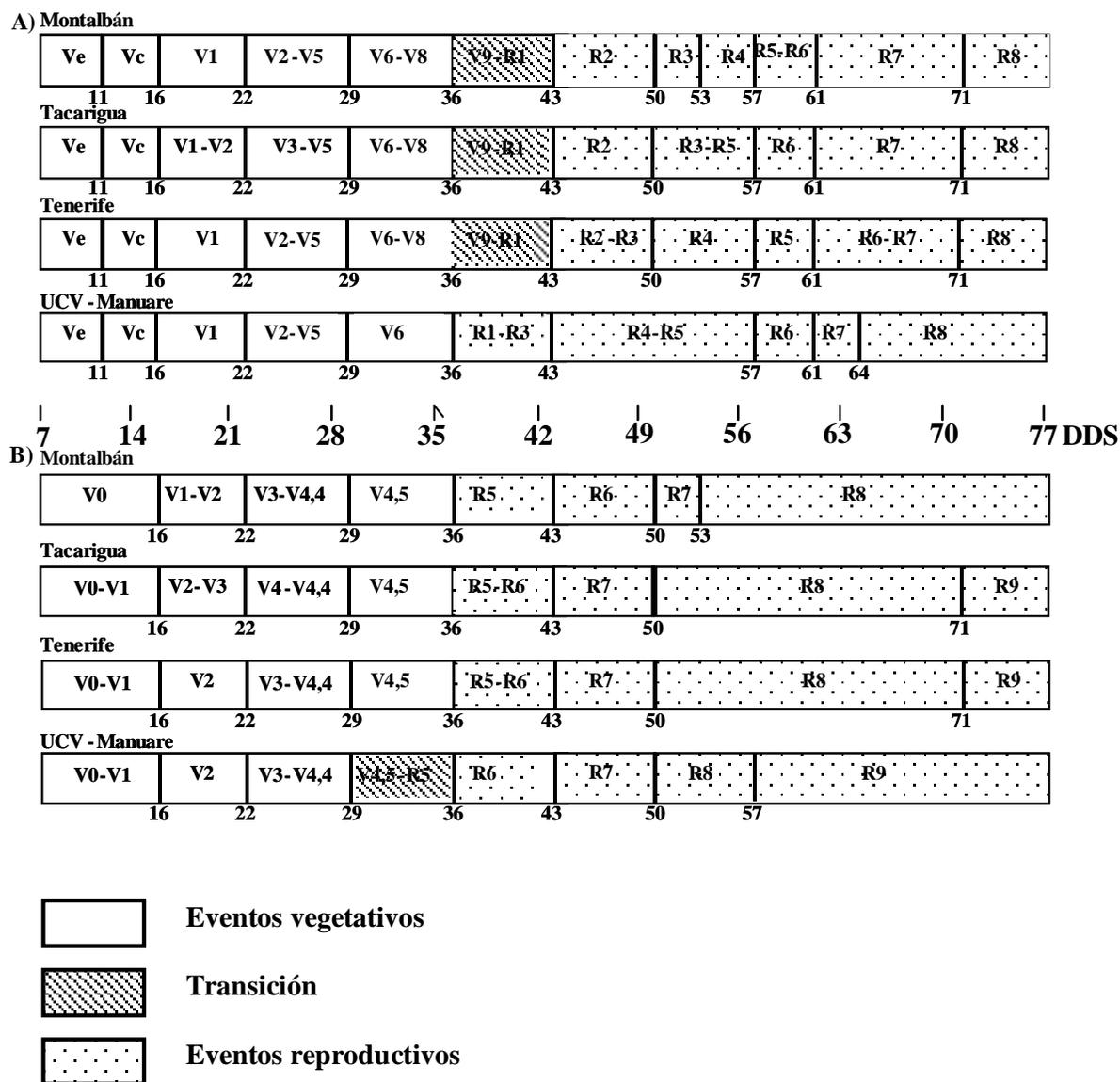


FIGURA 1. Samán Mocho. Fases de desarrollo vegetativo y reproductivo de cuatro variedades de caraota, según A) Fehr *et al.* (1991) y B) Fernández *et al.* (1985).

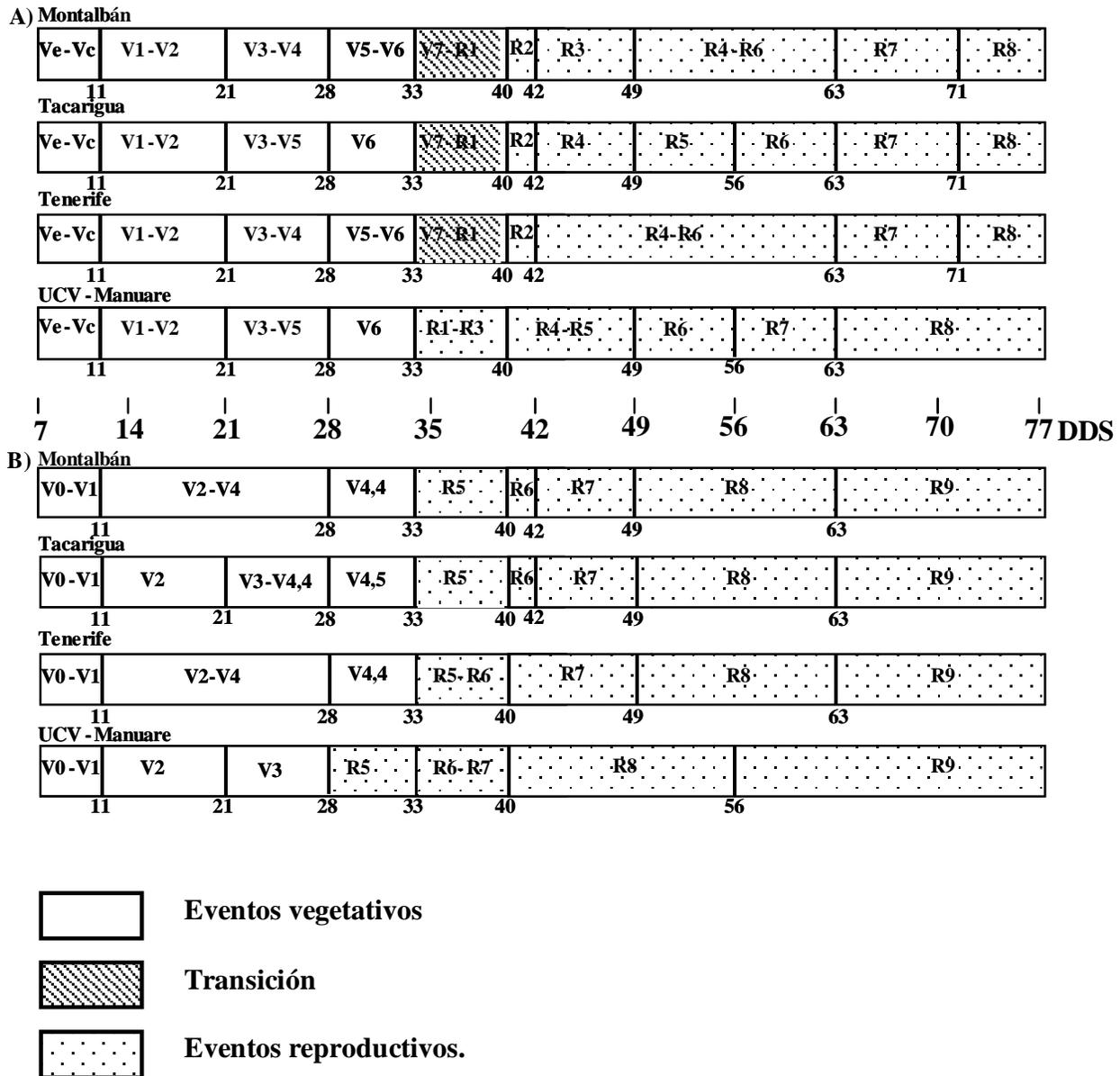


FIGURA 2. Maracay. Fases de desarrollo vegetativo y reproductivo de cuatro variedades de caraota, según A) Fehr *et al.* (1991) y B) Fernández *et al.* (1985).

No obstante, todas las variedades de una misma especie, incluso las que se encuentran dentro de un mismo tipo de crecimiento, no responden de igual manera al fotoperíodo. Para complicar aún más la situación, la temperatura se combina con el fotoperíodo durante las diferentes etapas de siembra y ambas interactúan de una manera conjunta y confundida sobre los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo. Se ha señalado que

para las variedades indeterminadas los días más largos o temperaturas más cálidas provocan que la primera flor aparezca en nudos superiores, es decir inducen un desplazamiento de ésta hacia nudos superiores en el tallo por efecto de los días largos (Masaya y White, 1991).

Se ha desarrollado una hipótesis para caraota que establece que el fotoperíodo y la temperatura ejercen dos

efectos sobre el desarrollo. Uno es el efecto sobre la tasa de desarrollo de nudos; y el otro sobre la tasa de desarrollo de flores y vainas. La tasa de desarrollo de nudos afecta la altura de la planta, lo cual no se midió en este estudio. El tiempo a floración, de acuerdo a este enfoque, depende de la tasa de desarrollo de nudos y de la posición sobre el tallo principal (número consecutivo de nudos en sentido base-ápice) donde se ubique la primera flor. Ambos procesos compiten entre sí. Para cada situación, la combinación de fotoperíodo, temperatura y genotipo, produce un balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo. Este balance se alcanza mediante la combinación de las tasas de crecimiento de flores y frutos por una parte, y de nudos (láminas y pecíolos) por la otra (Wallace, 1985 citado por Masaya y White, 1991).

Masaya *et al.* (1986) señalan que el tiempo y la posición de la primera flor es un carácter importante en los cultivares de caraota. Los 4 cultivares estudiados en este trabajo se clasifican como indeterminados Tipo II, pero UCV-Manuare mostró diferencias con respecto a los otros 3 tanto en los días a floración como en la posición de aparición de la primera flor. En las 2 localidades donde se establecieron los experimentos, la aparición en las plantas de la primera flor y la primera vaina ocurrió para UCV-Manuare en los nudos 3 y 5, para las otras variedades sucedió en los nudos 6 y 8. Además se encontró que UCV-Manuare alcanzó los valores más bajos de rendimiento de las 4 variedades estudiadas: 1,2 Mg ha⁻¹ en Samán Mocho (Barrios y Rojas, 1996) y 2,1 Mg ha⁻¹ en Maracay (Díaz y Figueroa, 1996).

Dentro de los estadios reproductivos se destaca, de acuerdo a la definición de Fernández *et al.* (1985), que UCV-Manuare mostró la menor duración de las etapas R7+R8 con un valor promedio de 7-14 d para Samán Mocho y 7-16 d para Maracay. Las otras 3 variedades mostraron un rango que osciló entre 21-28 d. R7 y R8 representan en conjunto el desarrollo y crecimiento de las vainas y semillas, y se ha señalado que estas 2 etapas están estrechamente relacionadas con el rendimiento.

En sus estudios Wallace y Masaya, citados por Masaya y White (1991) indican que los rendimientos superiores están relacionados con un período prolongado de duración del llenado de semillas combinado con una alta tasa de crecimiento de las mismas. Ambos caracteres están relacionados con un alto rendimiento en semillas por día de crecimiento. El número de sitios potenciales para rendimiento, es decir el número de nudos en la planta, está determinado por la velocidad de crecimiento

de nudos a la temperatura y fotoperíodo prevalecientes. El tiempo, y la posición de las flores, y por consiguiente de las vainas están determinados por la tasa de diferenciación y crecimiento de flores y frutos. Ambos procesos se encuentran afectados por la temperatura y el fotoperíodo. En concordancia con la literatura, UCV-Manuare, la variedad de rendimientos más bajos fue la que presentó el período de duración más corto de las etapas R7+R8.

Otras observaciones realizadas reafirmaron aun más las diferencias cualitativas entre las variedades estudiadas y la aplicabilidad de los 2 sistemas de identificación de estadios para el cultivo de caraota. Montalbán y UCV-Manuare mostraron las guías más largas y la mayor capacidad para trepar. Tacarigua en el otro extremo fue la variedad que presentó una arquitectura más compacta y arbustiva, con presencia de una guía muy corta o ausente en su totalidad. Tenerife se ubicó en una posición intermedia.

La aplicación del sistema de Fehr *et al.* (1991) para identificar estadios de desarrollo en caraota sembrada en condiciones de campo resultó excesivamente laboriosa y presentó severas limitaciones.

Durante las etapas vegetativas, para calificar el estado de desarrollo de la planta se requiere evaluar el desarrollo de las hojas inmediatamente encima del penúltimo nudo. Para la identificación de etapas reproductivas de variedades indeterminadas de caraota cuyas guías se entrelazan con las plantas vecinas resulta un problema de orden práctico tener que buscar los 4 nudos superiores del largo tallo a fin de dilucidar si ha floreado o fructificado.

Al contrario, el sistema de Fernández *et al.* (1985) resultó mucho más útil para determinaciones de campo por cuanto considera que una hoja está totalmente desarrollada cuando sus folíolos están totalmente desplegados y en un solo plano y define los estadios reproductivos de acuerdo a la progresión del desarrollo en sentido base-ápice.

El sistema de Fernández *et al.* (1985), sin embargo, omite información requerida por los modelos de simulación agroambiental en lo que respecta a las fases de desarrollo reproductivo, no diferencia la fase en la cual las plantas tienen al menos una vaina con granos verdes de tamaño completo, y tampoco cuando las plantas presentan al menos 95% de las vainas de color marrón, es decir madurez de cosecha.

Aún cuando todas las variedades evaluadas en este trabajo fueron de crecimiento indeterminado, los resultados de esta investigación son aplicables también a variedades de tipo determinado que no presentan guías o éstas son muy cortas ya que las evaluaciones consideran como determinante la primera aparición de órganos reproductivos en cualquier nudo del tallo principal. Basados en las consideraciones anteriores se propone un sistema de identificación de estadios fenológicos que integra las ventajas de los sistemas de Fehr *et al.* (1991) y Fernández *et al.* (1985), discutidos anteriormente, aplicable tanto a variedades indeterminadas como determinadas de caraota.

Esta propuesta reúne 3 mejoras fundamentales: para calificar la ocurrencia de etapas en el desarrollo vegetativo se considera el número de nudos consecutivos sobre el tallo principal, con hojas totalmente desplegadas y en un solo plano, contados a partir del primer nudo trifoliado, lo cual es menos engorroso que lo planteado por Fehr *et al.* (1991); comprende la identificación de estadios reproductivos de acuerdo a la aparición de flores y órganos reproductivos en cualquier nudo del tallo principal permitiendo la fácil aplicación del sistema a variedades tanto determinadas como indeterminadas; y diferencia 8 eventos reproductivos importantes que los modelos de simulación agroambiental requieren como datos de entrada para su evaluación y calibración (Cuadro 3).

CUADRO 3. Sistema de identificación de estadios fenológicos propuesto para variedades determinadas e indeterminadas de caraota.

Etapas	Denominación	Descripción
Ve	Emergencia	Desde la siembra hasta que el 50% de la población presenta los cotiledones visibles a nivel del suelo.
Vc	Cotiledones	Desde la emergencia hasta que el 50% de las plántulas presenta cotiledones por encima de la superficie del suelo totalmente desplegados.
Vu	Nudos unifoliados	Hojas unifoliadas. Desde que el 50% de las plántulas inicia el despliegue de los protófilos (hojas unifoliadas) hasta su máxima expansión.
V1	Primer nudo trifoliado	Primera hoja compuesta. Primer día en el cual el 50% de las plántulas presenta la primera hoja compuesta (trifoliada) completamente desplegada y en un solo plano.
V2	Segundo nudo	Segunda hoja compuesta. Primer día en el cual el 50% de las plántulas presenta 2 nudos en el tallo principal con hojas completamente desplegadas y en un solo plano.
Vn	Enésimo nudo	N número de nudos en el tallo principal con hojas completamente desplegadas.
R1	Inicio floración	El 50% de las plantas presenta al menos una flor visible en cualquier nudo del tallo principal.
R2	Floración plena	El 50% de las plantas presenta al menos una flor abierta en cualquier nudo del tallo principal.
R3	Inicio de formación vainas	El 50% de las plantas presenta al menos una vaina formada (0,5 cm a 2 cm de longitud) en cualquier nudo del tallo principal.
R4	Plena formación de vainas	El 50% de las plantas presenta al menos una vaina completamente formada (10cm a 12 cm de longitud) en cualquier nudo del tallo principal.

../... continúa

./... continuación CUADRO 3.

Etapa	Denominación	Descripción
R5	Inicio formación semillas	El 50% de las plantas presenta vainas con semillas pequeñas (al menos 3 mm de longitud) en cualquier nudo del tallo principal.
R6	Plena formación semillas	El 50% de las plantas presenta al menos una vaina con una semilla verde de tamaño completo en cualquiera de los nudos del tallo principal.
R7	Inicio maduración	El 50% de las plantas presenta al menos una vaina de tamaño normal en el tallo principal que ha comenzado el amarillamiento (madurez fisiológica).
R8	Maduración completa	El 50% de las plantas, en el 95% de las vainas ha alcanzado el color característico de maduración (madurez de cosecha).

CONCLUSIONES

- Al aplicar los criterios establecidos por Fehr *et al.* (1991 y Fernández *et al.* (1985) se evidenció un comportamiento muy similar durante la fase vegetativa entre las variedades estudiadas. En los primeros estadios reproductivos la variedad UCV-Manuare mostró un comportamiento diferente con respecto a las otras tres, debido a que alcanzó estas etapas mucho más temprano.
- Aún cuando todas las variedades mostraron cierta sensibilidad al fotoperíodo, tanto en Samán Mocho como en Maracay la variedad UCV-Manuare fue la que mayormente evidenció esta característica.
- La menor duración de las etapas R7+R8 (desarrollo y crecimiento de vainas y semillas) de acuerdo al sistema de Fernández *et al.* (1985) la obtuvo la variedad UCV-Manuare. Esta variedad produjo los menores rendimientos. En la variedad UCV-Manuare la aparición del primer racimo, la primera flor y primera vaina ocurrió entre los nudos 3 y 5 y en las otras variedades entre los nudos 6 y 8.
- La aplicación del sistema de Fehr *et al.* (1991) para identificar estadios de desarrollo en caraota sembrada en condiciones de campo resultó en exceso laboriosa y presentó severas limitaciones para variedades indeterminadas; el sistema de Fernández *et al.* (1985) resultó mucho más útil para determinaciones de campo, sin embargo, omite información requerida por los modelos de simulación agroambiental en lo que

respecta a ciertas fases de desarrollo reproductivo. En función de los resultados obtenidos, se propone un sistema de identificación de estadios fenológicos en caraota que reúne 3 mejoras fundamentales:

- 1) Para calificar la ocurrencia de etapas en el desarrollo vegetativo se considera el número de nudos consecutivos sobre el tallo principal, con hojas totalmente desplegadas y en un solo plano, contados a partir del primer nudo trifoliado, lo cual es menos engorroso que lo planteado por Fehr *et al.* (1991).
- 2) Comprende la identificación de estadios reproductivos de acuerdo a la aparición de flores y órganos reproductivos en cualquier nudo del tallo principal permitiendo la fácil aplicación del sistema a variedades tanto determinadas como indeterminadas.
- 3) Diferencia 8 eventos reproductivos importantes que los modelos de simulación agroambiental requieren como datos de entrada para su evaluación y calibración.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrios, J. y Rojas A. 1996. Crecimiento y rendimiento de caraota (*Phaseolus vulgaris* L) en un suelo franco durante la época de salida de lluvias (septiembre-diciembre). Tesis de grado. Maracay. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 91 p.

- Bolaños, M. 1993. Evaluación en base a capacidad por fertilidad de los suelos de la Estación Experimental Samán Mocho (Estado Carabobo). Interpretación de los análisis de laboratorio. Tesis de grado en Agronomía. Mención Zootecnia. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 59-74 p.
- Borges, R., A. Ramones y R. Mauro. 1982. Los suelos de la estación Experimental Samán Mocho. Estudio agroecológico especial. Tesis de Grado Ing. Agrónomo. Maracay, estado Aragua. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 37-39 p.
- Carrión, J. 1994. Caracterización y valoración de las propiedades físicas de las unidades de suelo de la Estación Experimental Samán Mocho (Estado Carabobo). Interpretación de los análisis de laboratorio. Tesis de grado en Agronomía. Mención Fitotecnia. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 40-53 p.
- Díaz, C. y N. Figueroa. 1996. Evaluación de la biomasa, área foliar y rendimiento de caraota (*Phaseolus vulgaris* L) a diferentes densidades poblacionales en un suelo franco arenoso durante la época de salida de lluvias (octubre-enero). Tesis de grado. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 93 p.
- Ewel, J., A. Madriz y J. Tosi, Jr. 1976. Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Segunda edición. Editorial Sucre. Caracas. Venezuela. 270 p.
- Fehr, W. R., C. E. Caviness, D. T. Burmood and J. S. Pennington. 1991. Stage of development description for soybean (*Glycine max* (L) Merrill). Crop Science 11(6): 920-931 p.
- Fernández, F., P. Gepts y M. López. 1985. Etapas de desarrollo de la planta de frijol. **In:** López, M.; F. Fernández y A. van Schoonhoven (eds). Fijol: Investigación y Producción. Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia. 61-78 p.
- Jones J. W., K. Boote, J. White, G. Hoogenboom and C. Porter. 2000. Phenology Module, in DSSAT v4.0 Documentation and source code listing. Agricultural and Biological Engineering Department. Research report N° 2000-1201. University of Florida, Gainesville, Florida. January 2000. [on line]. Disponible en: www.csml.ifas.ufl.edu/protected/CropgroDocs/cropgro_doc.html Consulta realizada el 21/10/2003.
- Masaya, P., D. Wallace and J. White. 1986. Genetic control of flowering behavior of tropic adapted bean cultivars under two subtropical temperature regimes. Annu. Rep. Bean Improvement Coop. 29:54-55 p.
- Masaya, P. and J. W. White. 1991. Adaptation to photoperiod and temperature. Pp. 445-498. **In:** van Schoonhoven, A. and O. Voysest (eds). Common Beans. Research for Crop Improvement. CIAT. Cali, Colombia. CAB, Oxon, UK.
- Tortosa, J. 1997. Variabilidad del suelo y limitaciones para el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el lote E del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Tesis de Grado Ing. Agrónomo. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 52 p.
- Tsuji, G., G. Uehara and S. Balas. 1994. DSSAT v3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 244 p.

POBLACIONES DE *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D. Clayton CON RESISTENCIA CRUZADA AL FORAMSULFURON + IODOSULFURON

POPULATIONS OF *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D. Clayton CROSS RESISTANCE TO FORAMSULFURON + IODOSULFURON

Maryory Delgado*, Aída Ortiz Domínguez y Cástor Zambrano*****

* Ingeniero Agrónomo MSc. Ministerio de Agricultura y Tierras. E-mail: marydelg@yahoo.com

** Profesora Agregado y *** Profesor Asistente. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. E-mail: ortiza@agr.ucv.ve; zambrano@agr.ucv.ve

RESUMEN

La paja peluda, *Rottboellia cochinchinensis*, es una de las malezas más perjudiciales en el cultivo de maíz en Venezuela. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de 6 dosis crecientes de foramsulfuron + iodosulfuron sobre 6 poblaciones de paja peluda resistentes a nicosulfuron provenientes de 6 fincas maíceras del estado Portuguesa y una población susceptible proveniente de Maracay-Aragua. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con 4 repeticiones. El experimento se condujo bajo condiciones de invernadero. Se asperjaron las dosis de foramsulfuron + iodosulfuron a razón de ingrediente activo 0; 18,6; 37,2; 74,4; 148,8 y 297,6 g ha⁻¹, cuando las plantas tuvieron de 3 a 4 hojas. Los datos obtenidos de biomasa fresca fueron analizados usando el modelo de regresión log-logístico, determinando la dosis requerida para inhibir el crecimiento en un 50% (RC₅₀) de las poblaciones estudiadas y el umbral del índice de resistencia (ÍR). Todas las poblaciones resistentes a nicosulfuron provenientes de fincas en Portuguesa evaluadas bajo las condiciones de este experimento mostraron también resistencia cruzada al foramsulfuron + iodosulfuron. Así mismo, se encontró una gradación de esta resistencia, siendo las poblaciones Phaller, García, Gómez, Cedeño y Esteger, las que mostraron los valores más altos del índice de resistencia, 26,91; 24,64; 23,85; 22,58 y 21,01, respectivamente; mientras que Luchi tuvo el menor ÍR con 12,6. De acuerdo con estos resultados se deben diseñar estrategias de manejo de esta maleza en el cultivo de maíz en la zona bajo estudio.

Palabras Clave: Dosis respuesta bioensayo; resistencia a herbicida; resistencia cruzada; foramsulfuron + iodosulfuron; nicosulfuron; ROTCO, ZEAMA.

SUMMARY

Itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D, Clayton) is one of the most noxious weed in corn crops in Venezuela. The objective of this research was to evaluate the effect of six increasing doses of foramsulfuron + iodosulfuron in six nicosulfuron resistant itchgrass accessions and susceptible population, It was establishes a trial under completed randomized block design with 4 replications. This experiment was realized in a greenhouse. When the plants had of 3 to 4 leaves, It was were sprayer foramsulfuron + iodosulfuron a rates of 0, 18.6, 37.2, 74.4, 148.8 and 297.6 g,i,a,ha⁻¹. Were analyzed the data of fresh weight of plants in a log-logistic regression model, establishing the required dose to inhibit growth in 50% (RC50) in each biotype and the threshold of resistance index (RI). All nicosulfuron resistant populations harvested in Portuguesa evaluates under this experimental conditions showed crossed resistant to foramsulfuron + iodosulfuron too. Also, We found degrees resistant indexes (RI), Phaller, García, Gómez, Cedeño and Esteger showed highest values of RI, 26.91, 24.64, 23.85, 22.58 y 21.01, respectively, whereas Luchi has smallest RI, with 12.6. In agreement with these results, we must design a management to itchgrass resistant populations in corn farms in region of this study.

Key Words: Dose-response bioassay; herbicide resistance; cross-resistance; foramsulfuron + iodosulfuron; nicosulfuron; ROTCO; ZEAMA.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela el maíz, *Zea mays* se ubica como el primer cereal de importancia económica y forma parte de la dieta diaria de la población, principalmente a través su consumo como arepa. En el 2006 se registró una producción 2 111 693 t de granos de maíz, cosechadas en una superficie de 640 066 ha (Fedeaagro, 2007).

Rottboellia cochinchinensis es una maleza agresiva que ejerce una interferencia negativa en muchos cultivos en el país, principalmente en maíz, caraota, sorgo, caña de azúcar, soya, entre otros. El patrón de aplicación de herbicidas en el cultivo de maíz ha cambiado en los últimos 14 años, por cuanto antes se usaba herbicidas preemergentes para el control de la paja peluda y actualmente se realiza mayoritariamente con nicosulfuron de aspersión postemergente.

Así mismo, en algunas fincas donde se tomaron las muestras para este ensayo es típica la rotación de maíz-sorgo, donde no se usa graminicidas en el segundo ciclo (sorgo) que controle efectivamente a las poblaciones de paja peluda resistentes a inhibidores de ALS. Sin embargo, no es el caso en la rotación maíz-cultivo hoja ancha donde si se pudieran usar herbicidas inhibidores de la ACCasa que potencialmente pudieran controlar a las poblaciones resistente.

La resistencia de maleza a herbicida se produce cuando una población dentro de una especie que anteriormente era susceptible es capaz de soportar la dosis comercial de un herbicida, completar su ciclo de vida y producir semillas en un sistema agrícola. La resistencia cruzada ocurre cuando una maleza resiste las dosis comerciales de dos o más herbicidas que comparten el mismo mecanismo de acción (Heap y LeBaron, 2001).

La resistencia de *Senecio vulgaris* a simazina, debida a modificaciones del sitio de acción, fue la primera documentación sobre este tema que se hizo en 1968 (Heap y LeBaron, 2001), a partir de allí ha habido una evolución de resistencia en muchas especies al punto de que actualmente se han señalado 315 poblaciones resistentes a herbicida en 183 especies (Heap, 2007). América Latina no ha escapado a este desarrollo vertiginoso de la resistencia de las malezas, ya que por el momento se han descrito en la literatura 21 malezas gramíneas con resistencia a herbicidas principalmente en cuatro cultivos, arroz, soya, trigo y frutales (Valverde, 2007).

En 1997 se hizo el primer estudio de resistencia de paja peluda a fluazifop-butil, en el cultivo de soya en

Louisiana, EEUU (Heap, 2007). En Bolivia se ha detectado resistencia cruzada de dos poblaciones de *R. cochinchinensis*, San Pedro y Yacapaní, a los herbicidas haloxyfop-R-metil y sethoxydim. Así mismo, el estudio determinó que el mecanismo de resistencia de estas dos poblaciones al sethoxydim fue debida a la insensibilidad de la enzima ACCasa por lo cual se sugiere que la resistencia cruzada observada podría ser debida a una reducción en la sensibilidad del sitio de acción de la enzima (Avila *et al.*, 2007).

La situación sobre la resistencia de malezas a herbicidas en Venezuela se ha documentado en 5 trabajos de investigación, entre ellos se citan casos en el cultivo del arroz tales como la resistencia de 19 poblaciones *Echinochloa colona* L., procedentes de Calabozo (Guárico) y Portuguesa al Propanil (Ortiz *et al.*, 1998) y a poblaciones de la misma malezas en Portuguesa han mostrado resistencia al fenoxaprop (Zambrano y Espinoza, 2004a). En otra especie llamada paja rugosa (*Ischaemum rugosum*), se detectaron poblaciones con resistencia al bispiribac sodio (Zambrano y Espinoza, 2004b). Más recientemente, se evidenció que poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis* recolectados en campos de maíz en Portuguesa han evolucionado resistencia a nicosulfuron (Delgado *et al.*, 2007).

Los herbicidas foramsulfuron + iodosulfuron, sal sódica, son herbicidas pertenecientes a los inhibidores de enzima acetolactato sintetasa, llamada comúnmente ALS (Karam, 2005), también conocida como acetohidroxyácido sintetasa (AHAS). La ALS es la enzima necesaria para la síntesis de los aminoácidos ramificados leucina, isoleucina y valina (WSSA, 2002).

En es país la mezcla de foramsulfuron + iodosulfuron es de reciente introducción en el mercado; a su vez comparte con el nicosulfuron el posicionamiento en ventas como herbicida sistémico, postemergente para control de gramíneas en maíz. Ambos herbicidas son agrupados como sulfonilúreas, cuyo mecanismo de acción es la inhibición de la ALS.

El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar la respuesta de diferentes poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D. Clayton resistentes al nicosulfuron, a dosis creciente de la mezcla herbicida foramsulfuron + iodosulfuron, con la finalidad de contribuir al conocimiento del manejo de la resistencia de la paja peluda a los herbicidas sulfonilúreas, herramienta básica para el diseño de estrategias de control de esta maleza en el cultivo de maíz en el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron semillas maduras de plantas de paja peluda en fincas con un historial de aplicación de nicosulfuron de más de 8 años en el estado Portuguesa. Estas poblaciones se sometieron a un experimento de dosis respuesta con nicosulfuron (Delgado *et al.*, 2007) y las poblaciones resistentes se seleccionaron para este ensayo. Así mismo, la accesión susceptible se escogió de un lugar en el jardín botánico del Departamento de Botánica de la Facultad de Agronomía UCV, donde nunca se ha aplicado herbicida. Estas semillas se multiplicaron bajo condiciones de invernadero.

Las semillas cosechadas se escarificaron, eliminándoles manualmente el artículo, sometiéndolas a un proceso de oxigenación en fiolas contentivas de 250 ml de agua destilada por 24 horas. Posteriormente, cada población fue colocado en bandejas sobre papel toalla humedecido con agua destilada estéril y se introdujeron en una cámara de germinación a temperatura constante de 30 °C.

Siguiendo la metodología de Fischer *et al.* (2000), se transplantaron 6 plántulas por pote de cada población cuando éstas mostraron la plúmula y radícula, cada maceta contuvo 3 kilogramos de suelo. El crecimiento de las plantas se realizó en un invernadero. Antes de la aspersión del xenobiótico se ralearon los potes y se dejaron 3 plantas del mismo estadio de desarrollo en cada uno. Cuando las plántulas mostraron 4 hojas (15 días después del transplante) se aplicó el herbicida.

Los tratamientos consistieron en la aplicación de dosis crecientes de foramsulfuron + iodosulfuron a las poblaciones resistentes a nicosulfuron Luchi, Gómez, Cedeño, Phaller, García y Esteger y en la susceptible (UCV), Cuadro 1. La aplicación se hizo con una asperjadora de CO₂ de espalda, que permitió la aplicación a presión constante a razón de 250 l ha⁻¹ usando boquillas In Jeet 8002 VF.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con 4 repeticiones.

Variables

Biomasa fresca: Las plantas se cosecharon cortándolas al ras del suelo a los 21 días después de la aplicación de los tratamientos.

RC₅₀: Es la inhibición del crecimiento provocada por el herbicida. Este valor representa la dosis de herbicida que inhibe el 50 % del crecimiento (peso fresco)

de las plantas tratadas en relación con las plantas testigo (Seefeldt *et al.*, 1995).

Índice de resistencia (ÍR): se calculó como la razón entre el valor de RC₅₀ de la población de interés sobre el valor de RC₅₀ de la población susceptible (UCV). Cuando el valor del ÍR fue mayor de 2, la población bajo estudio se consideró resistente (Valverde *et al.*, 2000).

Análisis estadísticos

Los valores de RC₅₀ se calcularon basados en la curva de dosis-respuesta, usando el modelo logístico descrito por Seefeldt *et al.* (1995). Este modelo usa la siguiente ecuación para expresar la biomasa fresca y de la dosis x del herbicida:

$$U_{ij} = C_i + \frac{D - C_i}{1 + \exp[b_i (\log(z_j) - \log(RC_{50}(i)))]}$$

Donde U_{ij} denota la respuesta a la dosis j del herbicida i ; D representa la asíntota superior del crecimiento de las plantas a la concentración cero que se supone es similar para el experimento (tratamiento sin herbicida), y C_i es el límite inferior a una dosis infinita del herbicida i . RC_{50} denota la dosis requerida del herbicida i para reducir el crecimiento de la planta a la mitad del valor entre D y C , y b_i es la pendiente de la curva cerca de la $RC_{50}(i)$.

CUADRO 1. Tratamientos de foramsulfuron + iodosulfuron* aplicados sobre poblaciones de paja peluda resistentes a nicosulfuron.

Tratamiento	g ha ⁻¹ a.i. foramsulfuron + a.i. iodosulfuron	Producto comercial (g ha ⁻¹)
0 X	0	0
0,25 X	18,6	30
0,5 X	37,2	60
1 X	74,4	120
2 X	148,8	240
4 X	297,6	480

X= dosis comercial de Equip Plus WG 62@*. De la dosis comercial de Equip plus de i.a. 72 g ha⁻¹ corresponde a foramsulfuron y i.a. 2,4 g m ha⁻¹ a iodosulfuron. Se aplicó activator en mezcla con el herbicida a razón de 1,5 l ha⁻¹.

Nomenclatura: N, N-dimetil -2-[3- (4,6- dimetoxipirimidin-2-il) ureidosulfonil] -4 formilaminobenzamida (foramsulfuron), (metil 4 iodo 2 [3 (4 metoxi-6-metil-1,3,5, triazin-2- il) ureidosulfurfonil] benzoato (iodosulfuron metil sodio). 2-[[[(4,6-dimethoxy-2-pyrimidinyl)amino]carbonyl]amino]sulfonyl]-N,N-dimethyl-3-pyridinecarboxamide (nicosulfuron), *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D. Clayton (ROTCO), *Zea Mays* L. (ZEAMA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró un buen ajuste de la biomasa fresca expresada como porcentaje de control en respuesta a las dosis foramsulfuron + iodosulfuron en la ecuación del modelo logístico, obteniéndose valores de R^2 entre 0,76 y 0,95 ($P < 0,01$), Cuadro 2.

Todas las poblaciones resistentes a nicosulfuron evaluadas en este experimento resultaron también con resistencia cruzada al foramsulfuron + iodosulfuron. También, se encontró una gradación de la resistencia a este herbicida, siendo las poblaciones Phaller, García, Gómez, Cedeño y Esteger, las que mostraron los valores más altos del índice de resistencia, 26,91; 24,64; 23,85; 22,58 y 21,01, respectivamente; mientras que Luchi tuvo el menor ÍR con 12,64. Así mismo, se evidenció que las poblaciones con mayor índice de resistencia necesitaron entre 3 a 4 veces la dosis del herbicida para inhibir el 50% de su crecimiento, mientras que Luchi con tan solo 2 veces la dosis del mismo xenobiótico tuvo la misma respuesta (Cuadro 2).

En la Figura se puede observar que la accesión Phaller a la dosis de i.a 297,6 g ha⁻¹ de foramsulfuron + iodosulfuron (4 veces la dosis del herbicida) no mostró afectación en la biomasa aérea mientras que Luchi a la dosis de i.a. 148,8 g ha⁻¹ (2 veces la dosis de herbicida) exhibió una reducción de esta variable; sin embargo, ambas poblaciones resultaron resistentes al foramsulfuron + iodosulfuron.

Estos resultados indican que los biotipos resistentes al nicosulfuron evaluados en esta investigación también son resistentes al foramsulfuron + iodosulfuron lo que sugiere que probablemente haya resistencia cruzada. Así mismo, este estudio indica que la resistencia de la paja peluda al foramsulfuron e iodosulfuron quizás pudo deberse a su exposición previa y sistemática al nicosulfuron, sin embargo, hacen falta conducir más estudios para conocer el mecanismo de resistencia.

En la literatura se cita que en algunos casos de malezas con resistencia a inhibidores de ALS se debe a mutaciones en el sitio de acción de la enzima, produciéndose una gradación y patrones de resistencia cruzada entre herbicidas inhibidores de ALS pertenecientes a diferentes clases (Wright *et al.*, 1998),

Otros autores han encontrado que la resistencia podría deberse a la degradación metabólica tal como ocurre con la tolerancia de los cultivos a sulfonilureas: hidroxilación, O-dealkilación y desterificación o quizás debido a la participación del sistema de la P-450 citocromo monooxigenasa (Devine *et al.*, 1993)

CUADRO 2. Parámetros de la ecuación log-logística usados para calcular la dosis del herbicida foramsulfuron + iodosulfuron requerida para reducir 50% de la biomasa fresca (RC_{50}) en poblaciones resistentes y susceptibles al nicosulfuron de *R. cochinchinensis*, índice de resistencia (ÍR).

Población	D	c	b	RC50 i.a. g ha ⁻¹	ÍR	R ²
Phaller	3,2395	0,0014	15,4600	327,3600	26,9113	0,7600
García	3,2389	0,0014	4,0000	297,6000	24,4648	0,9000
Gómez	3,2389	0,0014	2,7300	290,1600	23,8532	0,9500
Cedeño	4,2337	0,1215	3,0150	274,6922	22,5817	0,9300
Esteger	4,0000	0,1258	2,6551	255,6384	21,0153	0,9300
Luchi	3,2389	0,0019	4,4982	153,8071	12,6440	0,8800

RC_{50} Población Susceptible (UCV)=12,1664; ÍR= Razón entre el RC_{50} Resistente y RC_{50} Susceptible; d= asíntota superior del crecimiento de las plantas a la concentración cero; c= límite inferior a una dosis infinita del herbicida; b= pendiente de la curva cerca de la RC_{50} ; R^2 = ajuste de los valores observados y los estimados por el modelo.



FIGURA. Respuesta de los biotipos de paja peluda, UCV-susceptible (S), Phaller (R) y Luchi (R) a dosis crecientes de 0; 18,6; 37,2; 74,4; 148,8 y 297,6 g ha⁻¹ del herbicida i.a. foramsulfuron + iodosulfuron.

Es necesario integrar prácticas de manejo para reducir la evolución de resistencia en la paja peluda; el uso de pendimetalin podría ser de gran ayuda en las estrategias a desarrollar, ya que este herbicida posee otro mecanismo de acción, sin embargo, falta aún por dilucidar el tipo de mecanismo de acción de esta resistencia, lo que dará una idea más clara para su manejo dado que si el tipo de resistencia es por sitio de acción sería funcional el cambio a herbicidas con diferentes mecanismos de acción, pero, si la resistencia es metabólica quizás no pudiera funcionar tal rotación.

CONCLUSIÓN

- Las poblaciones de paja peluda resistentes a nicosulfuron recolectadas en campos de maíz en el estado Portuguesa, mostraron resistencia cruzada al foramsulfuron + iodosulfuron.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean agradecer la colaboración de ASOPORTUGUESA por el apoyo brindado durante la recolección de las semillas, especialmente a su Asesor Técnico, Ingeniero Samuel Cabrera.

BIBLIOGRAFÍA

- Ávila, W., A. Bolaños and B. Valverde. 2007. Characterization of the cross-resistance mechanism to herbicides inhibiting acetyl coenzyme-A carboxylase in itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) biotypes from Bolivia. *Crop Protection* (26):342–348.
- Delgado, M., A. Ortiz Domínguez y C. Zambrano. 2007. Resistencia de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D. Clayton al herbicida nicosulfuron en cultivos de maíz. *Agronomía Trop.* 56(2):171-182.
- Devine, M., S. Duke and C. Fedtke. 1993. *Physiology of herbicide action*. Prentice Hall. Englewood Cliffs. NJ. 102 p.
- FEDEAGRO. 2007. Estadísticas agrícolas, Disponible: <http://www.fedeagro.org/> [Consulta: 2007, Julio 5]
- Fischer, A, D. Bayer and J. Hill. 2000. Herbicide resistant *Echinochloa oryzoides* and *E. phyllopogon* in California *Oryza sativa* fields. *Weed Science.* 48:225-230.
- Heap, I. 2007. *Internacional Survey of Herbicide Resistant Weeds*, [Documento en línea], Disponible: <http://www.weedscience.org/in.asp> [Consulta: 2007, Enero 9].

- Heap, I and H. Lebaron. 2001. Introduction and Overview of Resistance. In: *Herbicide Resistance and World Grains*. Stephen Powles and Dale Shaner, Eds. Washington. DC. 1-22 p.
- Karam, D. 2005. Características do Herbicida *Foramsulfuron Iodosulfuron-Methyl-Sodium* na Cultura do Milho, Circular tecnica Ministerio de agricultura, pecuaria y abastecimiento, EMBRAPA Milho e Sorgo, [disponible on line: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/CircTec58.pdf>] [Consulta: 2007, julio 6]
- Ortiz, A., M. Pacheco, V. Pérez, R. Ramos y E. Seijas. 1998. Identificación de poblaciones de *Echinochloa colona* (L.) Link., potencialmente resistentes al propanil en Venezuela. *Rev. COMALFI (Colombia)* 26:21-27.
- Seefeldt, S., J. Jensen and P. Fuerst. 1995. Log-Logistic analysis of herbicide dose- response relationships. *Weed Technology* 9:218-227.
- Valverde, B. 2007. Status and Management of Grass-Weed Herbicide Resistance in Latin America, *Weed Technology* 21:310-323.
- Weed Science Society of America (WSSA), 2002, *Herbicide Handbook*, Second edition, 493 p.
- Wright, T, N. Baserub, S. Sturner, and D. Penner. 1998. Biochemical mechanism and molecular basis for ALS inhibiting herbicide resistance in sugarbeet (*Beta vulgaris*) somatic cell selections. *Weed Sci.*, 46, 13 (1998).
- Zambrano, C. y H. Espinoza. 2004(a). Evaluación de la resistencia de poblaciones de *Echinochloa colona* (L.) Link al fenoxaprop-p-etil en arroz (*Oryza sativa* L.) provenientes de diferentes localidades del estado Portuguesa, En: *Memorias XI Congreso de Malezas*, UNET, Táchira, Venezuela. 111 p.
- Zambrano, C y H. Espinoza, 2004 (b), Evaluación de la resistencia de poblaciones de *Ischaemum rugosum* al bispiribac sodio en arroz (*Oryza sativa* L.) provenientes de los estados Portuguesa y Guárico. En: *Memorias XI Congreso de Malezas*, UNET, Táchira, Venezuela. 112 p.

PRODUCTIVIDAD DEL MANGO EN UNA POBLACIÓN DE ALTA DENSIDAD DURANTE EL PERÍODO DE PLENA PRODUCCIÓN

MANGO PRODUCTIVITY OF A HIGH DENSITY POPULATION DURING FULL PRODUCTION PERIOD

Luis Avilán*, Enio Soto*, Carlos Marín R.*, Mercedes Pérez*, Margot Rodríguez** y José Ruíz**

1 Trabajo financiado en parte por el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT).

* Investigador y ** Técnicos Asociados a la Investigación. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Maracay, estado Aragua, 2101. Apdo. postal 588. Venezuela. avilan@telcel.net.ve, esoto@inia.gob.ve, avilanrovira@hotmail.com.

RESUMEN

En árboles de mango de los cultivares Haden, Edward, Tommy Atkins y Springfels, injertados sobre "criollo" distanciados a 6 metros entre sí (278 pl ha⁻¹) se evaluó durante período de plena producción, empleando un arreglo factorial 4x6 sobre un diseño totalmente aleatorizado el efecto de la poda y el regulador de crecimiento Paclobutrazol o PBZ aplicado al suelo (i.a. 2,5 g por planta-1) sobre el desarrollo vegetativo y la producción. Los tratamientos fueron: Testigo (T) en libre crecimiento, T+PBZ, Poda (P) a 2,5 m de altura del suelo y corte de los extremos laterales a un radio de 2,0 m del tronco de la planta, P+PBZ, P+corte de los extremos laterales a un radio de 1,8 m del tronco de la planta (P+L), y P+ entesaque de 1-2 ramas principales desde su inserción en el tronco (P+E). En todos los tratamientos se aplicó (KNO₃) al 6% a los 5 meses de la poda. Las variables estudiadas fueron: incremento anual del volumen de copa (IVC), rendimiento (kg y N° de frutos planta⁻¹) y eficiencia productiva (kg y N° frutos m⁻³). Los resultados señalan diferencias significativas en el IVC entre los mantenidos en libre crecimiento con y sin PBZ y los podados, pero no entre estos últimos. Los IVC determinados fueron acentuadamente menores a los establecidos durante el período de crecimiento. Los rendimientos promedios (t ha⁻¹) para los 4 ciclos fueron 40,8 T; 36,1 T+PBZ; 26,0 P; 26,9 P+PBZ; 21,2 P+E y 25,8 P+L, los cuales superan y en algunos casos duplican las 22 t ha⁻¹ obtenidos en el sistema tradicional (69 pl ha⁻¹) utilizado en el país.

Palabras Clave: Mango; *Mangifera indica* L.; alta densidad; poda; regulador; rendimiento.

SUMMARY

The ten years old trees cultivars 'Haden', 'Tommy Atkins', 'Springfels' and 'Edward' grafted on "Criollo" were planted at 6x6 m (278 trees ha⁻¹) to evaluate the pruning effect at 2,5 m height of soil and lateral branches pruning of radius at 2,0 and 1,8 m, the Paclobutrazol (PBZ) effect when applied to the soil (2.5 g ai per tree) and flowering promoter potassium nitrate (KNO₃), at 6%, on the vegetative growth and yield and efficiency productive of the mango cultivars. The treatments were: Checker (T), T + PBZ, Pruning (P) and P + PBZ. P + lateral branches pruning of radius at 1,8 m (P+L) and P + pruning of internal primary branches (P+E). The studied variables were increase of canopy volume (ICV), yield (kg tree⁻¹) and productive efficiency (kg tree m⁻³). Yields (t ha⁻¹) for the four cycles 2000-2004, for the different treatments were: 40,8 T; 36,1 T+PBZ; 26,0 P; 26,9 P+PBZ; 21,2 P+E and 25,8 P+L. These yields were higher (>200%) than the one reached by low tree density system (69 tree ha⁻¹) in the same time.

Key Words: Mango; *Mangifera indica* L.; high density; regulator; pruning; yield.

INTRODUCCIÓN

El mango, *Mangifera indica* L., constituye uno de los frutales más difundidos a escala nacional con 8 650 ha (Venezuela, 2000); cuya participación en los mercados internacionales se ha venido acrecentando en los últimos años. Sin embargo, el bajo nivel de producción promedio de 12 a 15 t ha⁻¹ cuando las plantaciones alcanzan los 12-14 años de edad, período dentro del comportamiento productivo donde la planta alcanza los mayores índices de eficiencia productiva, será un factor que a corto o mediano plazo limitará su competitividad en los mercados (Avilán, 1988). Entre las causas que lo motivan, se citan el empleo de bajas densidades de población por hectárea (69 plantas ha⁻¹), debido al uso de patrones y copas caracterizados por inducir un alto vigor vegetativo (VV), y la ausencia de procedimientos físicos y/o químicos para controlar el porte o tamaño del árbol (Avilán *et al.*, 1998).

El empleo de altas densidades de población como alternativa para incrementar la producción y la productividad del mango y de los frutales perennes de tipo arbóreo en general, implica la introducción de técnicas como la poda, aplicación de reguladores de crecimiento y promotores de la floración, orientadas en su conjunto, al control de las dimensiones de la planta para disminuir la competencia de luz por efecto del auto sombreado y el de las plantas adyacentes, y así favorecer el proceso productivo (Kulkarni, 1991).

Los rendimientos por unidad de área (ha) en alta densidad alcanzados en diversas experiencias de campo, empleando de manera aislada o combinada las técnicas antes citadas han superado con creces los obtenidos en los huertos establecidos con el sistema tradicional caracterizado por la baja densidad de población (Avilán *et al.*, 2001 y 2005; Medina-Urrutia, 1994, Charnvichit *et al.*, 1991; Campbell, 2000; Campbell y Wasielewski, 2000)

Dentro del ciclo de vida productivo de la planta (Avilán, 1980, 1988) el período de plena producción, corresponde a la etapa del árbol donde existe una estrecha relación entre el incremento del volumen del follaje y el número de frutos producido. Se inicia alrededor de los 9 años de edad y se prolonga hasta los 14-15 y durante este período el árbol alcanza los mayores índices de fructificación o número de frutos/m³ de follaje.

En cultivares con diferente VV establecidos en alta densidad de población (278 pl ha⁻¹), durante el período de plena producción, se evaluó la respuesta de la planta

a la aplicación de la poda y un regulador de crecimiento para reducir la competencia y evidenciar su incidencia en la producción de frutos. Este ensayo es una continuación del iniciado en 1996 cuando las plantas tenían 5 años de edad y fue evaluado hasta que alcanzaron los 9 años, es decir, cuando se encontraban dentro del período de crecimiento (Avilán *et al.*, 2001 y 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

En el campo experimental del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP-INIA) localizado en la región centro norte del país (10°17' N, 67°37' W), caracterizado como Bosque Seco Tropical, que tiene como límites climáticos generales una precipitación entre 850 y 1 000 m.m., anuales, una temperatura media anual entre 24 °C y 26 °C, situado a una elevación de 450 m.s.n.m., y suelos con buenas condiciones físicas de mediana fertilidad natural, clasificados dentro del Orden Entisol (Ewel y Madriz, 1968); se condujo un ensayo desde el 2000 cuando los árboles tenían 10 años de edad y hasta que alcanzaron los 14 años de edad, dentro del período de plena producción (Avilán, 1980, 1988), sembrados a una distancia de 6 metros entre sí (278 pl ha⁻¹) de los cultivares Haden de alto, Edward y Tommy Atkins de intermedio y Springfels de bajo VV, respectivamente, para evaluar el efecto de la poda en diferentes intensidades y un regulador de crecimiento sobre el desarrollo vegetativo y la producción de frutos.

Las diferentes modalidades de poda (Cuadro 1) fueron: la eliminación de la parte superior de la copa (topping) a 2,5 m de altura del suelo, corte de los extremos laterales a un radio de 2,0 m y 1,8 m del tronco de la planta; los cuales se efectuaron al inicio de cada ciclo anual de producción (CAP); mientras el entresaque de 1 ó 2 ramas principales, eliminadas desde su base o punto de inserción al tallo, solamente al inicio del ensayo. En todos los cortes fue aplicado un cicatrizante.

El regulador de crecimiento empleado fue el Paclobutrazol o PBZ (cultar®) cuya aplicación al suelo se realizó un mes después de efectuada la poda, a razón de i.a. 2,5 g por planta. El producto se disolvió en 3 litros de agua y se esparció alrededor del tallo en una franja distanciada de 1 m a 1,5 m del mismo. Como promotor de la floración para toda la población del ensayo se empleó el nitrato de potasio (KNO₃) al 6%, a los 5 meses de realizada la poda; en consideración de que los brotes podados y sin podar, a los 5 meses están aptos para ser inducidos a florecer (Avilán *et al.*, 2000).

CUADRO 1. Tipos de poda aplicados a cuatro cultivares de mango.

Tratamientos	Descripción
TESTIGO (T)	Libre crecimiento. Sin poda a 2,5 m de altura del suelo y sin aplicación del controlador de crecimiento PBZ*
TESTIGO + PBZ* (T+PBZ)	Libre crecimiento. Sin poda a 2,5 m de altura del suelo y con aplicación del controlador de crecimiento PBZ
PODA (P)	Poda a 2,5 m de altura del suelo y corte de las ramas laterales en un radio de 2,0 m del tronco, sin aplicación del controlador de crecimiento PBZ.
PODA + PBZ (P+PBZ)	Poda a 2,5 m de altura del suelo y corte de las ramas laterales en un radio de 2,0 m. del tronco, con aplicación del controlador de crecimiento PBZ.
PODA + Entresaque (P+E)	Poda a 2,5 m de altura del suelo y corte de las ramas laterales en un radio de 2,0 del tronco, con entresaque de 1-2 ramas principales desde la base, y sin aplicación del controlador de crecimiento PBZ.
PODA + Lateral (P+L)	Poda a 2,5 m de altura del suelo y corte de las ramas laterales en un radio de 1,8 m del tronco, y sin aplicación del controlador de crecimiento PBZ

* PBZ: Regulador de crecimiento Paclobutrazol.

En el ensayo de campo fue empleado un arreglo factorial 4x6 sobre un diseño totalmente aleatorizado cuyos factores se constituyeron por los cultivares y los tipos de poda; lo que generó un total de 24 combinaciones de tratamientos (Cuadro 2), cada uno con 3 repeticiones. Cada parcela experimental estuvo constituida por un árbol. Se considera que un CAP se inicia en la última semana del mes de julio y culmina después de la cosecha de los frutos en la penúltima semana del mes de julio del año siguiente.

Las variables estudiadas fueron: incremento del volumen de copa (IVC) anual (m³), determinado por la diferencia del volumen de la copa al inicio y al final de cada ciclo (IVC = V_{final} - V_{inicial}) empleando la fórmula: $(4/3)\pi r^2(1/2)h$, donde: h es la altura de la planta y r el radio de la copa. El rendimiento se estableció por el peso en kg (PF) y el

número (N°F) de frutos de cada árbol. La eficiencia productiva (EP) se determinó relacionando el rendimiento en peso (EPF) y el número (EPN°) de frutos con el volumen (m³) de la copa al final de cada CAP.

Dentro de cada CAP se realizó un análisis de la varianza. Posteriormente, fue empleado el análisis de la varianza combinado en el tiempo, considerando los CAP como las subparcelas principales constituidas por los cultivares y los tipos de poda (Soto, 1986).

CUADRO 2. Tratamientos evaluados.

Cultivar	Tratamiento	N° de Tratamiento
Haden	Testigo	1
	Testigo + PBZ	2
	Poda	3
	Poda + PBZ	4
	Poda + Lateral	5
	Poda + Entresaque	6
Edward	Testigo	7
	Testigo + PBZ	8
	Poda	9
	Poda + PBZ	10
	Poda + Lateral	11
	Poda + Entresaque	12
Tommy Atkins	Testigo	13
	Testigo + PBZ	14
	Poda	15
	Poda + PBZ	16
	Poda + Lateral	17
	Poda + Entresaque	18
Springfels	Testigo	19
	Testigo + PBZ	20
	Poda	21
	Poda + PBZ	22
	Poda + Lateral	23
	Poda + Entresaque	24

La separación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey con un nivel de significación del error tipo I al nivel de P = 0,05 (Snedecor y Cochran, 1982). Previamente se probaron los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk), homocedasticidad (prueba de Bartlett), aleatoriedad (prueba de Mediana), aditividad (prueba de Tukey) y autocorrelación (prueba de Durban-Wartson) según Steel y Torrie, (1960) en las variables IVC, PF, N°F y EP. Estas pruebas permitieron demostrar que las variables en estudio presentaron sendas distri-

buciones normales, con coeficientes de variación entre 30 y 35%. Estos valores son comunes en el cultivo de frutales perennes de tipo arbóreo. Para corregir los coeficientes de variación se utilizó la transformación de la raíz cuadrada: $y_t = \sqrt{y_i + 0,5}$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico combinado (Cuadro 3) de los 4 CAP, desde el 2000 hasta el 2004, señalan que el manejo o Tipos de poda (TP) indujo respuestas diferentes entre los cultivares (C) evaluados a través de las variables: incremento anual del volumen (m³) de la copa (IVC), rendimiento PF (kg) o N°F (número) de frutos planta⁻¹ y la eficiencia productiva (EP) en kg (EPF) o en número de frutos (EPN°) por m³ de copa.

Incremento anual del volumen de copa (IVC)

El análisis estadístico de la variable IVC (Cuadro 3) mostró diferencias altamente significativas entre C, TP, CAP y la interacción simple CAP x TP. El mayor IVC entre los C ocurrió en Haden seguido en orden decreciente por Edward y Tommy Atkins, ocupando el último lugar el Springfels (Cuadro 4), lo cual se corresponde

con el VV alto, intermedios y bajo, respectivamente, que los caracteriza (Ruehle y Ledin, 1955; Campbell, 1988).

En los TP el IVC (Cuadro 5) presentó diferencias altamente significativas entre los mantenidos en libre crecimiento con y sin aplicación del regulador (PBZ) de crecimiento (T y T+PBZ) y las intervenidas con la poda; presentando éstas últimas los más altos IVC, independiente de la intensidad aplicada. Mika (1986) señala que cuando se efectúa remoción de follaje, la planta trata de restituir el balance que existía entre el sistema radical y la parte aérea, antes de la aplicación de la poda. El IVC promedio para los 4 CAP en T y T+PBZ fueron de 8% y 16%, respectivamente, mientras en las intervenidas por la poda el IVC varió entre 254% y 286%, correspondiéndole éste último al P + E.

El IVC de T+PBZ y T no mostraron diferencias significativas entre sí; así como tampoco entre las plantas intervenidas con la poda sin y con aplicación del PBZ (P, P + L, P + E y P+PBZ). Estos resultados indican que el efecto del PBZ fue poco eficiente en el control de la tasa de crecimiento, en contraposición a los resultados obtenidos por otros investigadores (Ferrari y Sergent, 1996; Medina-Urrutia, 1994; Charnvichit *et al.*, 1991).

CUADRO 3. Cuadros medios y su significación, generado por las variables incremento del volumen de copa (IVC) anual; rendimiento en peso (PF) y número de frutos (N°F) y eficiencia productiva (EP). Ciclos de producción 1999-2003.

Fuentes	GL	IVC	Pr > F	PF	Pr > F	N°F	Pr > F	EPF	Pr > F	EPN°	Pr > F
Cultivar (C)	3	1978,525	0,0039	62866,47	0,0001	67909,57	0,0001	14,8208	0,0001	12,3226	0,0001
Tipo Poda(TP)	5	19734,139	0,0001	35131,74	0,0001	97537,53	0,0001	1,5466	0,0003	2,7203	0,0018
C x TP	15	324,389	0,6383	2629,17	0,0108	9522,58	0,0001	0,4304	0,1094	1,0972	0,0576
Rep CXTP	48	389,538	0,0001	2655,04	0,0002	4436,85	0,0232	0,269	0,132	0,5995	0,0179
Ciclo (CAP)	3	4616,256	0,0001	93031,5	0,0001	276092,45	0,0001	5,4316	0,0001	16,2265	0,0001
CAP x C	9	153,841	0,2042	2205,08	0,0731	2134,97	0,4416	6,2901	0,2005	0,5478	0,1676
CAP x TP	15	330,61	0,0004	1846,08	0,4799	9237,64	0,0001	0,2723	0,2098	0,4191	0,3451
CAP x C x TP	45	93,608	0,7516	1143,15	0,5959	2259,32	0,3883	0,1988	0,5693	0,4403	0,2369
r²		0,904		0,837				0,774		0,764	
CV		26,12		32,89				39,53		36,87	
X		40,47		106,4				1,158		1,66	

* P probabilidad de F calculado >F tabulado

** Cuadros medios y coeficiente de variación fueron estimados a partir de los valores transformados y las medias se estimaron a partir de los valores transformados.

CUADRO 4. Comparación de medias del IVC anual de los cultivares (C).

Cultivar	Media	Grupo
Haden	46,83	a
Edward	41,77	b
Tommy Atkins	39,01	b
Springfels	34,29	c

Valores con letras similares no presentan diferencias significativas.

CUADRO 5. Comparación de medias del IVC anual del Tipo de Poda (TP).

Tipo de Poda	Media	Grupo
T	12,15	b
T+PBZ	16,57	b
P	53,46	a
P+PBZ	53,23	a
P+L	53,99	a
P+E	53,44	a

Valores con letras similares no presentan diferencias significativas
T: testigo; T+PBZ: testigo más paclobutrazol; P: poda; P+PBZ: poda más paclobutrazol; P+E: poda más entresaque; P+L: poda más corte lateral.

Este hecho puede estar asociado a que la dosis empleada (i.a. 2,5 g planta⁻¹) fue baja en relación con el alto VV que caracteriza a los cultivares monoembrionicos en el trópico (Whiley, 1991) o tal vez con la época de aplicación, un mes después de realizada la poda, que al parecer no fue la más adecuada. Charnvichit *et al.* (1991), destacaron que debido a que el PBZ se transloca muy lentamente dentro del árbol, su aplicación debería realizarse después de la poda fuerte, pero luego que hayan ocurrido uno o dos flujos de crecimiento, pues estarían presente para ese momento un mayor número de hojas.

Entre los CAP, el IVC y la interacción simple CAP x TP presentaron diferencias altamente significativas (Cuadro 3). Los más bajos IVC fueron los correspondientes al CAP 2000-2001 (Cuadro 6) hecho que podría estar asociado al manejo dispensado a las plantas podadas durante los CAP que precedieron al inicio de ésta fase experimental. Durante el período de crecimiento, (desde los 5 y hasta los 9 años de edad) las plantas fueron anualmente podadas a 2 m de altura del suelo, mientras en la presente fase se realizó a 2,5 m (Avilán *et al.*, 2005). La diferencia en la altura del corte de la copa en la conducción de la planta, implicó en el continuo y normal crecimiento anual de la planta, que en la transición de un CAP a otro la intensidad o severidad de la poda aplicada, fuese relativamente menor a la que estaban sometidas, y ello pudo haber incidido en la respuesta de la planta.

CUADRO 6. Comparación de medias del IVC anual de la interacción TP x CAP

Tipo de Poda	2000 - 2001	2001 - 2002	2002 - 2003	2003 - 2004	x. TP
T	7,89 b	8,81 b	18,24 b	13,65 b	12,15 b
T+ PBZ	11,75 b	23,10 b	17,78 b	13,68 b	16,57 b.
P	34,86 a	57,71 a	59,89 a	61,40 a	53,46 a.
P+ PBZ	34,07 a	56,50 a	58,66 a	63,97 a	53,99 a.
P + E	41,51 a	60,39 a	57,00 a	57,05 a	53,79 a.
P + L	40,85 a	55,89 a	56,88 a	60,42 a	53,44 a.
x. CAP	28,49 a	43,73 a	44,69 a	44,98 a	

Valores con letras similares no presentan diferencias significativas T: testigo; T+PBZ: testigo más paclobutrazol; P: poda; P+PBZ: poda más paclobutrazol; P+E: poda más entresaque; P+L: poda más corte lateral. TP: tipos de poda; CP o CAP: ciclos de producción.

En los posteriores CAP los IVC donde se aplicó la poda, representaron el doble de los determinados en el CAP inicial del ensayo (Cuadro 6), lo cual corrobora lo antes señalado. Es importante destacar que durante la presente etapa de la planta, es decir el período de plena producción, la interacción simple CAP x TP presentó diferencias significativa entre el inicial y los posteriores; pero no entre estos últimos. Este hecho es indicativo de que a medida que se incrementa la edad de los árboles, la respuesta de las plantas a la intervención se va haciendo menos acentuada. Similar respuesta fue observada en el período de crecimiento (Avilán *et al.*, 2005).

Considerando que la remoción del follaje por la poda, constituida principalmente por ramas nuevas (brotes) y hojas, acarrea una extracción importante de las reservas de la planta, una reducción de la cuantía de la pérdida, redundará en una mayor capacidad de producción de la planta. Stassen *et al.* (2000 a y b) determinaron para el momento de la cosecha, los patrones de acumulación de varios elementos en las diferentes partes del árbol de mango, señalando que el nitrógeno y calcio en las hojas representó el 40% del contenido total en el árbol; y en relación a los otros elementos que los mismos se encuentra en alta proporción, como el potasio (20%) y el fósforo (15%).

Se estima que por cada kg de materia seca removida por la poda, considerando los diferentes componentes (ramas gruesas, brotes y hojas) se extraen 19,6 g de nitrógeno, 4,4 g de fósforo y 25,4 g de potasio (Avilán *et al.*, 2007). Este hecho es importante de considerar dentro del plan de fertilización del cultivo.

Rendimiento por planta (kg o N° de frutos planta⁻¹)

El análisis estadístico combinado de los cuatro CAP (Cuadro 3) para las variables PF y N°F indican la ocurrencia de diferencias altamente significativas entre los C, TP y CAP y significativa para la interacción simple C x TP; así como para N°F la interacción TP x CAP. En PF Springfels ocupó la primera posición seguido en orden decreciente por Tommy Atkins y en último lugar Haden y Edward (Cuadro 7); mientras en N°F Haden y Springfels intercambiaron posiciones, permaneciendo Tommy Atkins en segundo lugar y Edward en el último. Estos ordenes en la capacidad productiva de los C, se corresponden con las evaluaciones realizadas a lo largo de la vida útil de los mismos en el huerto de introducciones del CENIAP; y el cambio de posición del Springfels, está asociado al peso promedio del fruto que caracteriza al cultivar (Avilán *et al.*, 1998).

CUADRO 7. Comparación de medias del PF y N°F de los cultivares (C) y la interacción C x TP .

Tipos de Poda	Cultivares				
	Haden	Edward	T. Akins.	Springfels	Efecto TP
Peso Frutos					
T	147,00 a	119,00 a	161,16 a	164,58 b	147,93 a
T + PBZ	97,25 b	103,33 a	126,66 b	196,00 a	130,81 a
P	84,58 b	55,66 b	112,00 b	120,00 cd	93,06 b
P + PBZ	75,91 b	69,66 b	98,08 c	144,58 c	97,06 b
P + L	90,41 b	68,25 b	93,25 c	120,33 cd	93,06 b
P + E	47,16 c	42,00	101,16 bc	115,58 d	76,47 b
x. C	90,38 c	76,31 c	115,38 b	143,51 a	
Número Frutos					
T	318,33 a	186,58 a	243,08 a	176,58 a	231,14 a
T + PBZ	198,08 b	176,50 a	207,41 a	176,66 a	189,66 b
P	159,08 bc	79,58 b	179,41 b	170,83 a	134,72 dc
P + PBZ	154,50 c	109,58 b	167,25 b	142,91 ab	142,31 c
P + L	154,66 c	91,50 b	162,00 b	115,50 b	130,91 dc
P + E	82,97 d	72,08 b	156,50 b	128,66 b	110,04 d
Efecto C	177,93 a	119,30 c	185,11 a	143,52 b	

Valores con letras similares no presentan diferencias significativas T: testigo; T+PBZ: testigo más paclobutrazol; P: poda; P+PBZ poda más paclobutrazol; P+E: poda más entresaque; P+L: poda más corte lateral. C: cultivar; TP: tipo de poda.

Los frutos de Springfels son de tamaño grande (659,5±142 g fruto⁻¹); mientras los de Haden 493,9 ± 109, Edward 520,0±69 y Tommy Atkins 470,5±59 g/fruto, respectivamente, de tamaño intermedio (Avilán *et al.*, 1998).

En T y T+PBZ se presentaron los mayores PF y N°F diferenciándose significativamente del resto de los tratamientos donde las plantas fueron intervenidos por la poda. Estos resultados concuerdan, pero de manera inversa con la posición de los TP en relación al IVC (Cuadro 5). El mango pertenece al grupo de plantas donde es frecuente que medidas que estimulen el crecimiento vegetativo lo hagan a expensas de la floración y fructificación (Verheij, 1986; Cull, 1991). Whiley *et al.* (1989 y 1991) determinaron que a medida que se incrementa el desarrollo vegetativo disminuye la concentración de las reservas de almidón en la planta, y que altas concentraciones de almidón están asociadas con la floración y la productividad del mango.

Los rendimientos se incrementan, independiente de la alternancia en la producción con la edad de la planta, y los mayores PF y N°F se obtuvieron en el CAP del 2003-2004 cuando las plantas alcanzaron los 13 años de edad (Cuadro 8) seguido en orden decreciente por los que lo precedieron; 2002-2003 y 2001-2002, correspondiéndole al CAP de 2000-2001 cuando se inicio ésta fase del ensayo el menor rendimiento promedio.

Eficiencia Productiva (EP)

El análisis estadístico combinado de los 4 CAP (Cuadro 3) indica para EPF y EPN° la ocurrencia de diferencias altamente significativas entre los C, TP y CP. El Springfels y Tommy Atkins caracterizados respectivamente por un VV bajo e intermedio, ocuparon las primeras pociones, mientras Haden y Edward de alto e intermedio vigor, las últimas posiciones (Cuadro 9). La baja capacidad productiva del Edward, a pesar de su VV intermedio, está asociado a la época del inicio de la floración que generalmente ocurre 2 a 3 semanas antes que el resto de los cultivares, cuando aún no ha concluido el período de lluvias. Este hecho aunado a su elevada susceptibilidad a la "antracnosis" (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) acarrear una pérdida considerable de inflorescencias, afectando así su eficiencia productiva (Avilán *et al.*, 2002 y 2003, Soto *et al.*, 2004)

Los TP incidieron significativamente en EPF y EPN° (Cuadro 10), presentando los mayores índices P y P+PBZ, ocupando los últimos lugares T+PBZ y T, mientras el resto de los tratamientos (P+L, P+E) se ubicaron en las posiciones intermedias. La mayor EP se alcanzó durante el último CAP (2003-2004), el cual se diferenció significativamente de los CAP que le precedieron (Cuadro 10).

CUADRO 8. Comparación de medias del PF y N°F de los cultivares en los CAP.

Ciclo	Cultivares				
	Haden	Edward	T. Atkins.	Springfels	Efecto TP
Peso Frutos					
2000-2001	58,05 d	49,00 b	86,44 b	96,83 d	72,583 d
2001-2002	85,83 c	53,05 b	92,44 b	127,86 c	89,750 c
2002-2003	93,61 b	65,55 b	115,88 a	154,27 b	107,333 b
2003-2004	124,05 a	137,66 a	166,77 a	195,27 a	155,944 a
x. C	90,389 c	76,319 c	115,389 b	143,514 a	
Número Frutos					
2000-2001	116,44 b	77,72 b	135,72 b	87,50 b	104,347 c
2001-2002	153,22 b	80,27 b	148,61 b	112,72 b	123,708 c
2002-2003	185,72 b	98,77 b	185,77 b	144,00 b	153,569 b
2003-2004	256,33 a	220,44 a	270,33 a	229,88 a	244,250 a
Efecto C	177,931 a	119,306 c	185,111 a	143,528 b	

Valores con letras similares no presentan diferencias significativa C: cultivar; CAP o CP: ciclo de producción

CUADRO 9. Comparación de medias del EPF y EPN° de los cultivares (C) y la interacción C x TP

Tipos de Poda	Cultivares				
	Haden	Edward	T. Akins.	Springfels	Efecto TP
Peso Frutos					
T	0,828 a	0,658 a	1,00 a	1,17 a	0,916 c
T + PBZ	0,626 a	0,660 a	1,07 a	1,61 a	0,994 bc
P	0,989 a	0,804 a	1,65 a	1,71 a	1,290 a
P + PBZ	0,905 a	0,867 a	1,61 a	2,12 a	1,376 a
P + L	0,578 a	0,566 a	1,38 a	1,94 a	1,117 abc
P + E	1,081 a	0,976 a	1,26 a	1,73 a	1,252 ba
x. C	0,834 c	0,746 c	1,333 b	1,717 a	
Número Frutos					
T	1,797 a	1,031 a	1,500 a	1,253 a	1,395 c
T + PBZ	1,277 a	1,125 a	1,819 a	1,414 a	1,414 c
P	1,862 a	1,155 a	2,655 a	1,725 a	1,849 ab
P + PBZ	1,836 a	1,347 a	2,661 a	2,085 a	1,982 a
P + L	1,014 a	0,972 a	2,118 a	2,208 a	1,578 bc
P + E	1,870 a	1,260 a	2,175 a	1,655 a	1,740 abc
Efecto C	1,609 b	1,148 c	2,155 a	1,727 b	

Valores con letras similares no presentan diferencias significativas T: testigo; T+PBZ: testigo más paclobutrazol; P: poda; P+PBZ poda más paclobutrazol; P+E: poda más entresaque; P+L: poda más corte lateral. C: cultivar; TP: tipo de poda.

CUADRO 10. Interacción Ciclo (CP) por Cultivar (C) en relación a EPF y EPN°

Ciclo	Cultivares				
	Haden	Edward	T. Akins.	Springfels	Efecto TP
Peso Frutos					
2000-2001	0,674 b	0,579 b	1,270 b	1,408 b	0,9753 b
2001-2002	0,794 b	0,503 b	1,081 b	1,494 b	0,9685 b
2002-2003	0,875 b	0,657 b	1,279 b	1,713 b	1,1348 b
2003-2004	1,026 a	1,249 a	1,684 a	2,253 a	1,5530 a
x. C	0,834 c	0,745 c	1,333 b	1,717 a	
Número Frutos					
2000-2001	1,276 b	0,914 b	2,068 b	1,291 b	1,3878 bc
2001-2002	1,369 b	0,747 b	1,761 b	1,352 b	1,3075 c
2002-2003	1,713 b	0,962 b	2,099 b	1,617 b	1,5970 b
2003-2004	2,079 a	1,971 a	2,691 a	2,651 a	2,3483 a
Efecto C	1,609 b	1,148 c	2,155 a	1,727 b	

Valores con letras similares no presentan diferencias significativa C: cultivar; CP o CAP: ciclo de producción.

Las diferencias significativas que presentaron P y P+PBZ, en relación a los restantes TP evaluados, evidenciaron que el control del tamaño o porte de la planta a través de la poda mejora la EP facilitando el empleo de las altas densidades de población en la explotación del mango. La tendencia mundial en la explotación de los frutales perennes de tipo arbóreo, y en particular la del mango, está orientada hacia el empleo de marcos de plantación más estrechos lo cual implica necesariamente el uso de cultivares de pequeño tamaño y/o el control del porte del árbol a través de procedimientos físicos y/o químicos (Campbell y Wasielewski, 2000, Crane *et al.*, 1997).

Los árboles en T y T+PBZ en libre crecimiento, que presentaron los mayores rendimientos promedios (PF y N°F) por planta, alcanzaron para el CAP 2003-2004 alturas de copa que superan los 7 u 9 m (Cuadro 11). Esto además de dificultar las labores de cosecha, por localizarse la mayoría de los frutos en la parte superior del árbol, presentan en la parte inferior de la copa la

ocurrencia cada vez más acentuada y en dirección ascendente, de la pérdida de follaje y la proliferación de ramas secas. Proceso que no está asociado a la ocurrencia de ataques fitopatológicos, sino a la carencia de una iluminación adecuada, que algunos denominan auto poda. Whiley *et al.* (1989) señalan que en régimen de temperaturas diurnas y nocturnas de 30/25 °C, como las imperantes en el trópico, el número de hojas como el tamaño de las mismas se incrementa y la longitud de los flujos es mayor.

Los rendimientos por planta (Cuadro 7) en los diferentes TP evaluados en alta densidad de población (278 Pl ha⁻¹) son inferiores a los considerando como el rendimiento "óptimo" de 300-320 kg planta⁻¹ establecido en árboles en libre crecimiento para 12 a 14 años de edad (Avilán, 1998).

Sin embargo, por unidad de área (ha) superan y en algunos casos duplican (Cuadro 12) las 22 t ha⁻¹ obtenidos en baja densidad (69 Pl ha⁻¹) tradicionalmente utilizado en el país.

CUADRO 11. Altura promedio (m) de los árboles al final del CAP 2003-2004 en libre crecimiento con y sin aplicación de PBZ.

Tratamiento	Haden	Edward	Tommy Atkins	Springfels	Promedio(m)
Testigo (T)	8,86	9,50	8,56	6,71	8,40
T+PBZ	7,97	7,66	7,28	7,08	7,49

PBZ: Paclobutrazol.

CUADRO 12. Rendimiento en kg planta⁻¹ y por ha, estimado en los sistemas de alta (1) y baja densidad de plantación (2).

Sistema de Plantación	Manejo del cultivo	Número Pl ha ⁻¹	kg Pl ⁻¹	t ha ⁻¹
Tradicional (1) (Baja densidad)	Libre crecimiento	69	320	22,0
	Libre crecimiento (T)		147,9	40,8
Alta densidad (2)	T+PBZ		130,8	36,1
	Poda (P)	278	93,0	26,0
	P+PBZ		97,0	26,9
	P+ Entresaque		76,4	21,2
	P+ Lateral		93,0	25,8

PBZ: Paclobutrazol (1) Rendimientos obtenidos en el ensayo (2) Rendimiento estimado considerando el rendimiento "óptimo" (Avilán, 1988).

Las evaluaciones en relación a la intensidad de la poda evidencian que si bien mejoraron EP redujeron acentuadamente la producción de frutos; lo cual indica que el grado de severidad utilizada amerita de una revisión. La altura del corte de la copa de 2,5 m empleado al inicio de cada CAP durante la conducción en el ensayo representó menos del 50% de los 4,5 a 6 m de la altura del corte de copa recomendada por Young y Sauls (1979) para el manejo del mango en alta densidad en Florida (USA).

En su trabajo Medina-Urrutia (1994) indica que para minimizar el efecto negativo de la excesiva respuesta vegetativa cuando se realiza una poda drástica que éstas deben ser bianuales. Así mismo, la utilización de la técnica de la poda, debe ser acompañada de otras alternativas (anillado) para el control del porte de planta y promotores de la floración para asegurar el éxito en el establecimiento de las altas densidades de población.

CONCLUSIONES

- Los mayores incrementos anuales de follaje (IVC) por el empleo de la poda, estuvo asociada al VV de los cultivares, alto en Haden, intermedio en Edward y Tommy Atkins y bajo en Springfels.
- Los resultados señalan diferencias significativas en el IVC anual entre los mantenidos en libre crecimiento sin y con aplicación de PBZ (T y T+PBZ) y los podados (P, P + L, P + E y P+PBZ), pero no entre estos últimos.
- Los IVC determinados, en general, fueron acentuadamente menores a los establecidos durante el anterior período de crecimiento, indicativo que la tasa de crecimiento durante el presente período tiende a disminuir.
- La respuesta menos acentuada de la planta al empleo de la poda durante el período, implica una reducción de la magnitud del follaje a ser removido para la configuración de las copas, y en consecuencia de una menor cuantía de elementos extraídos de las reservas de la planta, atenuando así el efecto negativo sobre la capacidad de producción.
- Los cultivares Springfels y Tommy Atkins de porte bajo e intermedio, respectivamente, fueron los más productivos, seguidos en orden decreciente por Haden y Edward caracterizados, respectivamente por VV alto e intermedio.
- Los árboles en libre crecimiento con y sin aplicación de PBZ (T + PBZ y T) presentaron la menor EP.
- La intervención moderada de la copa (topping) y el uso del PBZ, de forma aislada o combinada mejoró significativamente la EP. El P + PBZ y P fueron los de mayor EPF y EPN°.
- Los rendimientos ($t\ ha^{-1}$) fueron 40,8 T; 36,1 T+PBZ; 26,0 P; 26,9 P+PBZ; 21,2 P+E y 25,8 P+L, los cuales superan y en algunos casos duplican las 22 $t\ ha^{-1}$ obtenidos en el sistema tradicional ($69\ Pl\ ha^{-1}$) usualmente empleado en el país.

BIBLIOGRAFÍA

- Avilán, L., H. Escalante, C. Marín, E. Soto, M. Pérez, M. Rodríguez y J. Ruiz. 2007. Contenido estimado de NPK en el follaje removido por la poda en mango sembrado en alta densidad. *Agronomía Trop.* 57(2):113-122 p.
- Avilán, L., C. Marín, M. Rodríguez y J. Ruiz. 2005. Producción forzada del mango (*Mangifera indica* L.) en alta densidad (278 planta .ha) durante el período de crecimiento. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*.22:99-111 p.
- Avilán, L., M. Azkue, E. Soto, M. Rodríguez, J. Ruiz y H. Escalante. 2003 Efecto de la poda y el empleo de un regulador de crecimiento sobre el inicio de la floración en mango. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*.20:430-442 p.
- Avilán, L., C. Marín, M. Pérez, E. Soto, M. Rodríguez, J. Ruiz y H. Escalante. 2002. Floración de cultivares de mango de la colección del INIA-CENIAP. *Agronomía Trop.* 52(4):449-462 p.
- Avilán, L., C. Marín, M. Rodríguez y J. Ruiz. 2001. Crecimiento, floración y producción del mango sometido a diferentes tratamientos en plantaciones de alta densidad. *Agronomía Trop.* 51(1):29-47 p.
- Avilán, L., C. Marín, M. Rodríguez y J. Ruiz. 2000. Comportamiento de los brotes de mango en plantas tratadas con diferentes intensidades de poda, paclobutrazol y nitrato de potasio. *Agronomía Trop.* 50(3):347-360 p.

- Avilán, L., I. Dorantes y M. Rodríguez. 1998. Selección de cultivares de mango para el comercio de frutos frescos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 1952-1966. *Agronomía Trop.* 48(2):107-122.
- Avilán, L. 1980. El índice de fructificación en frutales perennes. *Agronomía Trop.* 30(2):147-157.
- Avilán, L. 1988. El ciclo de vida productivo de los frutales de tipo arbóreo en medio tropical y sus consecuencias agro-económicas. *Fruits* 43:517-529.
- Campbell, R. 2000. Strategies for profitable mango production in the new millennium. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture. 44:47-51.
- Campbell, R and J. Wasielewski. 2000. Mango tree training techniques for the hot tropics. *Acta Horticulturae*.509:641-651.
- Charnvichit, S., P. Tongumpai, S. Saguansupayakorn, L. Phavaphutanon y S. Subhardrabandhu. 1991. Effect of Paclobutrazol on canopy size control and flowering of mango cv Nam Dok Mai Twai N°4, after hard pruning. *Acta Horticulturae* 291:60-66.
- Crane, J., I. Bally, R. Mosqueda-Vazquez and E. Tomer. 1997. Crop production. In: R Litz (Ed) *The Mango, Botany, Production and Uses*. CAB International. Oxon. Wallingford: 203-256.
- Cull, B. 1991. Mango crop management. *Acta Horticulturae*. 291:154-173.
- Ewel, L y J. Madriz. 1968. Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Caracas. Ministerio de Agricultura y Cría. Editorial Sucre. 265 p.
- Ferrari, D y E. Sergent. 1996. Control químico del crecimiento vegetativo del mango (*Mangifera indica* L.) cv Haden, mediante aplicaciones de Paclobutrazol. *Revista Facultad de Agronomía (Maracay)*. Alcance 50:81-88.
- Kulkarni, V. 1991. Tree vigour control in mango. *Acta Horticulturae* 291:229-234.
- Medina-Urrutia, V. 1994. Poda y Paclobutrazol afectan el crecimiento y producción de árboles jóvenes de mango 'Tommy Atkins'. *Proceedings Interamerican Society Tropical Horticultural*. 38:50-55.
- Mika, A. 1986. Physiological responses of fruit trees to pruning. *Horticultural Reviews* 8:337-378 p.
- Ruehle, D. y R. Ledin. 1955. Mango growing in Florida. Gainesville. University of Florida. Bulletin 574. 90 p.
- Soto, E., L. Avilán, U. Emaldi, M. Rodríguez y J. Ruiz. 2004. Comportamiento y características de algunos cultivares promisorios de mango. *Agronomía Trop.* 54(2):179-201.
- Soto, E. 1986. Análisis de observaciones repetidas en el tiempo. I Caso Univariado. *Revista Facultad de Agronomía (Maracay)*. 14(3-4):181-189.
- Stassen, P., E. Hoffman and H. Grove. 2000 a. The relationship between tree dimensions, yield and nutritional requirements of mango. *Acta Horticulturae* 509:347-357 p.
- Stassen, P., E. Hoffman and H. Grove. 2000 b. Uptake, distribution and requirements of macro elements in 'Sensation' mango trees. *Acta Horticulturae* 509:365-374 p.
- Snedecor, G. y W. Cochran .1982. *Métodos estadísticos*. México. Editorial Continental. 705 p.
- Steel, R. and J. Torrie .1960. *Principles and Procedures of Statistics. With Special Reference to the Biological Sciences*. McGraw-Hill Company, Inc. New York. 481 p.
- Venezuela. 2000. *Estadísticas Agropecuarias*. Caracas. Ministerios de Producción y Comercio. 5 p.
- Verheij, E. 1986. Towards a classification of tropical fruit trees. *Acta Horticulturae* 175:137-150.
- Whiley, A., T. Rasmussen, N. Wolstenholme, J. Saranah and B. Cull. 1991. Interpretation of growth responses of some mango cultivars grown under controlled temperatures. *Acta Horticulturae* 291:22-31.
- Whiley, A., T. Rasmussen, J. Saranah y N. Wolstenholme. 1989. Effect of temperature on growth, dry matter production and starch accumulation in ten mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science* 64:753-765.
- Young, T. and J. Sauls. 1979. *The mango industry in Florida*. University of Florida. Gainesville. 69 p.

NOTA TÉCNICA

PRIMER REGISTRO PARA VENEZUELA DE *Puccinia hemerocallidis* Thüm., LA ROYA DEL LIRIO DE LA MAÑANA

FIRST REPORT OF DAYLILY RUST *Puccinia hemerocallidis* Thüm., FOR VENEZUELA

Víctor Manuel* Pardo-Cardona*, Denisse Caruso**, Thamara Rojas**

* Profesor. Universidad Nacional de Colombia. Medellín-Colombia. E-mail: vpardocardona@yahoo.es

** Investigadores. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
INIA- CENIAP. Herbario Micológico "Albert S. Muller" (VIA), Maracay, estado Aragua. Venezuela.
E-mail: denisse.caruso@gmail.com; trojas@inia.gob.ve

RESUMEN

Se registra por primera vez en la Colonia Tovar, estado Aragua-Venezuela a *Puccinia hemerocallidis* la roya del "lirio de la mañana" *Hemerocallis hybrida*, Liliaceae. Se describe el uredinal y se hacen observaciones sobre los síntomas, ciclo de vida, estados esporicos, aspectos ecológicos y distribución geográfica. En la colección estudiada se detectaron tanto el teleomorfo como el anamorfo uredial.

Palabras Clave: Uredinales; royas; *Hemerocallis*.

SUMMARY

Puccinia hemerocallidis, the daylily rust is recorded for first time for Colonia Tovar, Aragua-Venezuela. The fungus is described. Observations on his symptomatology, life cycle, sporic stages, ecology and geographical distribution are done. In the studied collection the teleomorphic and uredial anamorphic stages were detected.

Key Words: Uredinales; rust-fungi; *Hemerocallis*.

RECIBIDO: septiembre 13, 2007

ACEPTADO: diciembre 10, 2007

INTRODUCCIÓN

Especies e híbridos indeterminados de *Hemerocallis* L., son ampliamente cultivados en varios países y empleados como plantas ornamentales especialmente, en jardines, parques y vías públicas. La planta es conocida popularmente en Latinoamérica con los nombres de "lirio japonés" o "azuceno" y mundialmente como "daylily", "lirio de San José" o "lirio de la mañana". Las especies, subespecies o cultivares sembrados en Venezuela son desconocidos, pues en este género existen numerosas variaciones producidas por selección e hibridación en otros países, donde existen programas de mejoramiento e importaciones de material de propagación. La gran cantidad de híbridos existentes hace imprecisa la determinación botánica siendo razonable la decisión de nombrar estas especies como *Hemerocallis hybrida* Hort (Carvalho *et al.*, 2001).

Hemerocallis es un género monocotiledóneo perenne considerado "invasivo" en Estados Unidos y en otros países. Es ampliamente cultivado y mejorado en: Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, España, Alemania, y en el Continente Asiático, donde existen sociedades que fomentan su conocimiento, mejoramiento y cultivo. La especie *Hemerocallis fulva* (L.) L. (lirio anaranjado) es el más cultivado y existen alrededor de diez cultivares registrados en el Missouri Botanical Garden, mientras que de *Hemerocallis lilioasphodelus* L. (lirio amarillo) están dos subespecies y tres cultivares.

Durante una salida de colección realizada en julio de 2007 en la Colonia Tovar, municipio Tovar del estado Aragua, fueron colectadas hojas de plantas cultivadas de "lirio de la mañana" con abundantes pústulas en los jardines de una residencia campestre de la localidad. Los lirios afectados poseían flores amarillas y otros flores rojas. El uredinal afectaba las hojas y los escapos florales. Debido a que *Puccinia hemerocallidis* Thüm., causa una enfermedad de gran importancia fitosanitaria a nivel mundial; se procedió a realizar el estudio del material con el propósito de corroborar la presencia del hongo en el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir material colectado, se caracterizaron los síntomas que induce el hongo sobre el hospedante. Se realizaron cortes transversales del material vegetal con la finalidad de observar los diferentes tipos de soros y esporas del uredinal, dichos cortes fueron montados en lactofenol y observados en microscopio de campo lumi-

noso. La determinación del uredinal se obtuvo a través de la determinación del hospedante. Adicionalmente se discuten aspectos referentes a la epidemiología de la enfermedad debido a su relevancia fitosanitaria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sintomatología

Los primeros síntomas son manchas o líneas amarillas brillantes por el haz de las hojas, seguidas por la aparición hipófila de pústulas amarillas, las cuales se rodean de un halo rojizo que corresponde a la muerte de la cutícula levantada por la erupción de las esporas. En el escape floral se forman pústulas amarillas dispersas. El avance de la infección conduce al amarillamiento y secado de las hojas. Las plantas afectadas son severamente deformadas.

Descripción del uredinal

Uredosoros hipófilos, frecuentemente en el escape floral, amarillo anaranjados, uredosporas de globosas a elipsoides, 19-30 x 18-27 μm , pared finamente verrucosa, amarilla, de 3-4 μm de grosor (Figura 1). Teliosoros predominantemente hipófilos, cubiertos por la epidermis, café negruzcos, compactos, rodeados por parafisos café; teliosporas muy elipsoides o clavados, 34-65 x 18-24 μm , pared lisa, bicelulares, café pálido, más oscuro en el ápice, de hasta 9 μm de grosor en el ápice; pedicelo persistente, de hasta 30 μm de longitud (Figura 2). Mesosporas abundantes.



FIGURA 1. Microfotografía de Uredosoro de *P. hemerocallidis* con uredosporas (40X).



FIGURA 2. Microfotografía de Teliosoro de *P. hemerocallidis* con mesosporas y teliosporas de (40X).

En América solamente se han encontrado los estados urediales y teliales. Hernández *et al.* (2002) no hallaron diferencias significativas en el tamaño de las teliosporas entre los materiales asiáticos y americanos.

Material examinado:

Puccinia hemerocallidis Thüm., Bull. Soc. Imp. Nat. Moscow, 55: 81, 1880.

= *Puccinia funkiae* Dietel, Hedwigia: 214, 1898.

= *Puccinia hostae* Hara, Rept. Siduokakaen Agric. Soc. XXXIV: 55 - 59, 1930

Sinanamorfos:

Aecidium patriniae Henn., Hedwigia XLI: 21, 1902

Uredo hostae Henn., Monsunia I: 3, 1899.

Sobre: *Hemerocallis hybrida* Hort., Venezuela, estado Aragua, municipio Tovar, Colonia Tovar, camino al Monumento Natural Pico Codazzi, 2084 m alt, 4 julio 2007, D. Caruso, M. Arana y T. Rojas, VIA 8352.

Distribución geográfica

P. hemerocallidis fue descrita por primera vez a partir de material colectado en la antigua Unión Soviética, luego fue registrada en el archipiélago del Japón, China, Corea y Taiwán (Hernández *et al.*, 2002). En 1991 fue detectada por primera vez en el estado de Georgia en

USA y más tarde en otros 20 Estados de la Unión Americana. En 2001 fue interceptada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en plantas provenientes de Costa Rica (Hernández *et al.*, 2002) y ese mismo año fue registrada en Brasil (Carvalho *et al.*, 2001), y en el 2006 para Colombia y la zona andina de Suramérica (Pardo-Cardona 2006). También está registrada en Canadá y Australia (Hernández *et al.*, 2002).

Epidemiología, ciclo de *P. hemerocallidis* y de la enfermedad

Aunque no hay datos exactos de la biología del hongo, en Estados Unidos se ha observado que el período de incubación de la enfermedad es muy corto, de 2 a 3 días después de la germinación de la espora y que la formación de nuevas esporas toma de 7 a 14 días. Un ensayo adelantado para determinar el efecto de la temperatura y de la luz sobre la latencia de las uredosporas, mostró que a temperaturas entre 20 y 26 °C la oscuridad redujo la latencia en un día, pero el mejor tratamiento se obtuvo en oscuridad a 26 °C con una latencia de 6 d.

La mayor severidad, determinada por el número de pústulas por área foliar, se obtuvo en oscuridad continua por 7 d. A temperaturas inferiores a 4 °C, tanto en oscuridad como con iluminación, el período de latencia de las uredosporas fue superior a 35 d y no hubo formación de pústulas en los tejidos vegetales luego de la inoculación (Ono, 2003).

Por otra parte, el almacenamiento de las uredosporas a 20 °C mostró con el tiempo una pérdida progresiva de su viabilidad e infectividad después de los 10 d, efecto que fue determinado por el número de soros formados en plantas inoculadas.

Curiosamente, esporas almacenadas durante 10 d presentaron una diferencia en su viabilidad e infectividad, significativamente superior a las almacenadas menor tiempo e inclusive a los que no fueron almacenadas y con las cuales se efectuaron inoculaciones inmediatamente después de colectadas (Hsiang *et al.*, 2004).

Los soros se forman en las hojas y el escapo floral, pero no en los bulbos. Investigaciones recientes han mostrado que el micelio no invade los bulbos, por lo cual la remoción de las hojas enfermas puede permitir la formación de rebrotes sanos (Ono, 2003).

P. hemerocallidis, en las zonas templadas del norte donde es originaria; es una especie heteroica con ciclo

completamente expandido. Los espermogonios y ecidiosoros se forman sobre diferentes especies de *Patrinia* Juss. perteneciente a la familia Valerianaceae en tanto los anamorfos tipo Uredo Persoon y los teliomorfos se producen sobre *Hemerocallis*. En Estados Unidos y Costa Rica, donde se ha diseminado esta especie sólo se han detectado, por ausencia del hospedante espermogonial y ecidial, los estados de uredosoro y teliosoro. En Brasil solamente se han colectado los anamorfos urediales (Carvalho *et al.*, 2001).

En el Japón donde el ciclo de la enfermedad se ha estudiado con detenimiento hallándose que *P. hemerocallidis* es una roya macrocíclica heteroica o con ciclo completamente expandido y dado también que el hongo pasa el invierno bajo el estado teleomórfico, y que además, los bulbos no son infectados; las infecciones en la primavera sobre *Patrinia*, hospedero alterno, son producidas por las basidiosporas provenientes de las teliosporas.

Sobre *Patrinia* se forman espermogonios y ecidiosoros y las esporas de este último estado, infectan a *Hemerocallis* donde se produce un micelio dicariótico que originará los soros anamórficos urediales y los teliosoros. La conexión entre los estados espermogoniales y ecidiales formados sobre *Patrinia* y los urediales y teliales formados sobre *Hemerocallis* fue establecida por Tranzschel en 1913 (citado por Hiratsuka *et al.*, 1992).

El examen del espécimen estudiado en el trabajo permitió encontrar los estados telial y uredial. Los estudios de infectividad realizados con *P. hemerocallidis* citados anteriormente, han mostrado que el anamorfo uredial sería el estado principal de diseminación y dispersión el cual no sólo re infecta, sino que por acción del viento, la lluvia y prácticas agrícolas de poda, puede infectar nuevas plantas. Dado que en el neotrópico no se ha determinado el heteroicismo de esta especie, lo cual significa que no se formaría el anamorfo ecidial, se hace necesario estudiar la función de la basidiospora en el ciclo de vida bajo condiciones tropicales.

CONCLUSIONES

- Por medio del estudio del material colectado, se corrobora la presencia de esta importante enfermedad en Venezuela, por lo que se deben tener en cuenta las medidas pertinentes para el control de la enfermedad.

BIBLIOGRAFÍA

- Carvalho Jr., A. A. de, L. Coutinho e M. Figueiredo. 2001. A primeira constatacao da ferrugem do lirio-de Sao-Jose nas Americas; Resumos, 14a. Reuniao annual do Instituto Biologico. Arq. Inst. Biol., Sao Paulo. 68 (supl.): 57.
- Hernández, J., M. Palm and L. Castlebury. 2002. *Puccinia hemerocallidis*, cause of Daylily rust, a newly introduced disease in the Americas. Plant Dis. 86(11):1 194-1 198.
- Hiratsuka, N., S. Sato, K. Katsuya, M. Kakishima, Y. Hiratsuka, S. Kaneko, Y. Ono, T. Sato, Y. Harada, T. Hiratsuka and K. Nakayama. 1992. The rust flora of Japan, Tsukuba Shuppankai, Takezono, Ibaraki, Japan. 1 205 p.
- Hsiang, T., S. Cook and Y. Zhao. 2004. Studies on biology and control of Daylily Rust in Canada. The Daylily Journal, American Hemerocallis Society. 59:47-57.
- Ono, Y. 2003. Does *Puccinia hemerocallidis* regularly host-alternate between Hemerocallis and Patrinia in Japan?. J. Gen. Plant Pathol 69:240-243.
- Pardo-Cardona, V. M. 2006. Uredinales de plantas cultivadas de interés floral en Colombia. Rev. Fac. Nal. Agronomía Medellín, 59(1):3 335-3 353.

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. 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.

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.

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, porqué 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 realización 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 asterísticos 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.

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 Harward 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 gráficos 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 (10^3m)	
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,	$^{\circ}\text{C}$	
grado Joule,	J,	caloría
grado Kelvin	$^{\circ}\text{K}$	
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.

En su defecto el artículo también puede ser enviado por correo electrónico a las siguientes direcciones: agrotrop@inia.gob.ve, agrotropic@yahoo.com y mfernandez@inia.gob.ve.

Para suscripción. Por favor, depositar 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.

Comunicarse con la Sra. Mirna Ávila, correo electrónico mavila@inia.gob.ve, número telefónico 0243-2404779, Oficina de Distribución y Venta, Gerencia General del INIA.

Composición: Carmen Elena Solórzano
Montaje: Nury Castillo y Gerado Moreno
Fotolito: Mario Pino
Impresión: Eliseo Silva y Wilmer Gallardo

Impreso en el Taller Gráfico del INIA
Maracay, estado Aragua, Venezuela
Junio 2008

