

# ***Agronomía Tropical***

Vol. 54 N° 4, 2004  
ISSN 0002, 192X

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS - VENEZUELA**

## AGRONOMÍA TROPICAL

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

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

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

### INDIZACIÓN

**AGRONOMÍA TROPICAL** es reseñada e indizada por CAB Internacional (Reino Unido); TROPAG, Royal Tropic Institute (Holanda); REFERATIVNYI ZHURNAL, All-Russian Institute of Scientific and Technical Information (Rusia); AGRIS, FAO (Roma); Base Agrícola Venezolana, INIA (Venezuela); Centro de Información y Documentación (Cuba); REVENCYT, Fundacite Mérida (Venezuela); PERIÓDICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias, UNAM (México); REDPAV, Fundación Polar (Venezuela); WILDLIFE REVIEW ABSTRACTS, NISC Colorado (USA); BIOSIS (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.

### SUSCRIPCIÓN

Venezuela: 9 000,00

Países en desarrollo: US\$ 55, incluyendo costos de envío  
(Developing countries) (including shipping)

Países desarrollados: US\$ 60, incluyendo costos de envío  
(Developed countries) (including shipping)

### DIRECCIÓN

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

Correo Electrónico: [agrotrop@fundacite.org.gov.ve](mailto:agrotrop@fundacite.org.gov.ve)

Página Electrónica: <http://www.redpav-polar.info.ve.agrotrop>

EDITOR: Víctor Cabrera de Ureán  
EDITOR ASOCIADO: Ricardo Ramírez  
EDITOR ASISTENTE: Mijangos Fernández

COMITÉ EDITORIAL

# AGRONOMÍA TROPICAL

Revista trimestral del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas  
Maracay, Venezuela

## FUNDADORES

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

**EDITOR:** Aydée Cabrera de Green

**EDITOR ASOCIADO:** Ricardo Ramírez

**EDITOR ASISTENTE:** Milagros Fernández

## COMITÉ EDITORIAL

Ricardo Ramírez  
María González

Félix San Vicente  
Klaus Jaffé

Aydée Cabrera de Green

## 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 Layrissé. 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

# AGRONOMÍA TROPICAL

Vol. 54-2004

Octubre - Diciembre

No. 4

ISSN 0002-192X

Depósito Legal pp 195102AR73

## ÍNDICE

### Nota de la Redacción

### Artículos:

Pág.

- M. PÉREZ de ASKUE y E. SOTO. Régimen de precipitación en Montalbán estado Carabobo, Venezuela..... 359  
Regime of the rainfall in Montalban-Carabobo, Venezuela.
- R. DELGADO, M. C. NÚÑEZ U. y L. VELÁSQUEZ. Acumulación de materia seca, absorción de nitrógeno, fósforo y potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la fertilización nitrogenada..... 371  
Pattern dry matter accumulation, nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by maize grown under different N fertilizer practices.
- M. F. RODRÍGUEZ, A. FLORENTINO, J. GALLARDO y R. DE ANTONIO GARCÍA. Sistemas de información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz-España, aplicando la metodología USLE..... 391  
Use of a geographical information system to evaluate the hydric erosion in Badajoz-Spain using the USLE method.
- D. GARCÍA M., C. PETZALL K. y M. CASTRILLO. Respuestas al déficit hídrico en las variedades de tomate Río Grande y Pera Quibor ..... 411  
Responses of the varieties of tomato Río Grande and Pera Quibor to deficits of water.

**Artículos****Pág.**

- J. P. GUERRERO-ALVES, I. PLA-SENTIS y R. G. CAMACHO.  
Génesis de un suelo sódico alcalino en Chaguaramas, Venezuela..... 433  
Genesis of an alkaline sodic soil of Chaguaramas, Venezuela.
- R. DELGADO, L. VELÁSQUEZ y E. CABRERA de BISBAL  
Efectos de época de aplicación y tipo de fertilizante nitrogenado sobre el patrón de acumulación de materia seca y nitrógeno del maíz en un Ultisol y un Mollisol de Venezuela..... 461  
Effects of time of N application and N-fertilizer type on the pattern of dry matter and N accumulation for maize in a Mollisol and an Ultisol of Venezuela.
- O. TORRES, L. GRAZIANI DE FARIÑAS, L. ORTIZ de BERTORELLI y A. TRUJILLO. Efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane de la mazorca del cacao tipo forastero de Cuyagua, sobre características del grano en fermentación..... 481  
Effect of the time from harvesting to shelling of cocoa type forastero, in some characteristics of the bean during the fermentation.

**Índice Acumulativo****Instrucciones a los Autores**

## NOTA DE LA REDACCIÓN

La Editora y quienes conforman el Comité Editorial de la revista, agradecen a las personas que a continuación se mencionan, por el trabajo de revisión a los materiales que se publican en el Vol. 54, 2004:

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Fausto Miranda            | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| María Sindoni             | USB. Dpto. de Biología de Organismos    |
| Pablo Parra               | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Fabio Faleiro             | EMBRAPA. Brasil                         |
| Carmen A. Rincón          | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| Lelys Bravo de Guenni     | USB. División de Matemáticas            |
| María Pilar Moncada       | CENICAFÉ-FEDERACAFÉ. Colombia           |
| Rebeca Pradere G.         | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Oswaldo Cabral            | EMBRAPA. Brasil                         |
| Ramón A. Rosell           | UNS. Bahía Blanca Argentina             |
| Jon Lizaso                | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Froilán Contreras         | ULA. Facultad de Ciencias. Mérida       |
| Alberto de Campos B.      | EMBRAPA. Brasil                         |
| Hilda Fernández           | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| Oscar Silva               | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Elba Sangronis            | USB. Dpto. de Biología de Organismos    |
| Rosemary Warnock          | UCV. Facultad de Agronomía              |
| María del Carmen González | Colegio de Postgraduado. México         |
| Ligia Ortiz de Bertorelli | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Alberto de Campos B.      | EMBRAPA. Brasil                         |
| José G. Surga             | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| Marisa Guerra Modernel    | USB. Dpto. de Biología de Organismos    |
| Carmen Baso de Figuera    | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Alberto J. Salih          | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| Carlos Oliveros           | CENICAFÉ. Colombia                      |
| Víctor Segovia            | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| Jean Marie Hetier         | EMBRAPA. Brasil                         |
| Vicente M. Gómez          | UCV. Facultad de Agronomía              |

...continúa

... continuación

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Elevina Pérez            | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Hugo A. Chávez           | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| Marisol Castrillo        | USB. Dpto. de Biología de Organismos    |
| Eustoquio Arnal          | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| Elba Sangronis           | USB. Dpto. de Biología de Organismos    |
| Marcos Vilela de Resende | EMBRAPA. Brasil                         |
| Felix San Vicente        | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| Nilda Rodríguez          | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Norca Mogollón           | UCLA. Decanato de Agronomía             |
| Rigel Liendo             | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| Rosana Figueroa          | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Ramón Vidal              | INIA. Centro Nac. de Inv. Agropecuarias |
| Hernando Cortina         | FEDERACAFÉ. Colombia                    |
| Dinaba Perdomo           | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Cirilo Girón V.          | INIA. Estación Experimental. Miranda    |
| Oswaldo Luque            | Profesional en Actividades Privada      |
| Adriana Florentino       | UCV. Facultad de Agronomía              |
| José A. Pérez R.         | CIDIAT. Mérida, Venezuela               |
| Eduardo Casanova         | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Roberto Núñez E.         | Colegio de Postgraduados. México        |
| Oscar Rodríguez          | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Roberto A. López         | CIDIAT. Mérida, Venezuela               |
| Rafael Álvarez           | UCV. Facultad de Agronomía              |
| Juan Comerma             | PALMAVEN. Guacara. Venezuela            |
| Jesús Viloría            | UCV. Facultad de Agronomía              |
| María Sobrado            | USB. Dpto. de Biología de Organismos    |
| Beatriz Lozada           | INIA. CIAE. Táchira                     |

\*\*\*

Damos las gracias igualmente al ingeniero agrónomo Elio Pérez y a la licenciada Andreina Muñoz, por la elaboración del índice acumulativo de la revista, así como también al PhD Rodolfo Delgado por la revisión de los resúmenes en inglés.

## RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN MONTALBÁN ESTADO CARABOBO, VENEZUELA

Mercedes Pérez de Askue\* y Enio Soto\*

### RESUMEN

Se analizaron las precipitaciones anuales (PA) y mensuales (PM) de 40 años de registros, de la zona agrícola de Montalbán, estado Carabobo. Se clasificó la lámina de agua caída definiendo seis categorías: desde muy seco (año 2001) hasta muy húmedo (no hubo ningún año) con la elaboración de los respectivos histogramas de frecuencia. La simetría de los datos de PM se realizó mediante el cálculo del Índice de Simetría Yule. Las precipitaciones variaron entre 624 mm (2001) y 1 268 mm (1969), con una amplitud de 644 mm. El valor medio de las PA totales fue de  $964,3 \pm 159,5$  mm., con un coeficiente de variación de 16,5%. De acuerdo al menor número de meses lluviosos y a la magnitud de la lámina media anual se clasificó la localidad como régimen estacional unimodal con categoría intermedia. Según el Índice de Yule los meses con asimetría negativa fueron marzo-abril-mayo y octubre. La mayoría de los valores extremos de sequía se presentaron en los últimos cinco años. La distribución y magnitud de las precipitaciones en la zona de Montalbán no permiten conseguir rendimientos óptimos en naranja y café sin un riego complementario.

**Palabras Clave:** Régimen de lluvia; lámina de agua; índice de Yule.

### INTRODUCCIÓN

La precipitación en la zona tropical constituye el fenómeno físico de mayor influencia en la agricultura. En el caso de Venezuela, por su situación geográfica, la circulación general de la atmósfera se encuentra regulada por la ubicación y el desplazamiento de la llamada “zona de convergencia intertropical” (ZCI). De manera que el movimiento de este

---

\* Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Agroclimatología y Recursos Fitogenéticos Frutales, respectivamente. Apdo. 4653. Av. Universidad, vía El Limón. Maracay 2101, estado Aragua, Venezuela. E-mail: mazkue@inia.gov.ve / esoto@inia.gov.ve

RECIBIDO: agosto 08, 2003.

cinturón de bajas presiones en dirección norte-sur determina la ocurrencia de las estaciones “seca” y “lluviosa” sobre la mayor parte del territorio venezolano (Sánchez, 1999).

La estación lluviosa generalmente comienza en abril y continúa hasta finales de octubre. Sin embargo, hay gran variabilidad en la fecha real del inicio de esta estación. Dependiendo de la formación de la ZCI a través del territorio nacional, frecuentemente puede comenzar antes en las zonas orientales y occidentales del país, y luego en la zona central (Benacchio, 1983).

Desde el punto de vista climático, los cambios en la cantidad de lluvia de un año a otro se define como variabilidad interanual de la lámina de precipitación. Esta variabilidad de las precipitaciones es la fuente primaria de las variaciones en la disponibilidad de humedad, importante tanto para la realización de labores mecanizadas como para asegurar la satisfacción de los requerimiento hídricos de los cultivos (Benacchio, 1983; Oliveira *et al.*, 2003).

El objetivo de este trabajo es conocer el comportamiento de la variabilidad interanual de las precipitaciones en Montalbán, estado Carabobo zona de producción agropecuaria. Esta información podrá ser utilizada por productores de la zona e investigadores, en la planificación de sus actividades de producción o investigación, dependientes en muchos casos de dicha variable climática.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Finca Montero, Montalbán, estado Carabobo (10°LN 68°LO) región centro-norte de Venezuela, situada a 600 m.s.n.m., con temperatura media anual de 23,4 °C. Los datos utilizados provienen de las lecturas diarias de un pluviómetro de tipo B. Se analizaron las precipitaciones del período comprendido entre enero de 1962 y diciembre de 2001, totalizando 40 años.

Se analizó por separado a) las precipitaciones anuales (PA), considerando el ciclo de enero a diciembre y b) precipitaciones mensuales (PM). Los análisis estadísticos realizados fueron a través de la prueba de normalidad de Wilk-Shapiro, con una probabilidad del 95%, tanto para los totales de las PA como para cada mes por separado. Se calculó la media, mediana,

e intervalos de confianza por mes al 95%, coeficiente de variación. Se realizó el cálculo de probabilidad de ocurrencia de lluvia mínima esperada a partir de los valores obtenidos en los 40 años según Pereira *et al.* (2002).

La clasificación de la lámina de agua caída fue realizada según Prohaska (1961), definiendo seis categorías: muy seco  $[(\bar{x} - 3s) \text{ a } (\bar{x} - 2s)]$ , seco  $[(\bar{x} - 2s) \text{ a } (\bar{x} - s)]$ , normal a seco  $[(\bar{x} - s) \text{ a } (\bar{x})]$ , normal húmedo  $[(\bar{x}) \text{ a } (\bar{x} + s)]$ , húmedo  $[(\bar{x} + s) \text{ a } (\bar{x} + 2s)]$  y muy húmedo  $[(\bar{x} + 2s) \text{ a } (\bar{x} + 3s)]$  donde  $\bar{x}$ : es la media aritmética y  $s$ : desviación estándar de la muestra, se elaboraron los respectivos histogramas de frecuencia para cada categoría. La simetría de los datos fue verificada a través del Índice de Simetría de Yule ( $H_1$ ) calculado según la siguiente ecuación:

$$H_1 = \frac{Q_1 + Q_3 - (2Md)}{2Md} \quad \text{donde:}$$

$Q_1$  = cuartil 0,25;  $Q_3$  = cuartil 0,75;  $Md$  = mediana

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Precipitaciones Anuales

En el Cuadro 1 se resumen los datos de promedios de PM y PA, desviación estándar y coeficiente de variación. Se observó que las PA varían dentro de un rango comprendido entre un mínimo de 624 mm para el año 2001 y un máximo de 1 268 mm en 1969 con una amplitud de 644 mm. Según el índice de Wilk-Shapiro, los datos de PA siguen el patrón de distribución normal con un valor de 0,988.

La distribución mensual de las precipitaciones como promedio de un período de 30 años, puede ajustarse a una curva de distribución normal y el valor promedio es cercano a la mediana si estas son abundantes en una localidad. En este caso el valor de la mediana anual es 954 mm, similar al promedio anual y coincide con lo expresado por Sánchez (1966, 1999) y Sacchi (2000). El valor medio de las precipitaciones en los 40 años analizados es de 964,3 mm, con una desviación estándar de 159,5 mm y un coeficiente de variación de 16,5 %.

**CUADRO 1.** Promedios de la precipitación mensual en mm de 39 años (1962-2001) de la zona de Montalbán estado Carabobo.

|                           | Ene.  | Feb.  | Mar.  | Abr.  | May.  | Jun.  | Jul.  | Ago.  | Sep.  | Oct.  | Nov.  | Dic.  | Anual   |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Promedio                  | 6     | 17    | 20    | 84    | 128   | 140   | 147   | 124   | 122   | 94    | 62    | 24    | 964,3   |
| Desviación estandar       | 7,0   | 23,5  | 24,8  | 58,4  | 68,2  | 56,4  | 48,9  | 49,4  | 52,4  | 40,9  | 37,2  | 25,3  | 159,5   |
| Coefficiente de variación | 118,4 | 141,8 | 125,5 | 69,8  | 53,5  | 40,2  | 33,2  | 39,8  | 43,0  | 43,6  | 60,2  | 104,1 | 16,5    |
| Máxima                    | 32,5  | 101,5 | 118,5 | 248,5 | 359,0 | 272,0 | 272,8 | 229,0 | 228,0 | 182,5 | 190,0 | 116,5 | 1 267,7 |
| Mínima                    | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 24,5  | 21,0  | 80,1  | 11,6  | 45,5  | 8,5   | 15,0  | 0,7   | 624,0   |

En Venezuela los valores más bajos de precipitación se encuentran en el norte del país, los más altos ocurren en las zonas sur y oeste, isoyetas entre 400 y 4000 mm (Sánchez, 1983), para el caso de Montalbán este valor se ubica entre la categoría intermedia, con media de 954 mm anual. Entre 1955-1960 se registraron en la zona de Montalbán, 928 mm de PA concentrada entre abril y noviembre (Ministerio de la Defensa, 1965). Al analizar desde 1962-2001 se mantiene la concentración de las precipitaciones en ese mismo período (abril-noviembre). Sobre la base de la normalidad de las observaciones se afirma con 95% de confianza que el valor promedio de las precipitaciones se encuentra entre 914,2 mm y 1014,4 mm.

El Cuadro 2 presenta la clasificación de las PA según Prohaska (1961), donde se establecen los rangos desde muy secos con lámina mínima caída de 485,8 mm para un solo año, hasta muy húmedo con una lámina mayor de 1283,3 mm.

Esta clasificación establece diferencia entre años, cuyos valores son importantes para posterior formulación de calendarios de riego.

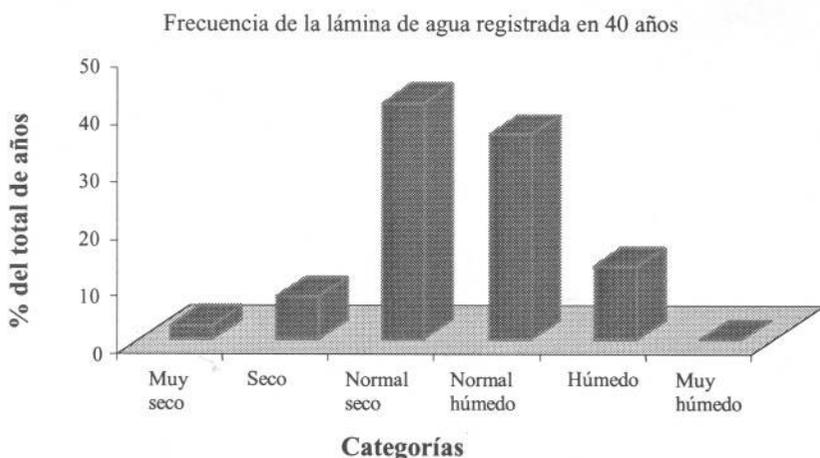
**CUADRO 2.** Clasificación de las precipitaciones anuales según Prohaska (1961) en Montalbán, estado Carabobo, desde los años 1962 a 2001.

| Límites                             | Rango             | Nº de años | Clasificación |
|-------------------------------------|-------------------|------------|---------------|
| $(\bar{x} - 3s)$ a $(\bar{x} - 2s)$ | 485,8 a 645,3     | 1          | Muy seco      |
| $(\bar{x} - 2s)$ a $(\bar{x} - s)$  | 645,3 a 804,8     | 3          | Seco          |
| $(\bar{x} - s)$ a $(\bar{x})$       | 804,8 a 964,3     | 16         | Normal seco   |
| $(\bar{x})$ a $(\bar{x} + s)$       | 964,3 a 1 123,8   | 14         | Normal húmedo |
| $(\bar{x} + s)$ a $(\bar{x} + 2s)$  | 1 123,8 a 1 283,3 | 5          | Húmedo        |
| $(\bar{x} - 2s)$ a $(\bar{x} + 3s)$ | mayor a 1 283,3   | 0          | Muy húmedo    |

En la Figura 1 se muestra el histograma de frecuencia de las precipitaciones según la clasificación anterior. El año 2001 se clasificó como muy seco representando el 2,5%, mientras que los años 1971, 1980 y 2000 como secos. El 41% de los años evaluados corresponde a la denominación normal seco, y 35,8% normal húmedo, no se presenta ningún año dentro de la denominación muy húmedo.

Conociendo la variabilidad intranual de las condiciones de humedad (Figura 1), es necesario conocer la magnitud de las láminas de agua asociadas a las distintas condiciones de humedad, en la Figura 3 se presenta la distribución acumulativa de la magnitud de la lámina de agua caída para cada año, permitiendo obtener la probabilidad de lluvia para esta zona.

Para una producción satisfactoria del cultivo es necesario cubrir los requerimientos hídricos en su totalidad, sin embargo, para algunos cultivos importantes de la zona, como es el caso de la naranja, resulta insuficiente la lámina de agua caída anualmente (Benacchio, 1982), este cultivo tiene un requerimiento entre 1 100 y 1 200 mm, siendo indispensable el uso de riego complementario, como se deduce en la Figura 2 donde solo aproximadamente 2 de cada 10 años se recibieron 1 100 mm de lluvia y 1 de cada 10 años excedió los 1 200 mm de lámina caída.



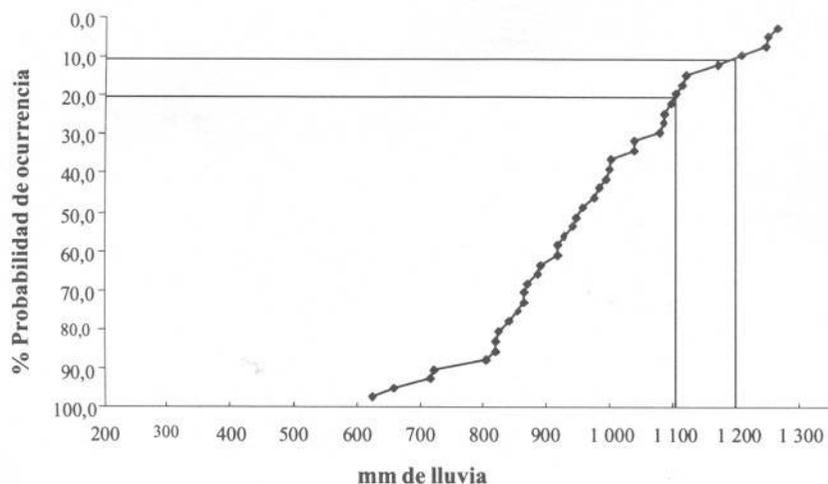
**FIGURA 1.** Histograma de frecuencia según Prohaska (1961) de las precipitaciones en Montalbán Carabobo.

Se observó igualmente que los valores de precipitación más bajos de todo el período se ubicaron en años relativamente recientes, mientras que valores más altos se consiguieron en años entre las décadas de los sesenta y ochenta, esto pudiera indicar una disminución de los totales de PA.

### Precipitaciones Mensuales

En el Cuadro 3 se indican los valores promedios, mediana, desviación estándar, coeficiente de variación y límites de confianza mensual. Para la zona de Carabobo, el mes de inicio de lluvias corresponde al mes donde la precipitación media mensual es mayor a 50 mm, y la duración en meses de la temporada lluviosa es de 7 meses (Goldbrunner, 1963), en el caso de la localidad de Montalbán el mes de inicio de lluvias corresponde a abril con una duración de 8 meses, clasificando la zona como régimen estacional unimodal.

En esta serie de datos se probó la normalidad para todos los meses mediante Wilk-Shapiro, en el cual no hubo rechazo al nivel de 99%. Los meses secos (diciembre-marzo) presentaron los valores más altos de coeficiente de variabilidad, indicando el comportamiento típico de la precipitación en zonas tropicales (Askue y Soto, 2004).



**FIGURA 2.** Distribución acumulativa de lluvia para el período 1962-2001 en Montalbán estado Carabobo.

**CUADRO 3.** Estadísticos de las precipitaciones mensuales de Montalbán, Carabobo.

| Meses      | Promedio | Mediana | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación | Límite superior + 0,95 | Límite inferior -0,95 |
|------------|----------|---------|---------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|
| Enero      | 6,7      | 4       | 8,6                 | 128                       | 8,1                    | 3,7                   |
| Febrero    | 16,6     | 8       | 23,3                | 141                       | 23,9                   | 9,2                   |
| Marzo      | 19,8     | 14      | 24,7                | 125                       | 27,5                   | 12,0                  |
| Abril      | 83,6     | 85      | 58,2                | 70                        | 101,9                  | 65,3                  |
| Mayo       | 127,5    | 119     | 68,5                | 54                        | 149,0                  | 106,0                 |
| Junio      | 140,1    | 137     | 55,7                | 40                        | 157,5                  | 122,6                 |
| Julio      | 147,1    | 141     | 48,9                | 33                        | 162,5                  | 131,8                 |
| Agosto     | 124,3    | 113     | 49,6                | 40                        | 139,9                  | 108,8                 |
| Septiembre | 122,1    | 111     | 52,1                | 43                        | 138,4                  | 105,7                 |
| Octubre    | 93,7     | 96      | 40,4                | 43                        | 106,4                  | 81,1                  |
| Noviembre  | 61,8     | 54      | 36,8                | 60                        | 73,3                   | 50,2                  |
| Diciembre  | 24,3     | 17      | 25,0                | 103                       | 32,1                   | 16,4                  |
| Anual      | 964,3    | 953     | 159,5               | 17                        | 1 014,4                | 914,2                 |

Los requerimientos de agua del cultivo de naranja varían según la fase de crecimiento y desarrollo, alcanzando el máximo de exigencia en el período inmediato que precede la floración y el período de reproducción (Benacchio, 1982). Para la zona de Montalbán este período se consideró entre los meses de enero-mayo. De acuerdo a lo señalado en el Cuadro 3 es necesario el riego complementario ya que son meses que presentaron alto déficit hídrico (Boletín Agroclimatológico Miranda, estado Carabobo, Vol 3, N° 1), en particular febrero y marzo, siendo necesario suplir una lámina de agua por encima de los 50-60 mm/mes.

Como complemento de la caracterización de la distribución de los datos de precipitación por mes se usa el Índice de Simetría de Yule ( $H_1$ ), observándose asimetría positiva en meses como enero y febrero, a pesar que los valores se ubican por encima de la mediana, son tan bajos que sigue siendo un mes seco con déficit hídrico para los cultivos (Cuadro 4).

**CUADRO 4.** Índices de Simetría de Yule ( $H_1$ ) en valores de 40 años de precipitación en la localidad de Montalbán, estado Carabobo, Venezuela.

| Meses      | $H_1$ | Simetría           |
|------------|-------|--------------------|
| Enero      | 0,01  | Asimetría positiva |
| Febrero    | 0,17  | Asimetría positiva |
| Marzo      | -0,05 | Asimetría negativa |
| Abril      | -0,07 | Asimetría negativa |
| Mayo       | -0,06 | Asimetría negativa |
| Junio      | 0,04  | Asimetría positiva |
| Julio      | 0,04  | Asimetría positiva |
| Agosto     | 0,05  | Asimetría positiva |
| Septiembre | 0,08  | Asimetría positiva |
| Octubre    | -0,02 | Asimetría negativa |
| Noviembre  | 0,01  | Asimetría positiva |
| Diciembre  | 0,32  | Asimetría positiva |

## CONCLUSIONES

- De acuerdo a la distribución y lámina de lluvia caída, la zona de Montalbán, se clasifica como: régimen estacional unimodal con categoría intermedia.
- Los valores extremos de sequía se han presentado en los últimos cinco años.
- La distribución y magnitud de las precipitaciones en la localidad de Montalbán no permiten conseguir rendimientos óptimos en naranja sin un riego complementario en los meses de enero a abril.
- Los meses de noviembre y abril se consideran meses de transición de salida y entrada del período de lluvias, respectivamente, influyendo en la duración del período lluvioso, en este caso de ocho meses.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la colaboración del Lic. Ricardo Bello y al personal administrativo de la finca Montero por su dedicada labor a través de los años en la toma de los datos.

## SUMMARY

Forty years of rainfall data registered in the Montero farm, planted with orange and coffee trees, located in Montalbán, Carabobo State, were analyzed annually and monthly. Analyses of descriptive statistics and the probability of the expected rainfall in relation to an indicated value were carried out. The precipitation in this area was also classified into six categories from very dry to very wet conditions, and histograms of frequency were made. The month-rainfall trend was established by using the asymmetry index of Yule. The rainfall data ranged from 624 mm to 1 268 mm for the years 2001 and 1969, respectively. The mean value of total annual rainfall was  $964.3 \pm 159.5$  mm, with 16.5% of coefficient of variation. Taken into account the number of wet months and the mean annual precipitation, Montalbán was classified as unimodal stationnal regime with intermediate category. According to the Yule index the

months with negative asymmetry were March, April, May, and October. The majority of the extreme values of drought were found in the last five years. The magnitude and distribution of the rainfall in Montalban do not allow the farmers to get optimal yields for orange or coffee without complementary irrigations.

**Key Words:** Rainfall regime; water laminae; yule index.

## BIBLIOGRAFÍA

BENACCHIO, S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivos con potencial de producción en el trópico americano. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. p. 117- 171.

BENACCHIO, S. 1983. Parte II: La Ecología Agrícola de Venezuela. **In:** Información agroclimática para el desarrollo. Reviviendo la revolución verde. FONAIAP. 578 p.

AZKUE, M. y E. SOTO. 2004. Boletín Agrometeorológico Miranda, estado Carabobo. 1<sup>er</sup> Semestre año 2003. INIA, CENIAP. 3(1):04

GOLDBRUNNER, A. W. 1963. Las causas meteorológicas de las lluvias de extraordinaria magnitud en Venezuela. Servicio de meteorología y comunicaciones. FAV. Venezuela. Publicación especial N° 2, 2<sup>a</sup> edición. 230 p.

PEREIRA, A. R., L. R. ANGELOCCI e Y. SENTELHAS. 2002. Agrometeorología, fundamentos e aplicações práticas. Editora agropecuaria. 476 p.

PROHASKA, F. 1961. Las características de las precipitaciones en la región semiárida Pampeana. Revista de investigación agrícola (RIA), Bs. As. Tomo XV, N° 2. p.199 a 232. (Serie Clima y Suelo).

MINISTERIO DE LA DEFENSA. 1965. Promedios climáticos de Venezuela. Período 1951-60. Publicación especial N° 3. FAV.100 p.

OLIVEIRA, P., G. FISCH, C. RANDOW, B. KRUIJT y A. MANZI. 2003. XIII Congreso Brasileiro de Agrometeorologia. Santa Catalina., Brasil. pp. 263-254.

SACCHI, O., M. DALLLA y M. COZTAZO. 2000. Régimen de precipitación en Zavalla. **In:** Anales de VIII Reunión Argentina de Agrometeorología. Mendoza, Argentina Septiembre 2000. pp 115-119.

SÁNCHEZ CARRILLO, J. 1966. Interpretación y uso de los datos climatológicos. MAC-FONAIAP. Sección de Meteorología Agrícola. 32 p.

SÁNCHEZ CARRILLO, J. 1999. Agroclimatología. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. UCV. Edit-Editorial Innovación Tecnológica. 477 p.

## ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA, ABSORCIÓN DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO POR EL MAÍZ EN DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Rodolfo Delgado\*, María C. Núñez U.\* y Lorenzo Velásquez\*\*

### RESUMEN

El patrón de acumulación (PA) de materia seca (MS), N, P, y K por el maíz, *Zea mays* L., podría utilizarse en la determinación de la cantidad, y épocas apropiadas de aplicación de nutrimentos. En este estudio se evaluó los parámetros indicados para: 1) maíz fertilizado entre 0 y 180 kg N ha<sup>-1</sup> en un Mollisol del estado Aragua, y 2) maíz fertilizado con 120 kg N ha<sup>-1</sup> aplicado todo a la siembra o fraccionado entre la siembra y reabono a los 15, 25, o 35 días en un Ultisol (El Pao) y un Mollisol (Turén) de los estados Cojedes y Portuguesa, respectivamente. El PA relativa de MS es similar en los tres sitios evaluados: entre 47-58% se acumuló en los primeros 60 d del ciclo del cultivo, y entre 88-100% a los 90 d. Contrariamente, entre 56-88% del N, y entre 84-100% del K absorbido ocurrió en los primeros 60 d luego de la siembra, con absorción máxima entre 1,6-3,1 kg N ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> en el período 45-60 d, y de K entre 2,1-3,9 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> en el período 30-45 d. Se observó una relación lineal entre MS y P absorbido ( $r^2 = 0,95-0,99$ ), aunque el P absorbido fluctuó entre 16,5 (Turén), y 42 kg P ha<sup>-1</sup> (El Pao). La máxima tasa de absorción de P fluctuó entre 0,30 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> en el período 60-90 d (Turén) y 1,2 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> en el período 75-90 (El Pao). En los tres sitios evaluados la acumulación de nutrimentos siguió el orden K>N>P.

**Palabras Clave:** Fertilización nitrogenada; Aragua; Cojedes; Portuguesa; absorción nutrimentos; maíz.

---

\* Investigadores. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. INIA. Apdo. 4653. Av. Universidad, vía El Limón. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

\*\* Investigador. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Portuguesa. INIA. Apdo. 102. Araure, estado Portuguesa. Venezuela.

RECIBIDO: diciembre 19, 2003.

## INTRODUCCIÓN

La producción de materia seca (MS), y acumulación de nutrimentos por el cultivo maíz, *Zea mays* L., es afectada por diferentes prácticas de manejo como tipo de labranza, o fertilización nitrogenada (Timmons *et al.*, 1986; Kamprath, 1987).

Así mismo, el patrón de acumulación (PA) de N es dependiente del tipo de híbrido como lo indica Tsai *et al.* (1991), quien señala que híbridos de alta respuesta a la aplicación del elemento extienden su absorción aún hasta el final del ciclo del cultivo (CC), contrario a híbridos de bajo requerimiento del elemento los cuales absorben gran proporción de sus nutrimentos en las primeras etapas de crecimiento del cultivo. Otros investigadores (Ma *et al.*, 1999) han destacado diferencias en el PA de N de diferentes híbridos de maíz, y la importancia del N removilizado desde la planta, o del N del suelo para la formación o llenado de grano.

El conocimiento del patrón de producción de MS, y de PA de nutrimentos por el cultivo de maíz, y de las relaciones entre ellos, así como los aspectos de manejo del sistema agrícola que afectan los mismos, podría ser de utilidad para el manejo eficiente de la fertilización nitrogenada, mediante la determinación de dosis y épocas apropiadas de aplicación de los mismos, y para garantizar el suministro apropiado y oportuno de nutrimentos requeridos para la producción del cultivo.

Las diferencias en la habilidad de los híbridos en absorber N durante el llenado del grano señaladas por Ma *et al.* (1999) deberían complementarse con estrategias de fertilización que permitan mantener altos contenidos de N mineral en el suelo durante ese período. Ma *et al.* (1999) sugieren que el mantenimiento del área foliar verde por períodos más prolongados, y la capacidad de tomar N del suelo en la etapa de llenado de grano son algunas de las características de híbridos de maíz de alta eficiencia de utilización de N.

El efecto de la fertilidad del suelo en la cantidad de N, P, y K absorbido por maíz, aunque no en el patrón de absorción del mismo, fue indicado por Hanway (1962), quien encontró que la menor acumulación de N ocurrió en el tratamiento o parcela deficiente en N donde se cultiva de manera continua maíz. Igualmente la absorción de P fue menor en la parcela con maíz continuo, y en la parcela donde no se aplicó P en relación a parcelas fertilizadas con este elemento o donde se aplicó estiércol de

ganado. Para K, la parcela deficiente en N, y con maíz continuo presentó la menor absorción del elemento. En general, en promedio de los diferentes tratamientos de niveles de fertilidad, la acumulación relativa siguió el orden decreciente MS, K, N y P durante todas las etapas del CC.

Las prácticas de manejo, como la fertilización nitrogenada, afectan la absorción de otros nutrimentos. Así Kamprath (1987) encontró que en suelos con suplencia adecuada de P, la absorción de este elemento fue afectada por la suplencia de N. Para tres sitios evaluados encontró que un incremento en el contenido de N en la hoja, debido a un incremento en fertilización nitrogenada, generó también incremento en el P de la hoja. Además, la fertilización nitrogenada explicó entre 80 y 95% de la variación en la concentración de P en la hoja.

En este estudio se presenta el PA de MS, y de absorción de N, P, y K por el cultivo de maíz sometido a diferentes manejos de la fertilización con N, en tres sitios agrícolas de Venezuela.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un suelo Mollisol de Maracay, donde se evaluó la respuesta del maíz a la aplicación de dosis crecientes de N (0, 30, 60, 90, 120, y 180 kg N ha<sup>-1</sup>), y en un suelo Mollisol y un Ultisol de Portuguesa y Cojedes, respectivamente, donde se evaluó diferentes épocas de aplicación de 120 kg N ha<sup>-1</sup>. En los tres casos el N se aplicó en forma de urea.

En el Cuadro se indica las características más importantes de los tres sitios de estudio. Aspectos detallados de los tres experimentos se han publicado previamente (Delgado, 2002 a y b; Delgado *et al.*, 2004). P y K fueron obtenidos por bicarbonato de sodio (Olsen y Sommers, 1982) y Ca por el extracto de Morgam modificado utilizando NaOAc. El pH se realizó en una relación suelo/agua 1:1, y materia orgánica por digestión con dicromato de potasio según Walkey y Black (Nelson y Sommers, 1982).

En Maracay, el N se aplicó todo a la siembra, en bandas separadas 8 cm del hilo de siembra. La aplicación de N se acompañó con la aplicación de 80 y 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O en la forma de superfosfato triple (SFT) y cloruro de potasio (KCl), respectivamente.

**CUADRO.** Principales características de los sitios experimentales.

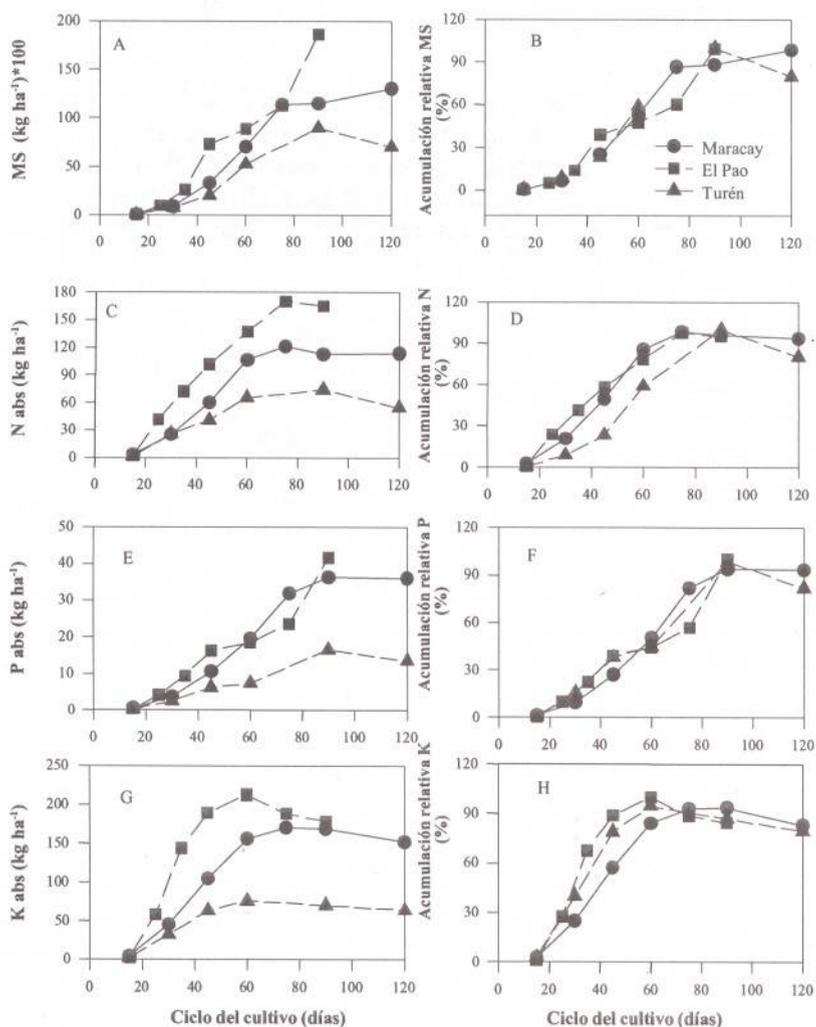
| Suelos                            | Horizonte (cm) | P                   | K     | Ca  | pH  | M.O. | Textura (%)    |
|-----------------------------------|----------------|---------------------|-------|-----|-----|------|----------------|
|                                   |                | mg kg <sup>-1</sup> |       |     |     |      |                |
| Turén<br>(Fluventic Haplustoll)   | 0-10           | 13,0                | 30,7  | 802 | 7,9 | 2,42 | Franco         |
|                                   | 10-20          | 12,0                | 25,3  | 735 | 7,9 | 2,37 | Franco         |
|                                   | 20-30          | 10,0                | 22,7  | 788 | 7,9 | 2,28 | Franco         |
| Maracay<br>(Fluventic Haplustoll) | 0-20           | 19,0                | 232,0 | 615 | 6,5 | 2,32 | Franco         |
|                                   | 20-40          | 4,0                 | 84,0  | 475 | 6,8 | 1,20 | Franco         |
| El Pao<br>(Typic Haplustoll)      | 0-10           | 7,7                 | 91,3  | 255 | 5,5 | 1,80 | Franco arenoso |
|                                   | 10-20          | 3,3                 | 58,7  | 155 | 5,4 | 1,25 | Franco arenoso |
|                                   | 20-30          | 2,0                 | 57,3  | 88  | 5,2 | 0,97 | Franco arenoso |

En Portuguesa y Cojedes los 120 kg N ha<sup>-1</sup> se aplicaron de 4 formas: 1) toda a la siembra, 2) 40 kg de N ha<sup>-1</sup> a la siembra y 80 kg N ha<sup>-1</sup> a los 15 d, 3) similar a 2, pero los 80 kg N ha<sup>-1</sup> a los 25 d, y 4) similar a 2, pero 80 kg N ha<sup>-1</sup> a los 35 d. En Cojedes y Portuguesa al momento de la siembra se aplicó 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O en la forma de SFT y KCl, respectivamente.

En los 3 sitios experimentales se estableció una densidad de siembra de 62 500 plantas ha<sup>-1</sup> del híbrido PB-8, en un diseño de bloques completamente aleatorizado con 3 repeticiones por tratamiento en Maracay, y 4 repeticiones en Portuguesa y Cojedes.

La MS se determinó, con frecuencia aproximadamente quincenal, en una área de 1 m<sup>2</sup> en los hilos centrales en cada una de las repeticiones por cada tratamiento. Igualmente se determinó la concentración de N, P, y K en el tejido vegetal por Kjeldahl mediante H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Bremner y Mulvaney, 1982). El muestreo de planta se realizó en hojas y tallo, aunque la MS acumulada y los contenidos de N, P, y K se presentaron como la suma de lo obtenido en ambos.

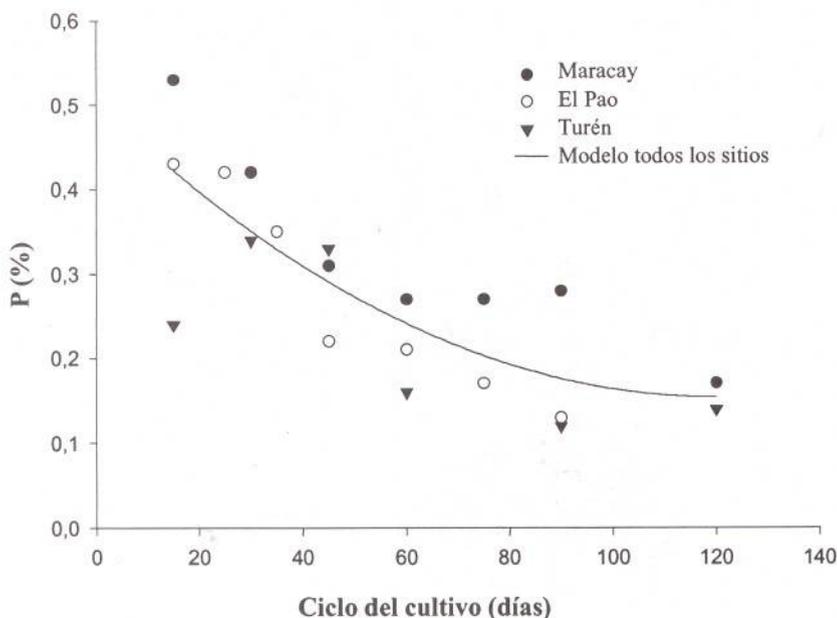
estudiados. La máxima acumulación de P, promedio entre los diferentes tratamientos en cada sitio experimental, fluctuó entre  $16,5 \text{ kg ha}^{-1}$  (Turén) y  $42 \text{ kg ha}^{-1}$  (El Pao) con máxima acumulación del mismo a los 90 DDC (Figura 1E), y aproximadamente 50% es absorbido en los primeros 60 DDC (Figura 1F).



**FIGURA 1.** Acumulación de materia seca, nitrógeno y fósforo y potasio absorbido por el maíz en los sitios evaluados.

Las TA del elemento se incrementan paulatinamente en el CC, lo cual es diferente a la acumulación de N. Las TA más bajas fluctuaron entre  $0,006 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  (Turén) y  $0,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  (Maracay) en el período 0-15 d, y las más elevadas entre  $0,30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  en el período 60-90 d (Turén) y  $1,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  en el período 75-90 d (El Pao), con valores intermedios de  $0,83 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  en el período 60-75 d (Maracay). Timmons *et al.* (1986) presentan TA entre  $0,041$  y  $0,35 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  con las más elevadas en el período antes de floración.

En la Figura 2 se presenta el promedio ponderado de la concentración del elemento en tallo y hoja, durante el CC en los sitios evaluados. Una función cuadrática decreciente ajusta los datos, lo cual sugiere un decrecimiento lineal de la concentración de P en tejido durante los primeros 60 DCC, para luego permanecer a bajas concentraciones, o con ligeros decrecimientos, hasta el final del CC.



**FIGURA 2.** Concentración promedio ponderada de P durante el ciclo de cultivo en los tres suelos evaluados.

La disminución en la concentración de P en el tejido durante el CC, podría reflejar el decrecimiento en la absorción del elemento, y/o translocación de P previamente absorbido para la formación de nueva MS, lo cual contribuye a la disolución del P debido a la mayor tasa de producción de MS que de P. Posiblemente parte del P inicialmente absorbido, es translocado vía floema desde las hojas maduras de la planta hacia las hojas en formación, como lo sugiere Biddulph *et al.* (1961). La translocación del P previamente absorbido posiblemente ocurrirá hasta que se alcanza cierto límite en la concentración del elemento en el tejido (Biddulph, 1961). Este P en plantas bien nutridas, posiblemente, se encuentra inicialmente almacenado en la vacuola de las células, contrario a plantas con déficit del elemento en donde el mismo se encuentra en el citoplasma y en los cloroplastos (Marschner, 1997).

La acumulación de K durante el CC, a diferencia de lo indicado para MS, N, y P, fue afectado por la aplicación de N en Maracay y en Turén. En Maracay las dosis más elevadas de N parecen promover la mayor absorción de potasio: se observaron diferencias significativas entre el tratamiento 180 kg N ha<sup>-1</sup> y 0 y 30 kg N ha<sup>-1</sup> a los 15 DDS, entre los tratamientos 90 y 120 kg N ha<sup>-1</sup> y 0 y 30 kg N ha<sup>-1</sup> a los 60 DDS, entre 180 y 90 kg N ha<sup>-1</sup> a los 75 DDS, y entre el tratamiento 120 kg N ha<sup>-1</sup> y 30 kg N ha<sup>-1</sup> a los 15, 60, 75 y 120 DDS.

En Turén se observaron diferencias significativas entre algunos tratamientos en acumulación de K a los 30, 45 y 90 d: a los 30 d la acumulación de K en el tratamiento con reabono a los 15 d fue superior al K acumulado en el tratamiento con reabono a los 35 d, y a los 45 d la acumulación de K en el tratamiento donde todo el fertilizante se aplicó a la siembra, fue superior a la del tratamiento donde se reabonó a los 35 d. Contrario a lo indicado anteriormente, a los 90 d en el tratamiento donde se reabonó a los 35 d la acumulación de K fue superior a la de los tratamientos donde se aplicó todo el N a la siembra y con reabono a los 15 d.

El K absorbido por el cultivo, promedio de los diferentes tratamientos en cada sitio experimental, fluctuó entre 76 kg ha<sup>-1</sup> en Turén, y 212 kg ha<sup>-1</sup> en el Pao (Figura 1G). La acumulación de K, de manera similar que la de N, fue más rápida que la acumulación de P, y de producción de MS. De manera relativa entre el 57% (Maracay) y 89% (El Pao) del K acumulado durante el CC, ocurrió a los 45 d, y entre 84% (Maracay) y 100% (El Pao) a los 60 DCC. Las TA de K más bajas fluctuaron entre 0,1 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (Turén) y 0,3 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (Maracay) en el período 0-15 d, y

las más elevadas entre 2,1 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (Turén) y 3,9 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (Maracay) en el período 30-45 d, aunque en El Pao las mismas alcanzaron valores de hasta 8,5 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> en el período 25-35 d. Timmons *et al.* (1986) señalaron TA de K que fluctúan entre 0,03 y 1,97 kg K ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> las cuales son inferiores a las observadas en este estudio. Las tasas de absorción negativas de K observadas luego de los 60 d, los cuales fluctuaron entre -0,63 y -1,6 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, podrían atribuirse en parte a pérdidas por retranslocación y exudación a través del sistema radical, aunque esto no se evaluó en el trabajo.

La normalmente más baja acumulación de MS, N, P, y K en Turén posiblemente esté asociada a déficits hídricos durante los primeros 30 DCC como lo indica Delgado (2002), quien encontró que los índices de disponibilidad de agua fluctuaron entre 0,50 y 0,16 en ese período.

### **Relación entre producción de MS y elementos absorbidos**

En los tres sitios evaluados, utilizando los promedios de MS y P absorbido de los tratamientos fertilizados en El Pao y Turén, y promedio de todos los tratamientos en Maracay, se observó una relación lineal entre MS y P total absorbido durante el CC (Figura 3A). La relación entre incremento en MS en un período determinado, y P absorbido en ese período fue significativa en los tres sitios, lo que podría sugerir que parte del P absorbido en un período determinado, contribuye notablemente a la formación de la nueva MS, aunque no se descarta que el P previamente absorbido contribuye a la formación de MS en el período sucesivo por translocación de P hacia el nuevo tejido en formación.

En la Figura 4 se indica la relación entre incremento en MS e incremento en P en diferentes etapas durante el CC. En Maracay y El Pao el incremento en P absorbido explica entre 88 y 86% de la nueva MS producida: los coeficientes de regresión lineal fluctuaron entre 460,0 y 406,7 kg MS/kg P absorbido en Maracay y El Pao, respectivamente. Sin embargo, la no significativa asociación entre MS y P absorbido en Turén ( $r^2=0,25$ ) podría estar asociado a déficit hídricos al inicio del CC (Delgado *et al.*, 2004).

La absorción de P puede ser limitada por déficits hídricos como lo sugiere Muñoz y Arscott (1991) quienes encontraron menor absorción de P por maíz cuando el mismo fue sometido a diferentes contenidos de humedad

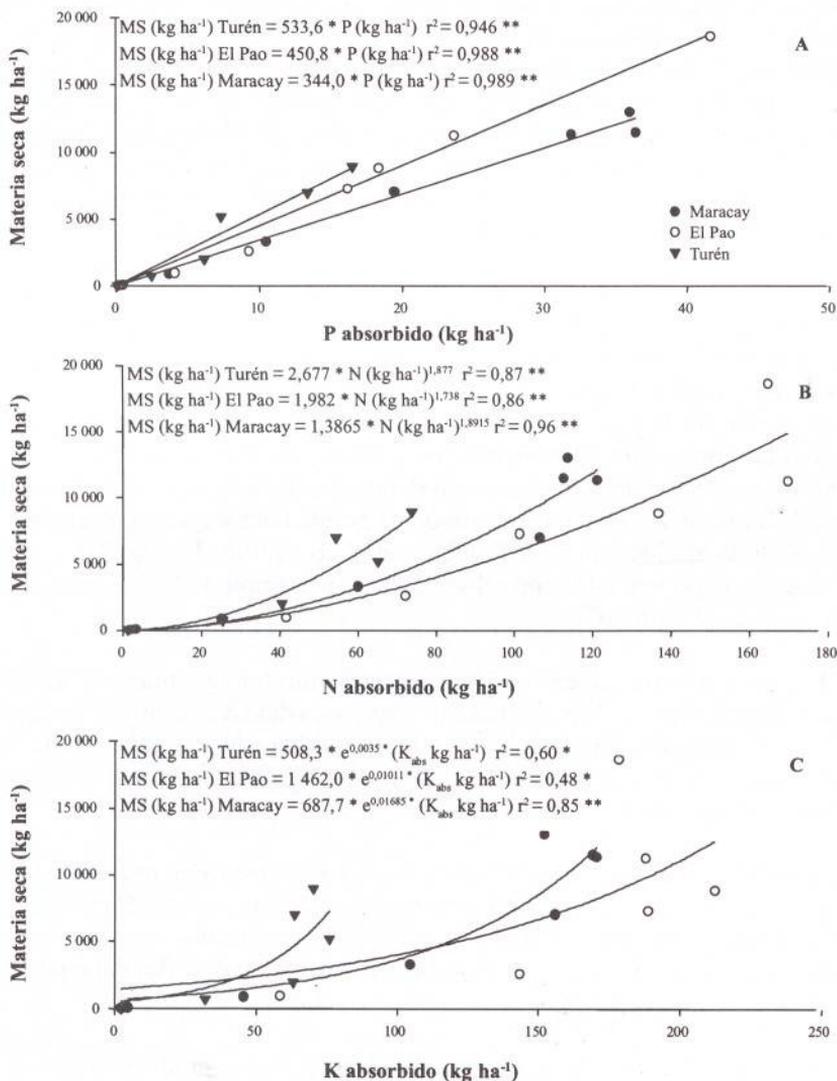
en el suelo. Indican que posiblemente el proceso de difusión que normalmente es la forma en que el P alcanza la raíz es limitado por bajos niveles de agua en el suelo, y a que el crecimiento de las raíces también pudo ser afectado. Aún cuando, se ha señalado que la deficiencia de P puede afectar el crecimiento de la hoja y con ello la intercepción de la radiación solar por la planta, y la tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar (Plenet *et al.*, 2000), aunque el principal efecto parece ser en el crecimiento de la planta más que en la reducción de la tasa de fotosíntesis.

La relación entre MS y N absorbido, y MS y K absorbido fue mejor explicada por un modelo potencial ( $MS = A_0 (N_{abs})^n$ ) y un modelo exponencial ( $MS = A_0 (e^{b \cdot K_{abs}})$ ), respectivamente, en cada uno de los sitios evaluados (Figura 3B, 3C). Estos modelos reflejan el patrón de absorción de N y K donde, como se han indicado anteriormente, una gran proporción de estos elementos es adquirida por el cultivo durante la primera etapa de su crecimiento donde contrariamente la proporción de MS producida es baja. Los modelos potenciales explican entre 86 y 96% de la producción de MS debido al N absorbido (Figura 3B), y los modelos exponenciales entre 48 y 85% de variación de MS debido a K absorbido (Figura 3C).

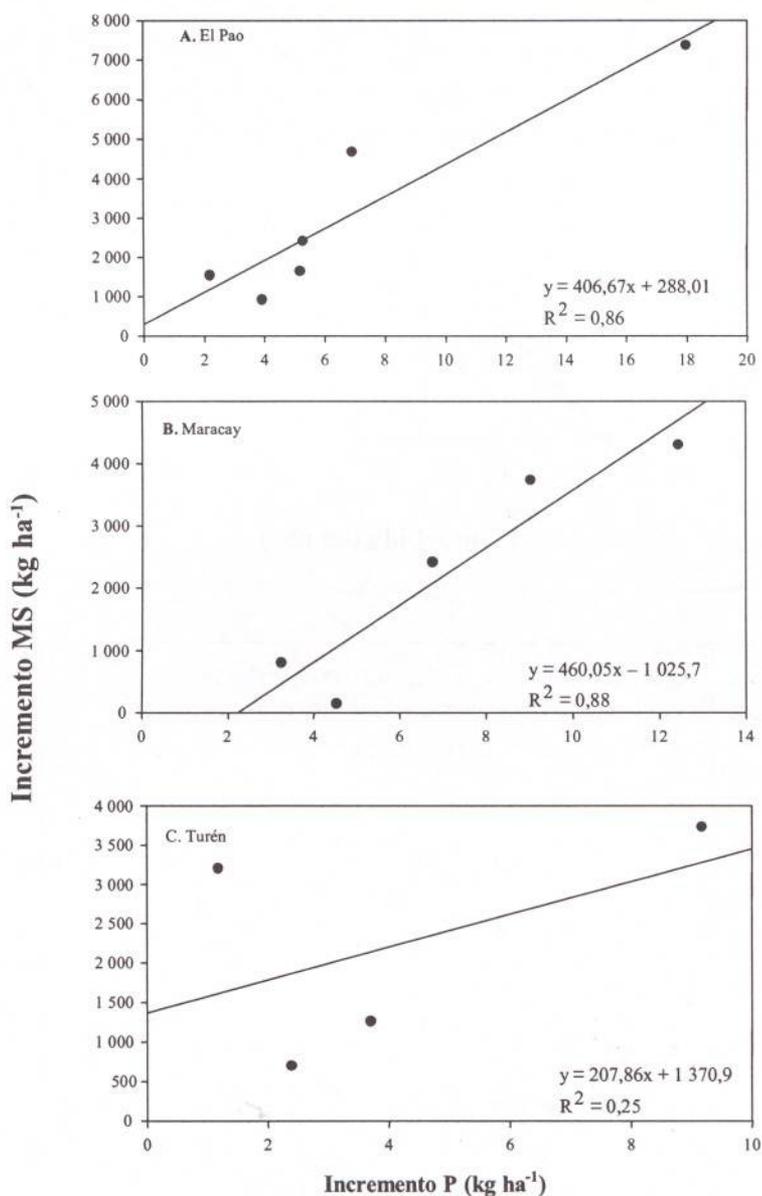
No se observaron relaciones significativas entre incrementos de N y K con incrementos de MS en diferentes periodos del CC, contrariamente a lo observado para P (Figura 4), lo cual sugiere que la acumulación de N y K durante la primeras etapas del CC no está significativamente asociada con la MS producida en ese período.

La relación entre P y N absorbido, y entre P y K absorbido muestran que la función cuadrática ajusta bien los resultados (Figuras 5A y 5B). Parece que la absorción de N y K están definidos por la acumulación de P, hasta que se alcanza un nivel en la absorción de este último arriba del cual no se absorbe más N y K.

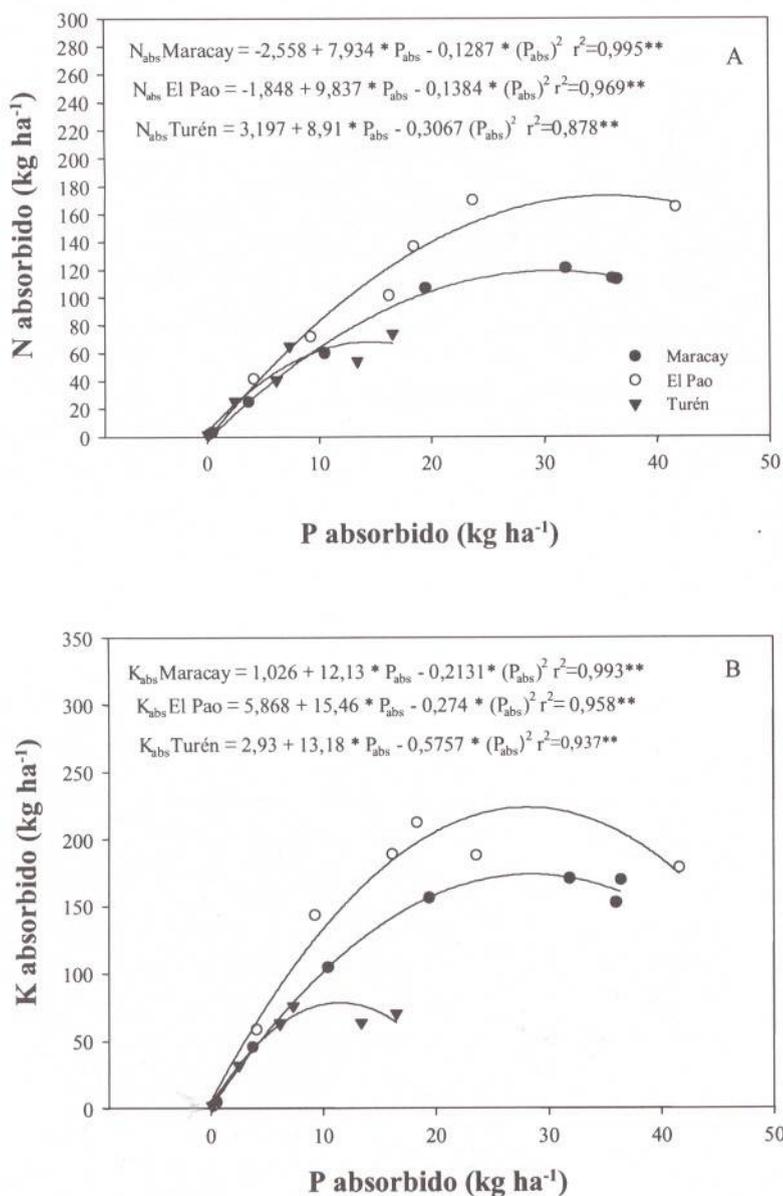
Es posible también que otras variables, asociadas a la absorción de P como la acumulación de MS, limite la absorción de N y K. Debido a la notable relación lineal entre producción de MS y P absorbido, la relación entre MS con N y K absorbido presenta una relación similar a la observada entre P con N y K. Los niveles de P absorbido por arriba de los cuales no se incrementa la absorción de N son de 15, 30,5 y 35,5 kg P ha<sup>-1</sup> en Turén, Maracay y El Pao, respectivamente.



**FIGURA 3.** Relación entre materia seca producida y absorción de N, P y K en los tres suelos evaluados.



**FIGURA 4.** Relación entre el incremento de P y producción de materia seca en los tres sitios evaluados.



Para el caso de K el contenido de P por arriba del cual no se observa incremento en la absorción de K esta en el orden de 28 kg P ha<sup>-1</sup> para Maracay y El Pao, y 11 kg P ha<sup>-1</sup> en Turén. El coeficiente de determinación de los modelos varió entre 88 y 99% para N y entre 94 y 99% para K en los tres sitios evaluados.

La relación N:P y K:P (Figura 6) se encuentran en el mismo orden de magnitud presentado por Venekamp *et al.* (1986). Para los tres sitios del estudio la mayor relación N:P se observó al inicio del CC (0-30 d), y decreció paulatinamente hasta el final del mismo y fluctuó entre 10,1 y 4,0 en El Pao, 7,2 y 3,0 en Maracay, y entre 14,1 y 4,0 en Turén.

En este caso el decrecimiento en la relación N:P desde el inicio hasta el final del CC, es contrario a lo obtenido por Venekamp *et al.* (1986), quien encontró las mayores relaciones N:P a los 80-85 d, y que la misma decrecía hasta final del CC.

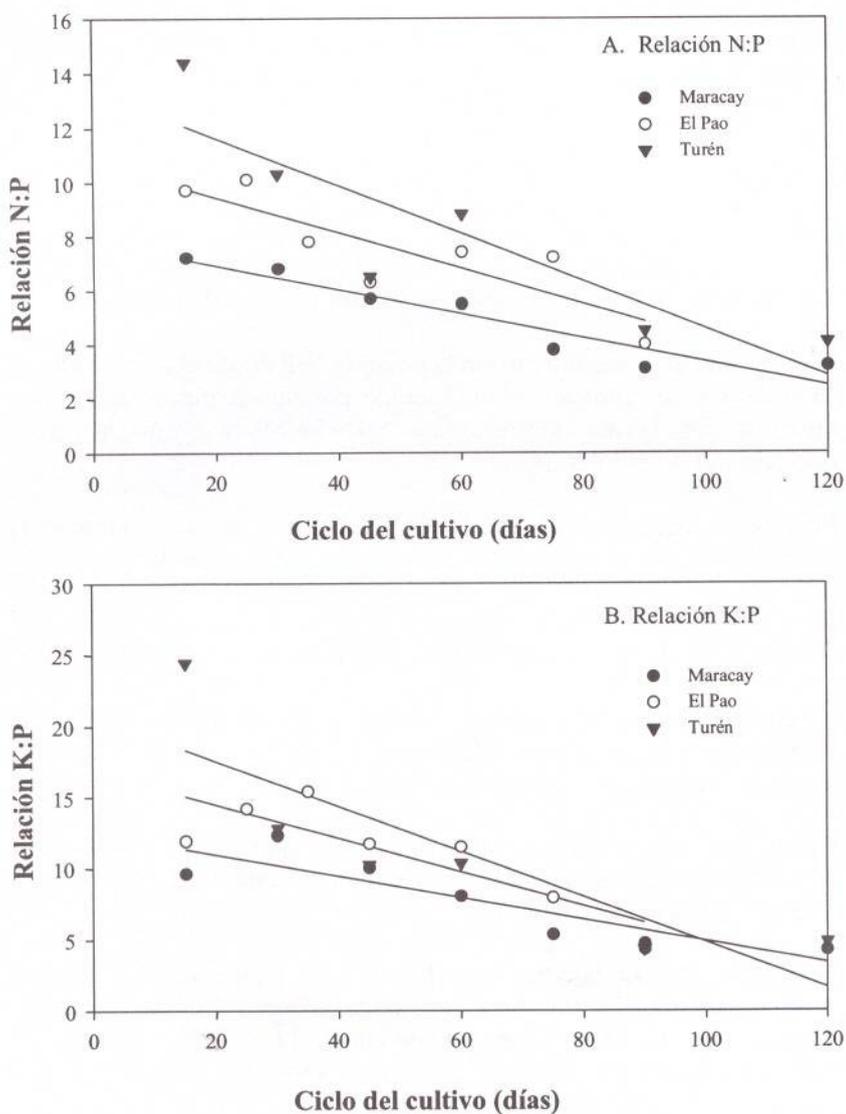
En este estudio, debido a que la cantidad mayor de N se acumula al inicio del CC, el decrecimiento en la relación N:P se debe a que la acumulación relativa de P (cantidad de P absorbido en un período de tiempo en relación al P inicial en ese período) es superior a la acumulación relativa de N durante la etapa luego de la máxima acumulación de N.

Un comportamiento similar al indicado para la relación N:P, se observó para la relación K:P (Figura 6B), la cual fluctuó entre 25,0 a los 15 d luego de la siembra, y 4,0 entre los 90 y 120 DCC.

Debido a la notable relación entre MS, N, y K absorbido con P absorbido, se destaca la importancia de la acumulación de este último en el crecimiento y producción del cultivo.

Del análisis de las relaciones entre MS, N y K y P absorbido, se observa que los parámetros lineales en esos modelos son del mismo orden de magnitud: así para MS y P fluctuaron entre 344 y 533,6 kg MS kg<sup>-1</sup> P absorbido, para N y P absorbido fluctuaron entre 7,9 y 9,8 kg N kg<sup>-1</sup> P, y para K y P absorbido fluctuó entre 12,1 y 15,3 kg K kg<sup>-1</sup> P.

Lo antes indicado, sugiere que estas relaciones parecen persistir en diferentes condiciones de suelo, clima y de manejo de la fertilización nitrogenada.



**FIGURA 6.** Relación N:P y K:P durante el ciclo del cultivo en los tres sitios del estudio.

## SUMMARY

The pattern of dry matter (DM) accumulation and N, P, and K uptake by maize, *Zea mays* L., could be used in determining the amount and optimal stages of fertilizer application to improve nutrient efficiency. In this experiment it was evaluated the parameters mentioned above by 1) maize hybrid in a Mollisol soil of Maracay where between 0 to 180 kg N ha<sup>-1</sup> was applied, and 2) in a Ultisol and in a Mollisol soil of El Pao (Cojedes) and Turén (Portuguesa) where 120 kg N ha<sup>-1</sup> was applied whole at the sowing time, or split between sowing time and dressing at 15, 25, or 35 days after sowing. It was found that DM production had a similar pattern in the three places: between 47% and 58% of the DM was accumulated during the first 60 days, and between 88 and 100% 90 days after sowing. However between 56 and 88% of N, and between 84 and 100% of K were taken up at the 60 days after sowing, with maximum uptake rate between 1.6-3.1 and 2.1-3.9 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> of N and K at the 45-60 and 30-45 days periods respectively. There was a linear relationship between DM production and P uptake ( $r^2 = 0.95-0.99$ ), although P uptake changed between 16.5 (Turén) and 42 kg ha<sup>-1</sup> (El Pao). The maximum P uptake rate changed from 0.30 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> at 60-90 days period (Turén), and 1.2 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> at 75-90 days period (El Pao). The amount of nutrient uptake followed the order K>N>P.

**Key Words:** Maize, dry matter, accumulation, nutrients, uptake.

## BIBLIOGRAFÍA

- BREMNER, J. M. and C. S. MULVANEY. 1982. Nitrogen total. **In:** A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. 9:595-624.
- BIDDULPH, O. 1961. The translocation of minerals in plant. **In:** E. Truog (Ed.) Mineral nutrition of plants. The University of Wisconsin Press. USA. p. 261-275.
- DAIGGER, L. A., D. H. SANDER and G. A. PETERSON. 1976. Nitrogen content of winter wheat during growth and maturation. Agron. J. 68:815-818.
- DELGADO, R. 2002a. Evaluación de crecimiento del maíz y absorción de nitrógeno bajo diversas condiciones de disponibilidad del elemento en un Mollisol de Venezuela. Agron. Trop. 52:5-22.

- DELGADO, R. 2002b. Soil-plant dynamics related to N uptake and soil N availability. Ph. D. diss. Colorado State Univ. Fort Collins, CO. 140 p.
- DELGADO, R., L. VELÁSQUEZ y E. C. de BISBAL. 2004. Época de aplicación y tipo de fertilizante nitrogenado sobre el patrón de acumulación de materia seca y nitrógeno del maíz en un Ultisol y un Mollisol de Venezuela. *Agronomía Trop.* 54(4):461-479.
- HANWAY, J. J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility: II. Uptake of N, P, K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agron. J.* 54:217-222.
- KAMPRATH, E. J. 1987. Enhanced phosphorus status of maize resulting from nitrogen fertilization of high phosphorus soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1.522-1.526.
- MA, B. L., L. M. DWYER and E. G. GREGORICH. 1999. Soil nitrogen amendment effects on nitrogen uptake and grain yield of maize. *Agron. J.* 91:650-656.
- MARSCHNER, H. 1997. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. San Diego, CA.
- McGUIRE, A. M., D. C. BRYANT and R. F. DENISON. 1998. Wheat yields, nitrogen uptake, and soil moisture following winter legume cover crop vs. fallow. *Agron. J.* 90:404-410.
- MUÑOZ, M. A. and T. ARSCOTT. 1991. Effect of soil moisture level and phosphorus rate on phosphorus uptake and growth of corn (*Zea mays* L.). *J. Agric. Univ. P. R.* 75:153-162.
- NELSON, D. W. and L. E. SOMMER. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. **In:** A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2<sup>nd</sup> ed. *Agron.* 9:539-579.
- OLSEN, S. R. and L. E. SOMMER. 1982. Phosphorus. **In:** A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2<sup>nd</sup> ed. *Agron.* 9:403-430.
- PLENET, D., S. ETCHEBEST, A. MOLLIER and S. PELLERIN. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. I. Leaf growth. *Plant and Soil.* 223:117-130.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. 1998. SAS/STAT User's Guide., Version 7.0, Statistical analysis System Institute. Cary, NC., USA.

TIMMONS, D.R., T. M. CROSBIE, R. M. CRUSE, D. C. ERBACH and K. N. POTTER. 1986. Effect of tillage and corn hybrids on N, P, and K uptake at different growth stages. *Maydica*. 31:279-293.

TSAI, C.Y., D. M. HUBER, H. L. WARREN and A. LYZNIK. 1991. Nitrogen uptake and redistribution during maturation of maize hybrids. *J. Sci. Food Agric.* 57:175-187.

VENEKAMP, J. H., F. W. T. PENNING de VRIES and J. T. M. KOOT. 1986. Phosphorus redistribution in maize plants, *Zea mays* L., in relation to the nitrogen supply. *J. Agronomy and Crop Science*. 157:208-214.

WEILAND, R. T., C. A. STUTTE and P. R. F. SILVA. 1982. Nitrogen volatilization from plant foliage. University of Arkansas, Fayetteville. Agricultural Experiment Station. Report Series 266. 40 p.

## SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN BADAJOZ-ESPAÑA APLICANDO LA METODOLOGÍA USLE

María F. Rodríguez\*, Adriana Florentino\*\*,  
Juan Gallardo\*\*\* y Roberto de Antonio García\*\*\*

### RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la erosión hídrica de los suelos de un área de la Provincia de Badajoz-España, con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), que permite calcular los distintos niveles de pérdidas en  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Se definieron ocho unidades de suelo tomando en cuenta el paisaje, considerando la litología y las regiones fisiográficas. Los factores considerados fueron: la erosividad de la lluvia (factor R), la erosionabilidad del suelo (factor K), la longitud y grado de la pendiente (factor LS) y la cobertura y manejo del suelo (factor C). Se utilizaron los SIG ARC/INFO v. 3,4 e IDRISI v. 2,0; como herramientas para el análisis y representación de la erosión en dichas unidades. Se evidenciaron pérdidas de suelos inferiores a  $25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en 79,8% de la superficie. La aplicación de la USLE muestra que 53% de la zona en estudio tiene una tasa de erosión de  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  por debajo del nivel de tolerancia, según lo establecido por el ICONA en el año 1991, el cual es de  $12,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . La superficie que corresponde a Sierras y Montes (27%), tiene una tasa de erosión entre  $10$  y  $25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; el 20% restantes corresponde a pérdidas por erosión mayores de  $25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . El empleo de los SIG demostró la utilidad de esta tecnología en el análisis, evaluación y representación de la distribución espacial de la erosión hídrica de estos suelos.

**Palabras Clave:** Erosión; USLE; SIG; suelo; España.

---

\* Investigadora. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Laboratorio de Sistemas de Información en Agroecológicos. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4653. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

E-mail: marifeig@hotmail.com / mfrdriguez@inia.gov.ve

\*\* Profesora. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía. Apdo. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

\*\*\* Profesores. Universidad Politécnica de Madrid-España.

RECIBIDO: enero 22, 2004.

## INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos por erosión hídrica es uno de los procesos más importantes en la pérdida de la capacidad productiva de la tierra. En la estimación de este proceso degradativo, en términos de pérdida de suelo, se han desarrollado y diseñado una serie de procedimientos y modelos. Un modelo paramétrico que pretende interpretar los mecanismos erosivos por causas y efectos, de mayor aceptación y más amplia aplicación es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). La incorporación de los sistemas de información geográfica (SIG) a este tipo de estudios permite con técnicas modernas un mejor análisis y representación de la información georeferenciada.

Autores como De Antonio (1994), Jager (1994), Montes *et al.* (2001), Araneda *et al.* (2002) y Geler *et al.* (2004) han empleado los SIG para el cálculo y representación de la tasa de pérdida de suelo por erosión. La aplicación de la USLE conjuntamente con esta herramienta revela que su uso es muy adecuado para la evaluación de dicho proceso, facilitando el análisis de la información espacial y proporcionando resultados confiables, además de permitir su representación en mapas de riesgos de erosión, lo que permite asumir medidas preventivas.

En este estudio se realizó el cálculo de la erosión hídrica de un área de la Provincia de Badajoz, mediante la aplicación de la USLE, utilizando los SIG como herramienta para la generación de mapas de pérdidas de suelo por erosión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ámbito Geográfico

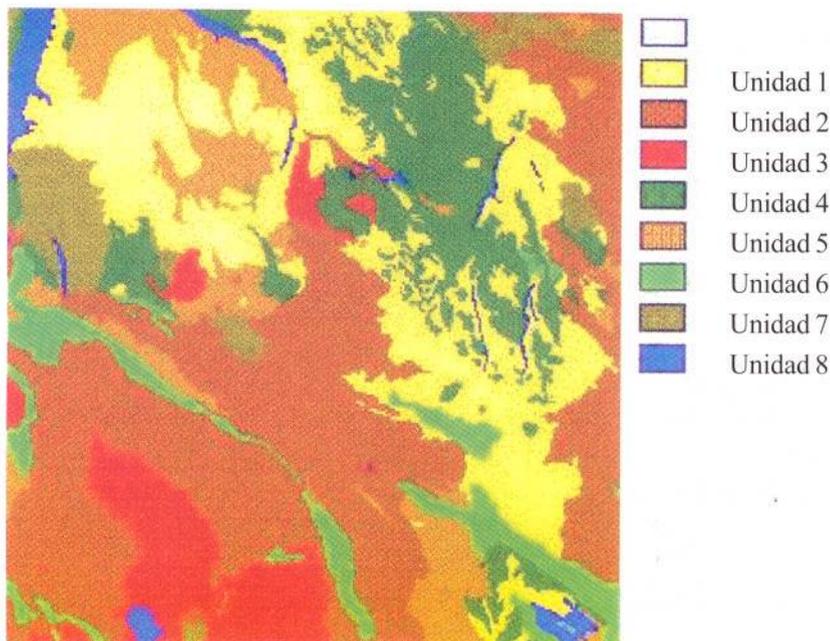
El área de estudio, con una extensión de 280 900 ha, se desarrolló en la Comunidad Autónoma de Extremadura, Provincia de Badajoz-España, cuyas coordenadas geográficas son 38° 20' N y 6° 51' W. La altitud media es de 500 m.s.n.m. y los paisajes predominantes son Sierras y Montes, Campiña. El clima, según la clasificación de Papadakis, es Mediterráneo Sub-Tropical, con precipitación media anual entre 458 y 680 mm y temperatura media anual mínima de 15 a 17 °C y 23 °C la máxima.

## Definición de las unidades de suelo

Se definieron ocho unidades de suelo (Cuadro 1), tomando en cuenta los paisajes predominantes, considerando la litología y las regiones fisiográficas (Figura 1).

**CUADRO 1.** Características de las unidades de suelo.

| Unidad                            | Características  |
|-----------------------------------|--|
| 1<br>Calcixerollic<br>Xerochrepts | Horizonte Ap. Zona superficial acumulación de carbonatos.<br>Paisajes de lomas y pequeñas colinas.<br>Explotación: Olivar y viñedos.   |
| 2<br>Typic Xerorthents            | Suelo con reducido espesor sobre pizarras y esquistos.<br>Paisaje de sierras y montes con vertientes acentuadas.<br>Explotación: Ganadera en dehesas arboladas y desarboladas.             |
| 3<br>Typic Xerochrepts            | Suelos arenosos sobre granito.<br>Paisajes: sierras y montes vertientes acusadas.<br>Explotación: Ganadera dehesas arboladas y desarboladas.   |
| 4<br>Chromic<br>Calcixererts      | Suelos arcillosos. Paisaje de campiña con superficies llanas.<br>Explotación: Olivar y viñedo (secano).<br>Alta capacidad agrícola.  |
| 5<br>Calcic<br>Haploxeralfs       | Horizonte Ap (laboreo), Bt (reducido espesor), Ck (carbonato).<br>Paisajes: Campiña de lomas y pequeñas colinas.<br>Explotación: Olivar y viñedo. Textura Franco arcillosas.               |
| 6<br>Typic Rhodoxeralfs           | Suelos Terra rossa de calizas metamórficas.<br>Paisaje: Sierras y montes. Explotación: Olivar solo en zonas donde se puede cultivar. La dificultad de mecanización, fase de abandono.      |
| 7<br>Aquic Palexeralfs            | Horizonte A muy lavado, arenoso, B pedregoso, arcillosa.<br>Suelos formados de rañas (Depósitos Aluviales del Plioceno).<br>Explotación: Ganadera dehesas arboladas. Algunas zonas cereal. |
| 8<br>Typic Xerofluvents           | Suelos Aluviales.<br>Paisaje: Campiña con superficies llanas.<br>Jóvenes, pobres en nutrimentos.<br>Explotación: herbáceos en regadío por gravedad.  |



**FIGURA 1.** Unidades de suelo del área de estudio.

### **Muestreo de campo**

Se realizó un muestreo por áreas análogas (Ovalles, 1999; Crepín, 1993), para la determinación de los parámetros necesarios para la determinación de la erosionabilidad del suelo. Las muestras fueron georeferenciadas con sistema de posicionamiento global (GPS).

### **Sistema de Información Geográfica y equipo informático utilizado**

Se utilizó el SIG ARC/INFO v. 3,4 para la digitalización vectorial de la información y el SIG IDRISI v. 2,0 para el análisis y representación de los resultados. El equipo informático utilizado fue un Pc Pentium II, disco duro de 3,5 Gygabites, 64 Mbytes RAM, una tabla digitalizadora Kurta DINA0 y un Trazador de planos (Plotter).

## Introducción y gestión de la información espacial

La captación de la información espacial se realizó digitalizando, en forma vectorial, la información de suelo, vegetación y curvas de nivel, que luego fue transformada en formato raster. La proyección fue en coordenadas UTM y el tamaño de la celda utilizado una hectárea, quedando conformada una imagen de 530 filas x 530 columnas.

## Determinación de parámetros de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE

Para aplicar el modelo erosivo se adaptó la información base para obtener los factores de erosividad de la lluvia, erosionabilidad del suelo, longitud y pendiente de la ladera, cultivo y manejo del suelo. Para el factor prácticas de conservación se fijó el valor de uno ( $P=1$ ), por no contar con información suficiente. La ecuación y las unidades aplicadas fueron:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde:

A = Pérdida media anual de suelo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )

R = Factor de erosividad de la lluvia ( $\text{MJ cm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )

K = Factor de erosionabilidad del suelo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ h MJ}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ ha}$ )

L = Factor de longitud de la ladera (adimensional)

S = Factor de pendiente de la ladera (adimensional)

C = Factor cobertura y manejo del suelo (adimensional)

P = Factor prácticas de conservación (adimensional)

Cada uno de los factores requirió un tratamiento diferenciado para obtener, como resultado final, el mapa que representa las pérdidas de suelo por erosión.

## Erosividad de la lluvia (Factor R)

Se obtuvo aplicando el método propuesto por ICONA (1988), que correlaciona R con el índice de agresividad climática "F" de Fournier, mediante una ecuación que se adapta a la zona de estudio:

$$R = 2,56 \cdot (F)^{1,065}$$

F = Índice de Fournier modificado

$$F = 1/n \cdot \Sigma (p_i^2/P_i)$$

n = Número de años de la serie de precipitación

$p_i$  = Precipitación del mes más lluvioso del año "i" (mm)

$P_i$  = Precipitación total anual del año "i" (mm)

Los valores de R se calcularon para cada una de las diez estaciones meteorológicas representativas del área de trabajo, y por interpolación de los valores R de las estaciones, se obtuvo el mapa de erosividad de la lluvia.

### Erosionabilidad del suelo (Factor K)

Este factor representa la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica. Para su cálculo se utilizaron los resultados de las muestras de suelo analizadas aplicando el Nomograma de erosionabilidad de Wischmeier *et al.* (1971).

Los parámetros utilizados para la determinación fueron:

- Contenido (%) de limo + arena muy fina
- Contenido (%) de arena > 0,1 mm
- Contenido (%) de MO
- Estructura del suelo (Wischmeier *et al.*, 1971)
- Permeabilidad (Wischmeier *et al.*, 1971)

Una vez obtenidos los valores de K en cada punto de muestreo, se asignó a cada unidad de suelo el valor medio. Con el SIG IDRISI se clasificó la imagen de unidades de suelo, asignándole para cada unidad el valor de K correspondiente. Como resultado se obtuvo el mapa de erosionabilidad del área de estudio.

### Longitud y Pendiente de la Ladera. Factor LS

El factor topográfico LS de la USLE se calculó utilizando la fórmula de Wischmeier y Smith (1978):

$$LS = [x/22,13]^m \cdot [65,41 \cdot \text{sen}^2\theta + 4,56 \cdot \text{sen}\theta + 0,065]$$

x = longitud de la ladera (metros)

$\theta$  = pendiente de la ladera (grados)

s = pendiente (%)

m = exponente cuyos valores se reflejan en el Cuadro 2.

Para la determinación de este factor fue necesario conocer las pendientes. El mapa de pendientes se obtuvo a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT), el cual parte de la información contenida en la cobertura de curvas de nivel, y que mediante el proceso de interpolación resulta una imagen que tiene como atributo en cada una de las celdas, el valor de altitud sobre el nivel del mar.

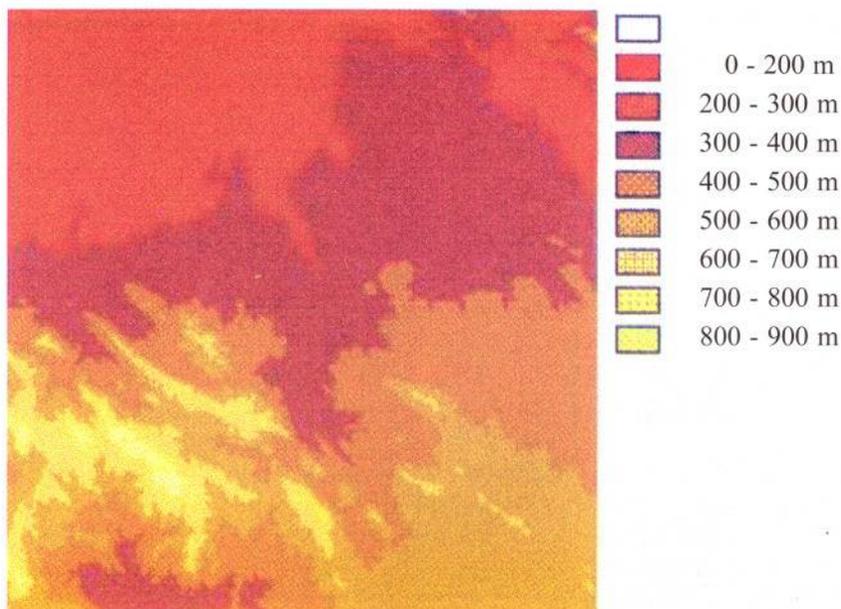
El MDT se observa en dos o tres dimensiones. La imagen plana (Figura 2) y la tridimensional (Figura 3). Este, permite superponer una segunda imagen sobre el MDT permitiendo distinguir mejor el relieve.

Para conseguir la imagen con los valores del factor LS del modelo se procedió del siguiente modo:

Con el SIG IDRISI se obtienen dos imágenes de pendiente, una expresada en porcentaje y otra en grados. A estas dos imágenes se les aplicó una serie de operaciones lógicas (fórmula Wischmeier, 1978) donde primero se dividieron los valores de longitud de la ladera (metros) entre 22,13, elevándose a un exponente "m" dependiendo de los valores correspondientes al valor S (%), de estas operaciones resultó una imagen; luego se determinó la otra parte de la fórmula  $[65,41 \cdot \text{sen}^2\theta + 4,56 \cdot \text{sen}\theta + 0,065]$  y se obtuvo otra imagen con esos valores para finalmente proceder a multiplicar las dos imágenes a través de la sobreposición y reclasificación de las mismas, obteniendo como producto final un mapa final que expresa el factor LS correspondiente al área de estudio (Cuadro 2).

**CUADRO 2.** Valores del exponente m.

| s (%)     | "m" |
|-----------|-----|
| ≥ 5       | 0,5 |
| 3,5 - 4,5 | 0,4 |
| 1 - 3     | 0,3 |
| < 1       | 0,2 |



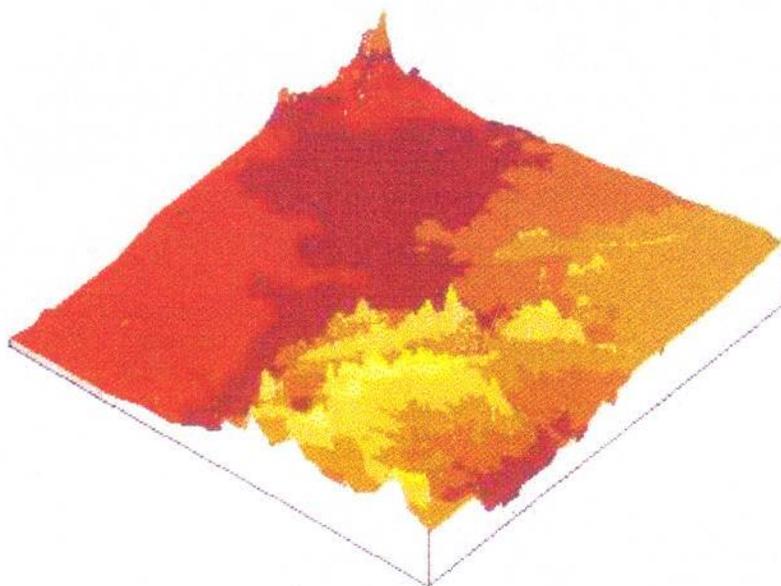
**FIGURA 2.** Modelo Digital de Terreno. Imagen bidimensional de altitudes cada 100 m.

### Manejo del Cultivo. Factor C

Los valores del factor C de uso del suelo se deducen de la cobertura de usos del suelo, para ello se utilizaron los valores medios adoptados por el ICONA (1982) tal como se aprecia en el Cuadro 3.

En el SIG se asignó cada valor de "C" a la imagen que contiene los usos del área de estudio. El resultado fue la imagen que contiene el valor del factor de manejo del cultivo "C" correspondiente a la vegetación de cada celda.

Para la determinación de este factor también se utilizaron otras metodologías, con la finalidad de hacer una comparación con la anteriormente mencionada. Para los casos Cereal - Barbecho (secano) y Maíz - Cereal (regadío) se utilizaron las tablas presentadas por Moreira (1991), generadas de las tablas de Wischmeier (1965) para su adaptación a las condiciones españolas. Para Dehesa - Pastizal se aplicó el método de Wischmeier (1975).



**FIGURA 3.** Modelo Digital del Terreno visto en tres dimensiones.

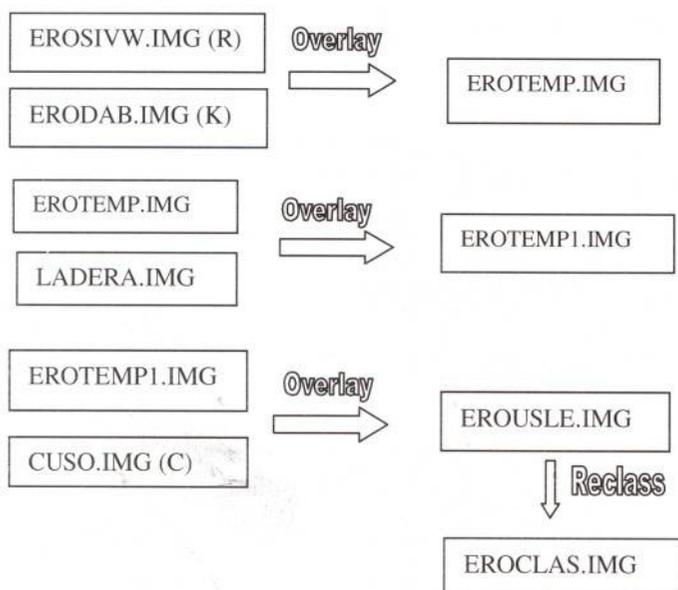
**CUADRO 3.** Valores medios del factor “C” (ICONA 1982).

| Tipo de cubierta             | Factor “C” |
|------------------------------|------------|
| Arbolado forestal denso      | 0,01       |
| Arbolado forestal claro      | 0,03       |
| Matorral con buena cobertura | 0,08       |
| Matorral ralo y eriales      | 0,2        |
| Cultivos arbóreos y viñedos  | 0,4        |
| Cultivos anuales y herbáceos | 0,25       |
| Cultivos en regadío          | 0,04       |

## Estimación de las Pérdidas de Suelo

La erosión real, estimada mediante el modelo USLE y utilizando SIG geográfica se representa en una imagen que muestra la pérdida de suelo en  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en cada una de las celdas de una hectárea de superficie en que se ha dividido el área de estudio. El proceso para obtener la imagen anterior se resume en la Figura 4.

El análisis en el SIG comienza con la multiplicación de la imagen que contiene el factor de erosividad (R) con la que contiene los datos de erosionabilidad (K), obteniendo una imagen temporal. La imagen temporal, se multiplica a su vez por la que contiene el factor longitud y pendiente de la ladera (LS). El resultando (otra imagen temporal), se multiplica por el factor manejo del cultivo (C) logrando la imagen final de pérdidas por erosión hídrica. Para sintetizar el resultado se clasificó la imagen de pérdidas de suelo, con una adaptación de los rangos definidos por ICONA (1991) obteniendo al final la imagen con los distintos niveles erosivos (Cuadro 4).



**FIGURA 4.** Esquema de cálculo de pérdida de suelo mediante la USLE.

**CUADRO 4.** Niveles erosivos según las pérdidas de suelos (Adaptación clasificación ICONA 1991).

| Niveles erosivos | Pérdidas de suelo<br>(Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) |
|------------------|---|
| 1                | 0 - 10  |
| 2                | 10 - 25   |
| 3                | 25 - 50   |
| 4                | 50 - 100  |
| 5                | 100 - 200   |
| 6                | > 200   |

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estimación de los factores R, K, LS y C sirvió para hacer un diagnóstico sobre el riesgo de erosión hídrica de la zona, donde cada uno de ellos constituyó una capa de información, que al ser analizados con el SIG aplicando la fórmula USLE, dio como resultado final un mapa con las pérdidas de suelo en Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de la zona de estudio.

En el Cuadro 5 se observan los resultados del factor R, en cuanto a la erosividad de la lluvia, para cada estación meteorológica y además en la Figura 5 están representados gráficamente los valores para cada celda, donde los distintos colores muestran diferentes valores de erosividad.

Los resultados obtenidos por la erosionabilidad del suelo para la determinación del factor K para cada unidad del suelo, se observan en el Cuadro 6. Estos resultados permitieron su representación espacial como lo muestra la Figura 6, donde las unidades 4 y 5 son las que presentan una menor susceptibilidad a la erosión y, por el contrario, las unidades 1 y 7 son las de mayor susceptibilidad.

### Resultados del factor LS (longitud y pendiente de ladera).

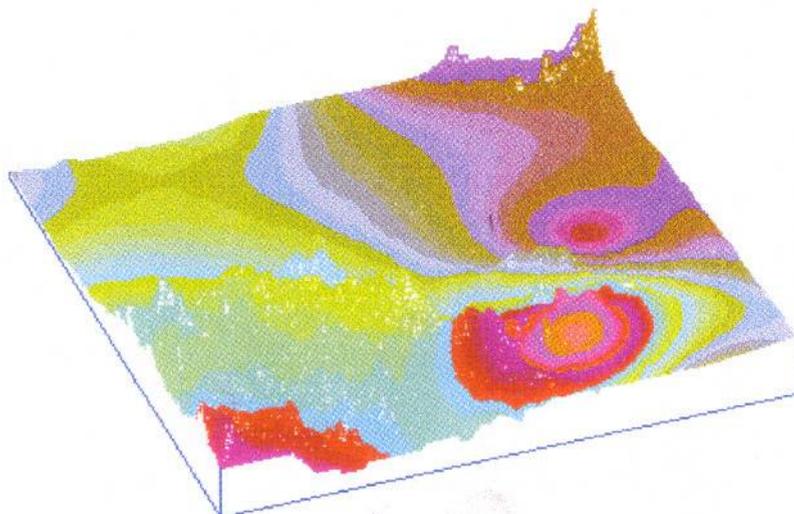
Los resultados de este factor producto de la ecuación:

$$LS = [x/22,13]^m \cdot [65,41 \cdot \text{sen}^2\theta + 4,56 \cdot \text{sen}\theta + 0,065]$$

es una imagen que expresa el valor del factor LS correspondiente a cada una de las celdas en que queda dividida el área de estudio (Figura 7).

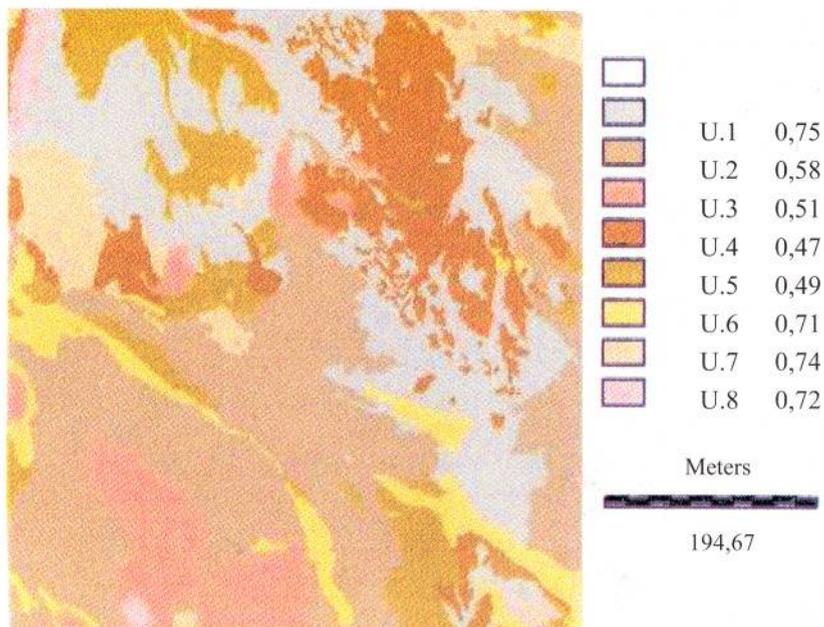
**CUADRO 5.** Valores de R / Estación meteorológica.

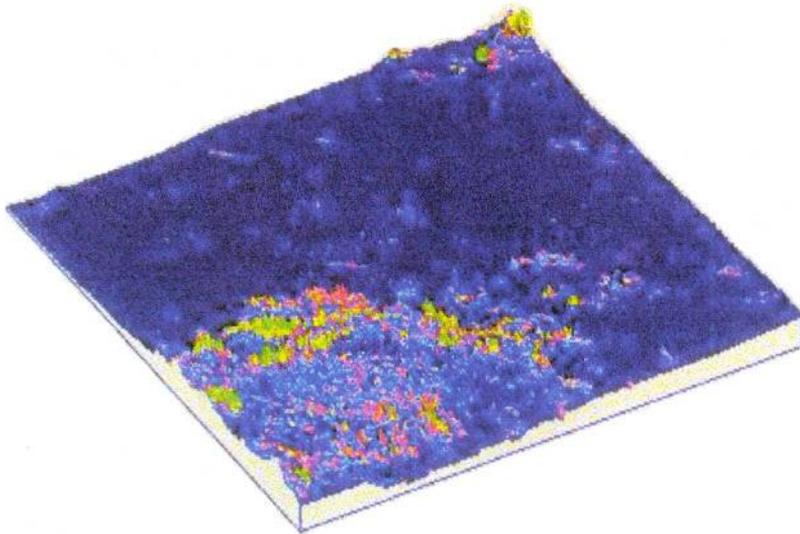
| Nº de la Estación | Valor de R (MJ cm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) |
|-------------------|--|
| 1                 | 139,08   |
| 2                 | 106,14   |
| 3                 | 114,91   |
| 4                 | 111,58   |
| 5                 | 158,17   |
| 6                 | 137,59   |
| 7                 | 142,15   |
| 8                 | 122,84   |
| 9                 | 123,97   |
| 10                | 148,82   |

**Factor R (erosividad de la lluvia)****FIGURA 5.** Vista tridimensional del área de estudio con valores de erosividad (factor R).

**CUADRO 6.** Resultados de K / unidad de suelo obtenidos de diferentes valores de cada punto de muestreo.

| Unidad | K (Mg ha <sup>-1</sup> h MJ <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> ha) |
|--------|--|
| 1      | 0,75   |
| 2      | 0,58   |
| 3      | 0,51   |
| 4      | 0,47   |
| 5      | 0,48   |
| 6      | 0,71   |
| 7      | 0,74   |
| 8      | 0,72   |

**FIGURA 6.** Mapa de erosionabilidad del suelo factor K (Mg ha<sup>-1</sup> h MJ<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> ha).



**FIGURA 7.** Imagen factor LS.

### **Resultados del Factor C (Cultivo)**

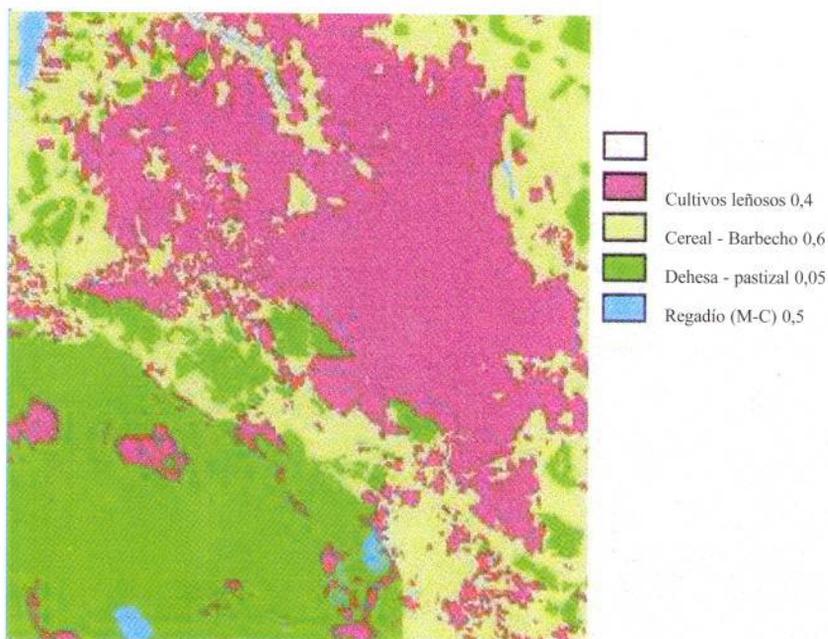
El cultivo como resultados obtenidos del factor “C”, utilizando las diferentes metodologías se observan en el Cuadro 7. Estos valores permitieron que se hiciera una representación espacial de los mismos como se ve en la Figura 8.

### **Estimación del riesgo de erosión hídrica en el área de estudio**

Después de la operación multiplicativa de los factores tomados en cuenta para esta evaluación, se obtuvo finalmente con el SIG IDRISI la imagen de riesgos de erosión hídrica, dividida en cinco niveles, donde puede observarse tanto en el Cuadro 8 como en la Figura 9 que 53% del área presenta pérdidas de suelos menores a  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Esto hace correspondencia con la clasificación FAO/UNESCO (1989) que establece que esta zona de erosión. Alrededor de 27% tiene pérdidas entre 10 y 25 toneladas y el resto del área, es decir 20%, tienen pérdidas mayores a  $25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , localizándose fundamentalmente en las zonas de Sierras y Montes. Estos resultados coinciden con los “Mapas de los Estados Erosivos” de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana (ICONA, 1991) donde se obtuvieron valores de pérdidas de suelo por erosión hídrica similares.

**CUADRO 7.** Resultados del valor “C” mediante diferentes metodologías.

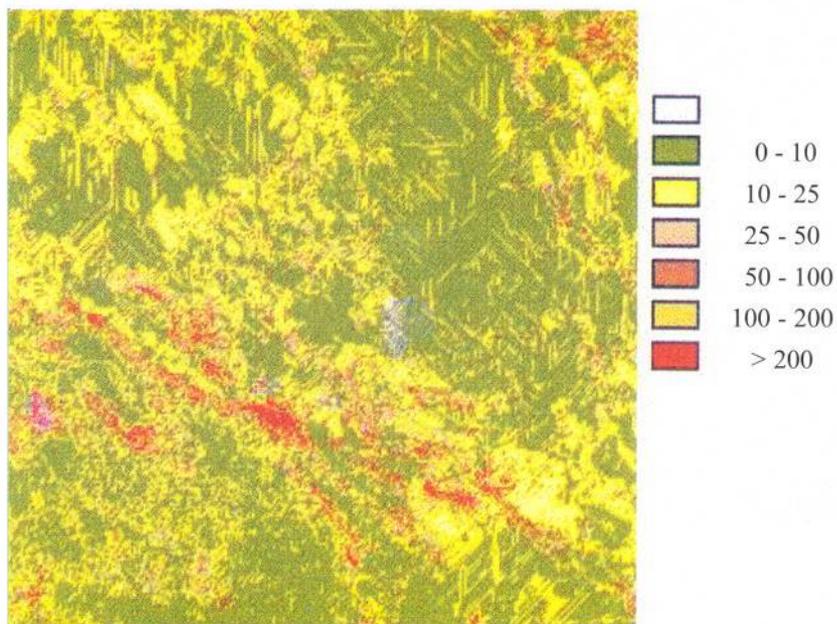
| Tipo de Cubierta                    | Factor “C” | Metodología      |
|-------------------------------------|------------|------------------|
| Cultivos leñosos                    | 0,4        | ICONA, 1982      |
| Cereal - Barbecho                   | 0,6        | Moreira, 1991    |
| Dehesa - pastizal                   | 0,05       | Wischmeier, 1975 |
| Cultivos en regadío (maíz - cereal) | 0,5        | Moreira, 1991    |



**FIGURA 8.** Mapa de Cultivos. (Factor C).

**CUADRO 8.** Resultados de áreas afectadas según los riesgos de erosión.

| Nivel | Leyendo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) | Superficie (ha) | % sobre total |
|-------|--|-----------------|---------------|
| 1     | 0 - 10   | 149 862         | 53,3          |
| 2     | 10 - 25  | 75 143          | 26,8          |
| 3     | 25 - 50  | 28 458          | 10,1          |
| 4     | 50 - 100   | 16 793          | 6,0           |
| 5     | 100 - 200  | 6 821           | 2,4           |
| 6     | > 200  | 3 823           | 1,4           |
|       |  | Total = 280 900 | 100           |

**FIGURA 9.** Mapa de pérdidas de suelo por erosión ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ).

## CONCLUSIONES

- La aplicación de la USLE muestra que 53% de la zona en estudio tiene una tasa de erosión de  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , por debajo del nivel de tolerancia, si se toma en cuenta el nivel de referencia propuesto por el ICONA (1991) que es de  $12,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . La superficie que corresponde fundamentalmente a Sierras y Montes (27%), tiene una tasa de erosión entre  $10$  y  $25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y la superficie restantes (20%) corresponde a pérdidas por erosión superiores de  $25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- El empleo de los sistemas de información geográfica, demostró la utilidad de esta tecnología en el análisis, evaluación y representación de la distribución espacial de la erosión hídrica de estos suelos, permitiendo localizar geográficamente las áreas más afectadas.
- La sistematización a través de los SIG permite evaluar diferentes escenarios en cuanto a la aplicación de diferentes prácticas alternativas de conservación de suelos.

## SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the loss of soils by hydric erosion in an area of Badajoz Province, Spain, by using the Universal Soil Loss Equation (USLE), which allows to determine several losses levels, in  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ . Eight soil units were defined in the area, taking in account the landscape, lithology and physiographical regions. Four factors were taking in account: rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), length and slope degree (LS), and coverage and soil management (C). The ARC/INFO v. 3.4 and IDRISI v. 2.0 GIS programs were used to analyze and to represent soil losses in the different units of soil. The results showed that the soil loss was under  $25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  in 79.8% of the area. USLE showed that 53% of the area had an erosion rate of  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ , which is under the tolerance level ( $12.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) suggested by ICONA (1991). The Sierras and Mountains area (27%) had an erosion rate between  $10$  and  $25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ; and the remaining 20% of the evaluate area had erosion loss greater than  $25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ . The GIS program showed a great value to be used in analysing, and in picturing the spatial distribution of soil loss by hydric erosion in these soils.

**Key Words:** Erosion; USLE; GIS; soil; Spain.

## BIBLIOGRAFÍA

ARANEDA, A. 2002. Cuantificación de la erosión histórica, mediante SIG y USLE, en una Cuenca lacustre sometida a cambios de uso del suelo. Universidad de Concepción. Chile. Consultado 4 nov. 2002. Disponible en <http://www.ucv.cl/web/geografia/comis4.htm>.

CREPIN, J and R. L. JOHNSON. 1993. Soil sampling for environmental assessment. **In:** R. Carter (ed), Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publishers. 823 p.

DE ANTONIO, R. 1994. Evaluación de la erosión hídrica mediante sistemas de información geográfica. Aplicación a la Comunidad de Madrid. Tesis Doctoral E.T.S.I.A Agrónomos. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. 188 p.

F.A.O. UNESCO.1989. Mapa mundial de suelos. Leyenda Revisada. Roma 201 p.

GELER, T., A. LIGTENBERG y R. DE BY. 2004. Modelo para el pronóstico de la dinámica de erosión en los suelos debido a los cambios en el uso de la tierra. 12p. [ON LINE: 06/08/2004] [www.mappinginteractivo.com/plantilla.asp?id\\_articulo=508](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla.asp?id_articulo=508)

I.C.O.N.A. 1982. Paisajes erosivos en el Sur Este Español: ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación. ICONA-MAPA. Monografía 26.

I.C.O.N.A. 1988. Agresividad de la lluvia de España. Valores del Factor R de la ecuación universal de la pérdida de suelo. Servicio publicaciones del MAPA. 39 p.

I.C.O.N.A. 1991. Mapas de los estados erosivos. Cuenca hidrográfica de Gadiana. Servicio publicaciones del MAPA. 90 p.

JAGER, S. 1994. Modelling regional soil erosion susceptibility using Universal Loss Equation and GIS. First International Congress of the European Society for Soil Conservation. p. 161-177.

MONTES, M., M. DOMÍNGUEZ y E. VENTURA. 2001. Utilización de un SIG en la estimación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca Santa Catarina, Queretaro. Queretaro. México. Consultado 4 nov. 2002. Disponible en <http://www.selper.uabc.mx/Publicacio/Cong11/extenso36.doc>

MOREIRA, J. M. 1991. Capacidad de uso y erosión de suelos. Una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía. Junta de Andalucía. Agencia de Medio Ambiente. Sevilla. 446 p.

OVALLES, F. A. 1999. Evaluación de tierras en zonas tropicales. Generación y análisis de la información. Muestreo. II curso de postgrado "Manejo de suelos tropicales". Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Universidad de Llerida. Solsona. España. 34 p.

WISCHMEIER, W. H. and D. SMITH. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. USDA. Handbook N° 537, Washinton, D. C. United States of America. p. 396.

WISCHMEIER, W. H. 1975. Estimating the soil loss equation cover and management factor for undisturbed areas. Agricultural Research Service USDA. ARS-S-40. Preset and prospective technology for predicting sediment yield and sources. p. 118-124.

WISCHMEIER, W. H., C. B. JONSON and B. V. CROSS. 1971. A soil erodability nomograph for farmland and construction sites. J. soil and water conservation. N° 26. p. 189-193.

## RESPUESTAS AL DÉFICIT HÍDRICO EN LAS VARIEDADES DE TOMATE RÍO GRANDE Y PERA QUIBOR<sup>1</sup>

Diana García M.\*, Cecily Petzall K.\* y Marisol Castrillo\*

### RESUMEN

Plantas de tomate, *Lycopersicon esculentum* (L.) Mill, de las variedades Pera Quibor (PQ) y Río Grande (RG), crecidas en invernadero fueron sometidas a un período de suspensión de riego, realizándose las siguientes mediciones: potencial hídrico del suelo ( $\Psi_{ws}$ ), y foliar ( $\Psi_{wf}$ ), conductancia estomática (gs), número de hojas y de primordios florales, área foliar (ÁF), peso seco foliar (PSF) y contenido de prolina. Ocurrió disminución de  $\Psi_{ws}$  y  $\Psi_{wf}$  y de gs; aumento en el contenido de prolina, disminución del número de hojas y de primordios florales (retraso en aparición), del ÁF y PSF. Se observó una elevada correlación entre el  $\Psi_{wf}$  y el contenido de prolina, los coeficientes de correlación de Pearson son significativamente diferentes de 0 ( $\alpha = 0,05$ ) para ambas variedades, siendo mayor para PQ. La tendencia del  $\Psi_{ws}$  está yuxtapuesta y las respuestas de la gs son similares en ambas variedades. Hubo notables diferencias: RG alcanzó valores menores de  $\Psi_{wf}$  que PQ, (ésta mantuvo valores semejantes los primeros 7 días); RG mantiene reducción en el número de hojas, mientras PQ reduce tardíamente y continúa su producción a severo estrés; la reducción en el ÁF fue mayor en RG; la disminución en el PS se presentó primero en RG y aumentó con el déficit hídrico siendo mayor en PQ, la única variable en la que RG aventaja. La reducción del número de yemas florales es mayor en RG. PQ obtenida empíricamente por los agricultores del valle de Quibor, presenta desempeño adecuado, comparable y hasta podría afirmarse que superior, frente al déficit hídrico, de RG, esta última obtenida en el exterior con mayor disponibilidad de recursos tecnológicos.

**Palabras Clave:** *Lycopersicon esculentum* (L.) Mill; área foliar; estrés hídrico; conductancia estomática; peso seco foliar; prolina; yemas florales.

1 Trabajo financiado por el CONICIT ahora Fonacit, en el proyecto S1-1325 (FONACIT) y por el Decanato de Investigación y Desarrollo (DID) de la Universidad Simón Bolívar.

\* Profesoras. Universidad Simón Bolívar. Dpto. Biología de Organismos. Apdo. Postal 89000. Caracas 1080. Venezuela. E-mail: mcastr@usb.ve

RECIBIDO: febrero 09, 2004.

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua es uno de los factores ambientales que limita la producción y calidad de los cultivos en todo el mundo (Lawlor, 1979). Estas restricciones han ganado importancia debido a la demanda de alimentos en una población mundial en crecimiento. El problema se complica aún más debido a la deficiencia en el suministro adecuado de agua, a los costos y riesgos de la irrigación (Hasegawa *et al.*, 1984).

Una alternativa para disminuir la necesidad de riego intensivo es la búsqueda de cultivares con capacidad de soportar un marcado déficit hídrico (DH), a través de mecanismo de tolerancia a la sequía. Muchas de las respuestas al DH han sido resumidas por varios autores (Hsiao, 1973; Hanson y Hitz, 1982; Turner y Kramer, 1980; Paleg y Aspinal, 1981). Estas respuestas ocupan un amplio rango, desde metabólicas y fisiológicas hasta morfológicas.

En lo que a productividad de cultivos concierne, el énfasis debe estar sobre aquellas respuestas que se producen por DH debido a sequías pasajeras y no en aquellas respuestas que se producen bajo aridez severa (Hsiao *et al.*, 1976).

La productividad económica, porción del cultivo que es cosechada para uso del hombre, depende de la acumulación de energía química en fotoasimilados y de su distribución en los órganos vegetales. La cantidad de fotoasimilados acumulados es función del área foliar (ÁF), de la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado por unidad de área y de la pérdida de CO<sub>2</sub> por fotorrespiración y por respiración nocturna. Por otra parte, Lahlou *et al.* (2003) trabajando con cultivares susceptibles y resistentes de papa, encontraron que el peso seco foliar (PSF) fue reducido en todos los casos, mientras que en el número de tubérculos disminuyó en mayor proporción en las variedades susceptibles.

Se ha evidenciado que las plantas de tomate, *Lycopersicon esculentum* (L.) Mill, son muy sensibles al estrés hídrico (Waiester y Hudson, 1970); así mismo, la producción de tomate al ser comparada con otros vegetales, ha estado siempre asociada a la abundancia de agua (Srinivasa Rao *et al.*, 2000).

Por otro lado, se presentan estudios comparativos acerca de las respuestas al DH entre cultivares de tomate, por ejemplo, diferencias genotípicas en el ajuste osmótico pueden significar un importante atributo en la resistencia a la sequía en tomate (Srinivasa Rao y Bhatt, 1992).

Adicionalmente, han sido señaladas respuestas ecofisiológicas diferentes en cultivares de tomate, susceptibles y resistentes a la sequía, (Rahman *et al.*, 1999). En las dos variedades de tomate estudiadas, Pera Quibor (PQ) y Río Grande (RG) se observó una disminución de la actividad Rubisco y en los contenidos de clorofila y proteínas (Castrillo y Calcagno, 1989); sin embargo, esta actividad Rubisco mantuvo niveles altos cuando el DH fue leve y moderado, y disminuyó gradualmente a severo estrés en la variedad PQ (Castrillo *et al.*, 2001).

Entre las repuestas metabólicas al DH, la acumulación del aminoácido prolina, es ampliamente utilizable para muchas especies (Aspinall y Paleg, 1981; Heuer, 1995). El incremento de prolina puede ser el resultado de la estimulación en la tasa de síntesis de la misma, de la proteólisis y la síntesis a partir de ácido glutámico y arginina y de la disminución en su tasa de utilización, para síntesis proteica y oxidación hacia otros compuestos (Stewart, 1981).

Diversas funciones son atribuidas a la acumulación de este metabolito, entre ellas, la de actuar como compuesto de reserva de carbono y nitrógeno (Aspinall y Paleg, 1981; Barnett y Naylor, 1966, Samaras *et al.*, 1995), servir como desintoxicante del amonio durante el DH, protector contra radicales hidroxilos, fuente de energía para la recuperación (Blum y Ebercon, 1976; Samaras *et al.*, 1995) y como estabilizador de las proteínas a valores bajo potenciales hídricos, contribuyendo así a la sobrevivencia de las funciones celulares (Schobert y Tschesche, 1978).

Prolina al ser altamente soluble en agua, es una de las sustancias que se acumula en las plantas y es considerada como soluto compatible, atribuyéndosele función protectora de proteína (Samaras, 1995). La acumulación de prolina se ha evidenciado ante diversos estrés (Aspinall y Paleg, 1981; Delauney y Verna, 1993; Hare y Cress, 1997). Por lo que se sugiere que esta acumulación es ventajosa, y podría ser utilizada como indicador en la selección de cultivares resistentes a la sequía (Singh y Rai, 1982; Singh *et al.*, 1973), sin embargo, otros autores sugieren que la acumulación es un síntoma del daño que el DH ha causado en la planta (Hanson *et al.*, 1977; Hanson *et al.*, 1979).

Claussen (2002), por su parte, concluye que la acumulación de prolina es un indicador confiable de estrés ambiental impuesto en plantas de tomate mantenidas en condiciones hidropónicas.

El tomate es un cultivo de interés económico, la variedad PQ fue obtenida empíricamente por agricultores del estado Lara<sup>1</sup> por lo que se hace necesario emprender estudios fisiológicos de esta especie para su mejor conocimiento en Venezuela; por otra parte, la variedad RG ha sido cultivada a gran escala a nivel nacional en el país<sup>2</sup>.

El objetivo del trabajo fue analizar y comparar las respuestas del potencial hídrico ( $\Psi_{ws}$ ), la conductancia estomática (gs), el contenido de prolina, el número de hojas (NH), el área foliar (ÁF) y peso seco foliar (PSF) y el número de yemas florales en plantas de dos cultivares de tomate: PQ y RG sometidas a DH.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de RG (Sunblest Seeds, USA) con fruto tipo pera y PQ también fruto tipo pera suministrada por los Ing. Agrónomos Ramón Díaz y Juan Ohep de INIA (anteriormente FONAIAP).

El trabajo experimental se llevó a cabo utilizando las dos variedades simultáneamente. Las semillas fueron germinadas a 25 °C en bandejas de plástico con papel absorbente; cuando el 90% de las plántulas presentaban hojas cotiledonares, fueron transplantadas a bandejas que contenían arena de río, previamente desinfectada con solución de formalina, colocadas bajo una lámpara fluorescente ( $50\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), regadas todos los días con agua destilada y cada 2 d con solución de Hoagland.

A los 23 d de la siembra cuando las plantas presentaban la primera hoja fueron transplantadas a potes plásticos de 5l de capacidad que contenían una mezcla de suelo franco-arcilloso y arena (3: 2) y colocados en el invernadero (una plántula por pote). Las plántulas fueron regadas utilizando el mismo volumen de agua y la misma frecuencia; dos veces por semana se regaban con 30 ml de solución de macronutrientes y micronutrientes y con fertilizante (POKON, Bendien-Naarden, Holland).

- 1 Ing. Agrónomo Juan Ohep. INIA-Lara. Comunicación personal.
- 2 Ing. Ramón Díaz. INIA-Lara. Comunicación personal.

Las condiciones climáticas generales del invernadero fueron: temperatura mínima promedio:  $18 \pm 2,3$  °C, temperatura máxima promedio:  $30 \pm 2,5$  °C; promedio de la humedad relativa mínima (HR):  $53 \pm 8\%$ , promedio de la máxima HR:  $97 \pm 2\%$ ; radiación solar promedio:  $656 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Estas condiciones climáticas se mantuvieron durante el crecimiento y el período de DH.

La suspensión del riego comenzó después de 41 d de crecimiento: a un grupo de 40 plantas se le suspendió el riego (plantas bajo DH) y la superficie del suelo de estas plantas, se cubrió con esferas de arcilla expandida "Aliflor" con la finalidad de disminuir la evaporación. Otro grupo de plantas se continuó regando diariamente (plantas control).

Al suspender el riego fue suspendida también la aplicación de fertilizantes para ambos grupos. Se contó el número de hojas y de primordios florales durante el período de tratamiento en plantas bajo DH y controles. Las mediciones se realizaron en ambos grupos, de forma aleatoria, a intervalos de 2 d.

Se utilizaron 4 réplicas (4 plantas) en cada día de medición para ambos grupos. Todas las medidas fueron realizadas en la cuarta hoja expandida desde el ápice.

Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ). Fue medido en muestras de suelo y en discos de hojas con un Microvoltímetro de Punto de Rocío HR-33T usando cámaras C-52 (Wescor, Logan, Utah, USA). Todas las medidas se realizaron entre las 5:30 y las 6:30 am.

Conductancia estomática (gs). Se determinó como el inverso de la resistencia difusiva foliar, utilizándose un autoporómetro Lambda Inst. Co. Mod. LI.65 y sensor LI-205. Las mediciones fueron llevadas a cabo entre las 8:00 y las 9:00 am, en el lado abaxial del folíolo.

Para la determinación del peso seco (PS) se colocaron los folíolos en una estufa a 80 °C por 48 h, determinándose el peso de las muestras. El ÁF fue medida con un planímetro (Lasiko-Est 1929, Los Angeles Scientific Instrument Co., Inc., Los Angeles, California, USA). Las hojas se conservaron en nitrógeno líquido para los análisis del contenido de prolina.

Para la determinación de prolina, la extracción y determinación se llevó a cabo siguiendo el método descrito por Singh *et al.* (1973). La

absorbancia a 515 nm de los productos disueltos en tolueno, medida en la capa superior metanol-agua, luego de la reacción con ninhidrina fue medida en un espectrofotómetro Shimadzu UV-160<sup>a</sup>, construyendo curvas de calibración utilizando DL-prolina (Sigma). Los resultados estuvieron basados en pruebas paramétricas utilizando el programa SPSS-10 (Pearson).

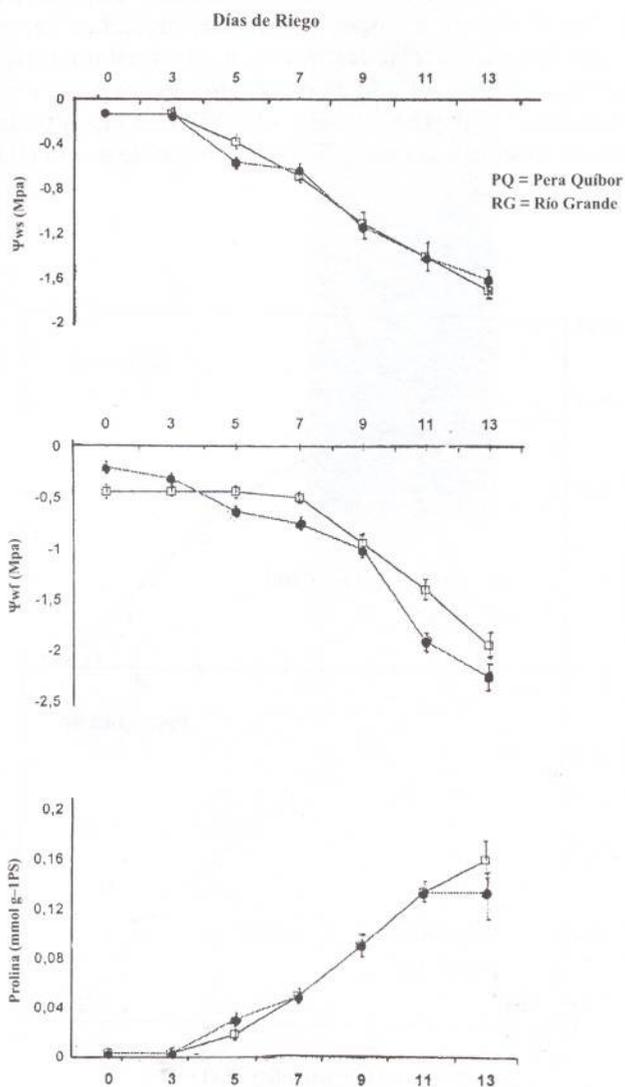
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro se muestran los valores promedios del potencial hídrico del suelo ( $\Psi_{ws}$ ) y foliar ( $\Psi_{wf}$ ) y del contenido de prolina en plantas control durante los días con DH.

La Figura 1 muestra los valores promedios del  $\Psi_{ws}$ ,  $\Psi_{wf}$  y del contenido de prolina en las plantas sometidas a DH. Se observa disminución progresiva en los valores de  $\Psi_{ws}$  y  $\Psi_{wf}$  y un aumento en el contenido de prolina, a medida que avanza el período de tratamiento en ambas variedades. En PQ el  $\Psi_{wf}$  se mantiene en los primeros 7 d del período de tratamiento, mientras que en RG comienza a disminuir desde el 3<sup>er</sup> d; la disminución del  $\Psi_{wf}$  es menor en PQ comparada con la de RG, esta diferencia se mantiene a lo largo del período de DH. El contenido de prolina muestra una tendencia semejante con un valor ligeramente mayor para PQ al final del período.

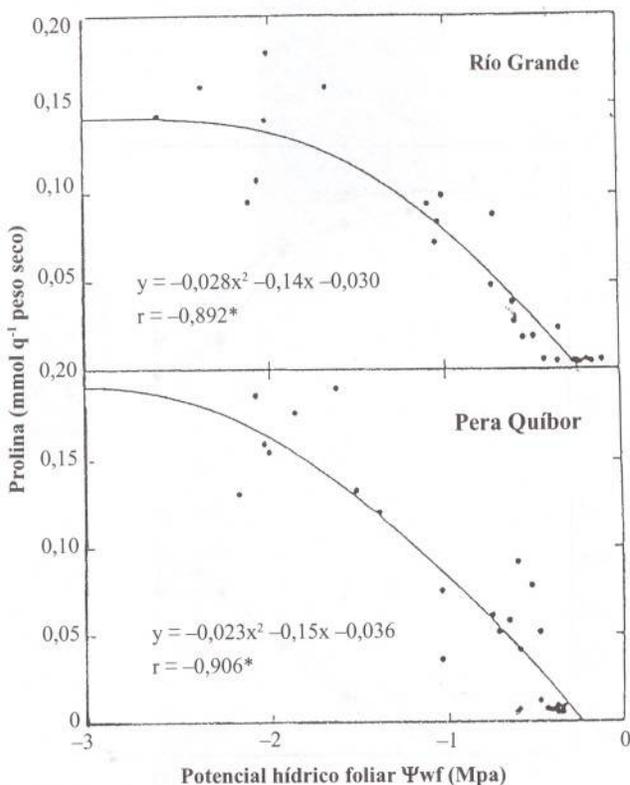
**CUADRO.** Valores promedios  $\pm$  desviación estándar de los potenciales hídricos del suelo ( $\Psi_{ws}$ ) y foliares ( $\Psi_{wf}$ ) y del contenido de prolina de plantas controles (regadas) durante los días de déficit hídrico.

|    | $\Psi_{ws}$<br>(MPa) | $\Psi_{wf}$<br>(MPa) | Prolina<br>mmol g <sup>-1</sup> PS |
|----|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| PQ | -0,13 $\pm$ 0,01     | -0,38 $\pm$ 0,03     | 0,003 $\pm$ 0,0001                 |
| RG | -0,13 $\pm$ 0,01     | -0,20 $\pm$ 0,02     | 0,003 $\pm$ 0,0001                 |



**FIGURA 1.** Potencial hídrico del suelo  $\Psi_{ws}$  (MPa), potencial hídrico foliar  $\Psi_{wf}$  (MPa) y contenido de prolina (mmol g<sup>-1</sup> PS) durante el período sin riego. Cada valor representa la media de cuatro réplicas  $\pm$  de.

La Figura 2 muestra la relación entre el contenido de prolina ( $\text{mmol g}^{-1}$  PS) y el  $\Psi_{\text{wf}}$  (MPa) en las plantas bajo DH de ambas variedades. Se observa una elevada correlación entre estos dos parámetros; a medida que disminuye el  $\Psi_{\text{wf}}$ , el contenido de prolina va aumentando hasta aproximadamente  $-2,0$  MPa en RG y  $-2,6$  MPa en PQ, a partir de estos valores, no se observa aumento adicional, a pesar de que el DH continúa progresando.



**FIGURA 2.** Relación entre el contenido de prolina ( $\text{mmol g}^{-1}$  PS) y el potencial hídrico foliar  $\Psi_{\text{wf}}$  (MPa) en plantas sometida a déficit hídrico (tratadas) de las variedades de tomate: \* Coeficiente de correlación de Pearson significativamente diferente de 0 ( $\alpha = 0.05$ ).

Los coeficientes de correlación de Pearson se presentan significativamente diferentes de 0 ( $\alpha = 0,05$ ) para ambas variedades, siendo mayor para PQ. La semejanza entre ambas curvas sugiere que el patrón de acumulación de prolina es el mismo en los dos cultivares. Hanson *et al.*, (1979) encontraron resultados similares en varios tipos de cebada e indicaron que el proceso que ocasiona la acumulación de prolina debe responder de igual forma ante el DH en cada tipo. Los resultados se diferencian de los señalados por otros autores (McMichael y Elmore, 1977; Fukutoku y Yamada, 1981a; Levi, 1983) donde la acumulación de este metabolito comienza antes de que se alcancen niveles severos de DH. Aunque en pequeña proporción, el incremento de prolina en los tejidos foliares de plantas sometidas a deficiencia de agua, puede ser atribuido a la hidrólisis de proteínas presentes a medida que se desarrolla el DH (Stewart, 1972; Stewart y Hanson, 1980).

Algunos trabajos (Singh *et al.*, 1973; McMichael y Elmore, 1977; Fukutoku y Yamada, 1981b, 1984) han demostrado que la cantidad de prolina acumulada excede a la que se encuentra en las proteínas. De igual manera se evidenció que el efecto primario (Stewart 1981; Hanson y Hitz 1982) que induce la acumulación durante el DH es la síntesis de novo a partir del ácido glutámico.

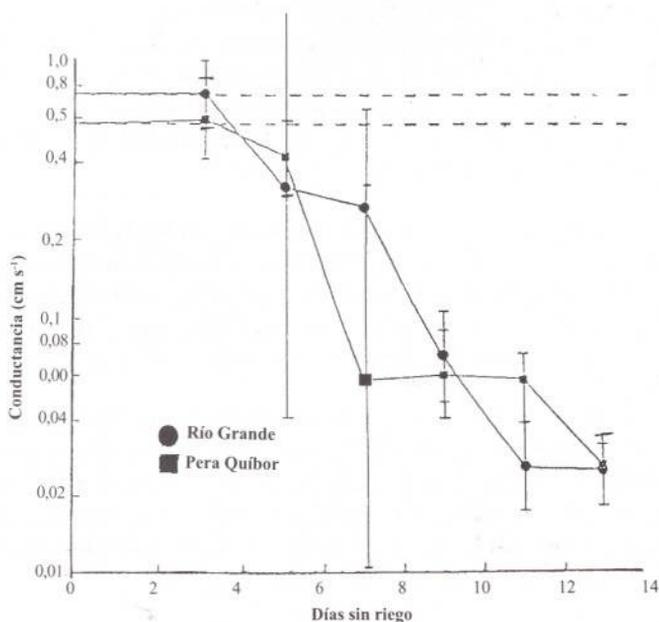
Por su parte, Bogges *et al.* (1976) encontraron en hojas de cebada a las que se les suministró  $^{14}\text{C}$  - ácido glutámico, un rápido incremento de la radioactividad en la prolina acumulada cuando las hojas estaban sometidas a DH moderado, mientras que en hojas túrgidas el incremento se debía a la incorporación continua de este aminoácido a las proteínas.

Otro factor que contribuye a su acumulación es la inhibición de su oxidación, posiblemente por efecto del estrés sobre el metabolismo mitocondrial y el deterioro de la síntesis proteica (Stewart, 1972; Stewart y Hanson 1980). A tal efecto, Gibon *et al.* (2000) presentan una relación directa entre la acumulación de prolina y la actividad mitocondrial en discos de hojas de colza sometidos a estrés osmótico.

Se ha demostrado que la presencia de carbohidratos es indispensable para la síntesis de prolina ya que ellos proporcionan el carbono precursor y el hidrógeno o poder reductor necesario para dicha síntesis. Stewart, 1978; al igual que Petzall y Castrillo en el 2004 encontraron aumento en los niveles de sacarosa en hojas de tomate de estas dos variedades sometidas a DH (datos no publicados).

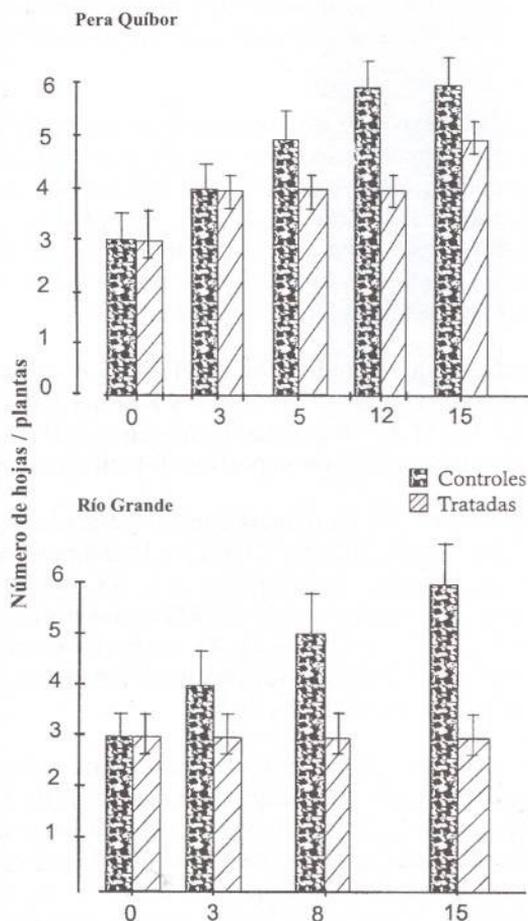
La fuente de nitrógeno para la síntesis de ese compuesto son las proteínas (Fukutoku y Yamada, 1984) y es obtenido cuando los aminoácidos son liberados y desaminados; el amonio así producido debe ser incorporado primero al ácido glutámico que luego es convertido en prolina (Fukutoku y Yamada, 1981b). Pérez-Alfocea *et al.* (1993) observan que en tomate la acumulación de prolina cuenta sólo como una pequeña fracción de la concentración total de solutos osmóticamente activos.

En la Figura 3 se presentan los valores de la  $g_s$  durante el período de DH para los dos variedades; observando que su disminución comienza al 3<sup>er</sup> d en ambas variedades; las tendencias son semejantes y las desviaciones estándares se superponen particularmente al 5<sup>to</sup> d para RG ( $\Psi_{wf}$  -0,63 MPa) y 7<sup>mo</sup> d para PQ ( $\Psi_{wf}$  -0,50 MPa) en los cuales se presenta una muy elevada desviación estándar.



**FIGURA 3.** Conductancia estomática ( $\text{cm s}^{-1}$ ) en plantas tratadas de las dos variedades de tomate durante el período sin riego. Cada valor representa el promedio de la medición en cuatro réplicas  $\pm$  de. La línea segmentada representa el promedio de los controles.

En la Figura 4 se observa el NH por planta en plantas control y bajo DH en las dos variedades. El NH total, es semejante en las plantas control de ambas variedades; en aquellas sometidas a DH, el NH se mantuvo constante en la variedad RG mientras que para la variedad PQ fue ligeramente mayor al final del período de DH.



**FIGURA 4.** Número de hojas en plantas controles y tratadas de las dos variedades de tomate durante el período sin riego. Cada valor representa el promedio de cuatro réplicas  $\pm$  de.

A lo largo del tratamiento se observa que en el 3<sup>er</sup> d, RG ya presenta un porcentaje de disminución en el NH (-25%), mientras que en PQ es al 5<sup>o</sup> d (-20%); en RG en el 8<sup>vo</sup> d se obtuvo -40% y en el 15<sup>o</sup> d -50%, en la PQ en el 12<sup>do</sup> y 15<sup>o</sup> d se presentaron -33% y -17%, respectivamente, lo que muestra que en PQ hubo reducción en el porcentaje de disminución en la producción de hojas con respecto a las plantas control.

La variedad RG reduce el NH tempranamente y mantiene esta reducción, mientras que PQ reduce tardíamente y continúa la producción de hojas a DH avanzado.

La Figura 5 muestra el ÁF por folíolo en plantas control y bajo DH de ambas variedades, observándose una disminución en el área de plantas bajo DH. Para los días 3, 5, 7, 9, 10, 12 y 15 del período de DH los porcentajes de disminución fueron 15, 42, 36, 56, 44 y 53, respectivamente, para PQ, mientras que para RG éstos fueron 33, 87, 45, 64, 67 y 65, respectivamente. Puede observarse mayor porcentaje de disminución en el ÁF con respecto a las plantas control en RG.

Diversos autores señalan que la reducción en el ÁF es el efecto principal y más sensible del DH (Hsiao 1973; Turner y Kramer 1980; Hanson y Hitz 1982; Lawlor 1983). La mayor reducción en el NH y en el ÁF, podría interpretarse como una menor superficie fotosintética para RG.

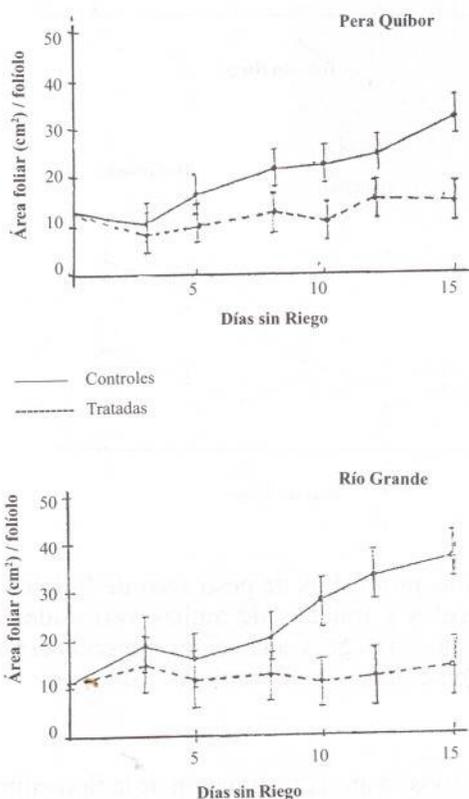
En la Figura 6 se muestra el PS en plantas control y tratadas de las dos variedades estudiadas. Para los días 5, 9, 10, 12 y 15 del período de DH los porcentajes de disminución fueron 33, 35, 41, 42 y 53, respectivamente, para PQ, mientras que para RG en los días 3, 5, 9, 10, 12 y 15, éstos fueron 27, 33, 25, 25, 40 y 46, respectivamente. Es de observar que los mayores porcentajes de disminución de PS con respecto a los controles en las plantas tratadas de PQ.

En sus trabajos Lahlou *et al.* (2003) muestran una fuerte reducción del PSF en plantas de diferentes cultivares de papa sometidas a DH. Cabuslay *et al.* (2002) observaron en hojas de plantas de 27 cultivares de arroz, sometida a DH, una disminución en el PSF y en el ÁF, indicando que comparativamente la disminución es mayor en el ÁF, lo cual para los autores es indicativo de la mayor sensibilidad de la expansión foliar al DH, con respecto a la acumulación de materia seca.

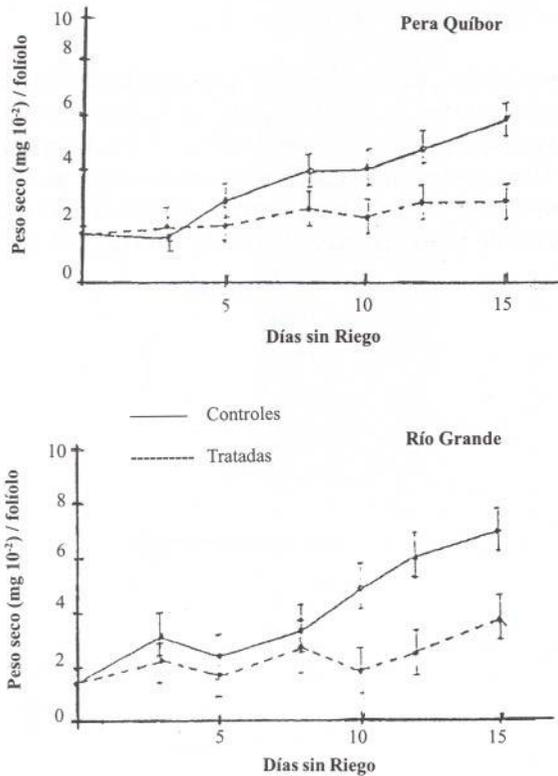
En la Figura 7 se presenta el número de yemas florales en plantas control y bajo DH de ambas variedades. En plantas control este número es mayor

en RG, mientras que en plantas tratadas es semejante en ambas variedades. Se observa un retraso en la aparición de yemas florales en plantas bajo DH (día 19) con respecto al control (día 12).

Para los días 19 y 22 del período de DH el porcentaje de disminución en las plantas tratadas con respecto a las controles fue de 50% para ambos días en PQ, mientras que en RG fueron de 67% y 70%, respectivamente. Se sabe que la floración es muy sensible a la escasez de asimilados que puede producirse bajo condiciones limitantes, pudiendo conducir al retraso o absorción de yemas florales (Russell y Morris, 1983; Ho, 1984).

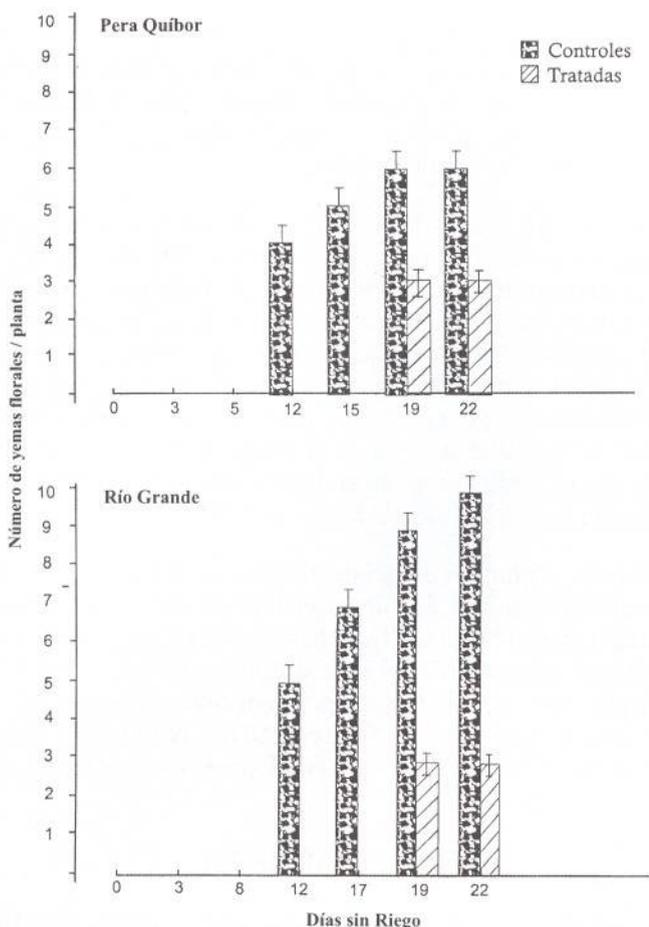


**FIGURA 5.** Valores promedio de área foliar de folíolos de plantas controles y tratadas de ambas variedades durante el período sin riego. Cada valor representa el promedio de la medición en cuatro réplicas  $\pm$  de.



**FIGURA 6.** Valores promedio de peso seco de folíolos de plantas controles y tratadas de ambas variedades durante el periodo sin riego. Cada valor representa el promedio de la medición en cuatro réplicas  $\pm$  de.

ShuBang *et al.* (2002) observaron disminución de la floración en plantas de macadamia bajo estrés hídrico. Rahman *et al.* (1999) trabajando con tomate, en dos cultivares sensibles y dos tolerantes al DH señalan una mayor disminución del  $\Psi_{wf}$ , número de flores, producción de materia seca y gs en los cultivares sensibles, indicando que la disminución de la gs fue más conspicua en los cultivares tolerantes.



**FIGURA 7.** Número de yemas florales en plantas controles y tratadas de las dos variedades de tomate durante el período sin riego. Cada valor representa el promedio de cuatro réplicas  $\pm$  de.

En el presente trabajo se evidencia el DH sufrido por las plantas al observar la disminuciones de  $\Psi_{ws}$  y  $\Psi_{wf}$  producidas por la suspensión de riego en plantas de tomate de RG y PQ. La disminución del  $\Psi_{wf}$  en plantas tratadas está asociada a la disminución de la gs, aumento en el contenido de prolina, disminución del NH, del ÁF y PSF, y del número de primordios florales unidos a un retardo en la aparición de éstos, comparado con las plantas control.

Ambas variedades presentan un comportamiento similar ante el tratamiento de DH, tales como la trayectoria de los valores de  $\Psi_{ws}$  que está yuxtapuesta, la tendencia similar de la  $g_s$  y el aumento en el contenido de prolina a lo largo del período de DH.

Sin embargo, se observan notables diferencias: la RG alcanzó valores de  $\Psi_{wf}$  menores que la PQ durante el período de DH (ésta última mantuvo valores semejantes durante los primeros 7 d); la RG reduce ( $\Psi_{wf}$  -0,31 MPa) y mantiene esta reducción en el NH; la PQ reduce ( $\Psi_{wf}$  -0,44 MPa) posteriormente, pero la producción de hojas es mantenida aún a severo DH; la reducción en el AF se presenta desde el principio en ambas variedades siendo mayor en RG, lo cual se mantiene durante todo el período de DH; la disminución en el PS se presenta primero en RG ( $\Psi_{wf}$  -0,31MPa) y posteriormente en PQ ( $\Psi_{wf}$  -0,44 MPa) esta disminución aumenta con el DH siendo mayor en PQ.

La reducción en el número de yemas florales es mayor en RG. De las variables analizadas sólo la disminución del PSF es menor en RG; ésta es la única en que aventaja a la PQ, obtenida a través de procedimientos empíricos por los agricultores del Valle de Quibor (estado Lara). La PQ, obtenida en el país, presenta un desempeño adecuado, que es comparable y podría afirmarse que superior, frente al DH, a la RG; esta última es obtenida en el exterior del país utilizando mejores recursos tecnológicos.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al INIA (anteriormente FONAIAP), por el suministro de semillas y por el intercambio que tuvimos con su personal, en particular con los Ing. Juan Ohep y Ramón Díaz.

## SUMMARY

Plants of tomato, *Lycopersicon esculentum* (L.), Pera Quibor (PQ) and Rio Grande (RG) varieties, grown in greenhouse conditions, were subjected to water deficit. The following analysis and measurements were carried out: soil ( $\Psi_{ws}$ ) and leaf ( $\Psi_{wf}$ ) water potentials, stomatal conductance ( $g_s$ ), leaves and floral buds number, leaf dry weight, leaf area, and prolina content. During the water deficit period, the  $\Psi_{ws}$ ,  $\Psi_{wf}$  and  $g_s$  decreased, there was a reduction of the number of leaves and

floral buds number, and there was a delay in the floral buds apparition. The leaf dry weight and foliar area were likewise reduced, and the proline content was increased. A high correlation coefficient between  $\Psi_{wf}$  and proline content was found, the Pearson correlation coefficients were significantly different to 0 ( $\alpha = 0.05$ ) for both varieties, being higher for PQ. Although a similar behavior was observed in both varieties under water deficit (similar trends of  $\Psi_{ws}$  and  $g_s$ ) there were some differences:  $\Psi_{wf}$  values were lower in RG than PQ (PQ kept the same values during the first seven days of water deficit period); the leaves number is slightly higher in PQ, because it maintain leaves production even at severe water stress. The leaf area was less reduced in PQ, which means probably a higher and longer photosynthetic performance at severe water deficit. The leaf dry weight was less reduced in RG. The flower buds number were lower in RG variety. The PQ variety, empirically obtained by our farmers at the Quibor valley, shows an appropriated, similar, or even better performance, to water deficit, that the RG variety.

**Key Words:** *Lycopersicon esculentum* (L.) Mill; leaf area, hydrics stress; stomatal conductance; leaf dry weight; prolina; floral buds.

## BIBLIOGRAFÍA

ASPINALL, D. and L. G. PALEG. 1981. Proline accumulation: physiological aspects. **In:** Paleg, L. G. y D. Aspinall (eds.). The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plantas. Academic Press, Australia. pp. 205-241.

BARNETT, N. M. and A. W. TAYLOR. 1996. Amino acid and protein metabolism in bermuda grass during water stress. *Pl. Physiol.* 41:1 222-1 230.

BOGGES, S. F., C. R. STEWART, D. ASPINALL and L. G. PALEG. 1976. Effect of water stress on proline synthesis from radioactive precursors. *Plant Physiol.* 58:398-401.

BLUM, A. and A. EBERCON. 1976. Genotypic responses to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Sci.* 16:428-431.

CABUSLAY, G. S., O. ITO and A. A. ALEJAR. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oriza sativa* L.) to water deficit. *Pl. Sci.* 163:815-827.

CASTRILLO, M. and A. M. CALCAGNO. 1989. Effects of water stress and rewatering on ribulose- 1,5-bis-phosphate carboxylase activity, chlorophyll and protein content in two cultivars of tomato. *J. Hort. Sci.* 64:717-724.

CASTRILLO, M., D. FERNÁNDEZ, A. M. CALCAGNO, I. TRUJILLO and L. GUENNI. 2001. Responses of ribulose-1,5-bisphosphate, protein content and stomatal conductance to water in maize, tomato and bean. *Photosynthetica* 39:221-226.

CLAUSSEN, W. 2002. Growth, water use efficiency, and proline content of hydroponically grown tomato plants as affected by nitrogen source and nutrient concentration. *Plant and Soil* 247:199-209.

DELAUNEY, A. J. and D. P. S. VERNA. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.* 4:215-223.

GIBON, Y., R. SULPICE and F. LARHER. 2000. Proline accumulation in canola leaf discs subjected to osmotic stress is related to the loss of chlorophylls and to the decrease of mitochondrial activity. *Physiol. p.* 110:469-476.

FUKUTOKU, Y. and Y. YAMADA. 1981a. Diurnal changes in water potential and free aminoacid contents of water-stressed and non-stressed soybeans plants. *Sol Sci. Pl. Nutr.* 21:195-204.

FUKUTOKU, Y. and Y. YAMADA. 1981b. Sources of proline-nitrogen in water-stressed soybean (*Glicine max*). I. Protein metabolism and proline accumulation. *Pl. Cell Physiol.* 22:1.397-1.404.

FUKUTOKU, Y. and Y. YAMADA. 1984. Sources of proline-nitrogen in water-stressed soybean (*Glicine max*). II. Fate of <sup>15</sup>N- labelled protein. *Physiol. Pl.* 61:622-628.

HANSON, A. D., C. E. NELSEN and E. H. EVERSON. 1977. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. *Crop Sci.* 17:720-726.

HANSON, A. D., W. D. HITZ, A. R. PEDERSEN and E. H. EVERSON. 1979. Capacity for proline accumulation during water stress in barley and its implications for breeding for drought resistance. *Crop Sci.* 19:489-493.

HANSON, A. D. and W. D. HITZ. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 33: 163-203.

HARE P. D. and W. A. CRESS 1997. Metabolic implications of stress induced proline Accumulation in plants. *Pl. Growth Regul.* 21:79-102.

HASEGAWA, P. M., R. A. BRESSAN, S. HANDA and A. K. HANDA. 1984. Cellular mechanisms of tolerance to water stress. *Hort. Sci.* 19:371-377.

HEUER, B. 1994. Osmoregulation role of proline in water- and salt-stressed plants. **In:** Hand book of Plant and Crop Stress. Ed. M. Pessarakli, 363-381. Marcel Dekker. New York.

HO, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant Growth Reg.* 2:277-285.

HSIAO, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 24:519-570.

HSIAO, T. C., E. ACEVEDO, E. FERERES and D. W. HENDERSON. 1976. Water stress, growth, and osmotic adjustment. *Philos. Trans. R. Soc. London* 273:479-500.

LAHLOU, O., S. OUATTAR and J. F. LEDENT. 2003. The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. *Agronomie* 23:257-268.

LAWLOR, D. W. 1979. Effects of water and heat stress on carbon metabolism of plantas with C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> photosynthesis. **In:** Mussel, H. y R. C. Staples (eds.), *Stress Physiology in Crop Plantas*. John Wiley & Sons, U.S.A. pp. 303-326.

LAWLOR, D. W. 1983. Integration of biochemical processes in the physiology of water stressed plants. **In:** Marcelle, R., H. Clijters y M. van Pousse (eds.), *Effects of Stress on Photosynthesis*. Ed. M. Nijhoff/W. Junk, La Haya, pp. 35-44.

LEVI, D. 1983. Water deficit enhancement of proline and -amino nitrogen accumulation in potato plants and its association with susceptibility to drought. *Physiol. Pl.* 57:169-173.

- MICHAEL, B. L. and C. D. ELMORE. 1977. Proline accumulation in water stressed cotton leaves. *Crop Sci.* 17:905-908.
- PALEG, L. G. and D. ASPINALL (eds.). 1981. *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. Academic Press, Sydney.
- PÉREZ-ALFOCEA, F., M. T. ESTAN, M. CARO and G. GUERRIER. 1993. Osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *L. pennellii* under Na Cl and polyethylene glycol 6000 Iso-osmotic stresses. *Physiol Plant.* 87:493-498.
- RAHMAN, S. M. L., E. NAWATA and T. SAKURATANI. 1999. Effect of water stress on growth, yield and eco-physiological responses of four tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *J. Japan. Soc. Hot. Sci.* 68(3):499-504.
- RUSSELL, C. R. and D. A. MORRIS. 1983. Patterns of assimilate distribution and source-sink relationship in the young reproductive tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Ann. Bot.* 52:357-363.
- SAMARAS Y., R. A. BRESSAN, L. N. CSONKA, M. G. GARCÍA-RÍOS, D'URSO PAINO and D. RHODES. 1995. Proline accumulation during drought and salinity. **In:** *Environment and Plant Metabolism*. Ed. N. Smirnov, 161-187. Bio Scientific Publisher Oxford.
- SCHOBERT, B. and H. TSCHESCHE. 1978. Unusual solution properties of proline and its interaction with proteins. *Biochim. Biophys. Acta* 541:210-277.
- SHUBANG, N., L. JIANFU, L. DAOGAO, J. JIANGUO, D. YINGYI, H. XIYONG, T. LI, C. GUOYUN, X. GAOZHONG and C. LILAN. 2002. Effect of water stress during flowering on macademia plants. *J. Southwest Agric. Univ.* 24:34-37.
- SINGH, G. and V. K. RAI. 1982. Responses to two differentially sensitive *Cicer arietinum* L. cultivars to water stress: protein content and drought resistance. *Biol. Pl.* 24:7-12.
- SINGH, T. N., D. ASPINALL, L. G. PALEG and S. F. BOGGES. 1973. Stress metabolism. Changes in proline concentration in excised plant tissues. *Austr. J. Biol. Sci.* 26:57-63.

SRINIVASA RAO, N. K. and R. M. BHATT. 1992. Response of tomato to moisture stress: Plant water balance and yield. *Pl. Physiol. Biochem.* 19:36-41.

SRINIVASA RAO, N. K., R. M. BHATT and A.T. SADASHIVA. 2000. Tolerance to water stress in tomato cultivars. *Photosynthetica* 38:465-467.

STEWART, C. R. 1972. The effect of wilting on proline metabolism in excised bean leaves in the dark. *Pl. Physiol.* 51:508-511.

STEWART, C. R. 1978. Role of carbohydrates in proline accumulation in wilted barley leaves. *Pl. Physiol.* 61:775-778.

STEWART, C. R. and A. D. HANSON. 1980. Proline accumulation as a metabolic response to water stress. **In:** Turner, N. C. y P. J. Kramer (eds.), *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. John Wiley & Sons, U.S.A. pp. 173-189.

STEWART, C. R. 1981. Proline accumulation: Biochemical aspects. **In:** Paleg, L. G. y D. Aspinall (eds.), *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants* Academic Press, Australia. pp. 243-259.

TURNER, N. C. y P. J. KRAMER (eds.). 1980. *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. John Wiley & Sons, U.S.A.

WAISTER, P. D. and J. P. HUDSON 1970. Effects of soil moisture regimes on leaf water deficit, transpiration and yield of tomatoes. *Hort. Sci.* 45:359-370.

YOUNIS, M. E., O. A. EL-SHAHABY, S. A. ABO-HAMED and A. H. IBRAHIM. 2000. Effects of water stress on growth, pigments and  $^{14}\text{CO}_2$  assimilation in three sorghum cultivars. *J. Agron. Crop Sci.* 185:73-82.

## GÉNESIS DE UN SUELO SÓDICO ALCALINO EN CHAGUARAMAS, VENEZUELA<sup>1</sup>

José P. Guerrero-Alves\*, Ildefonso Pla-Sentís\*\*  
y Rafael G. Camacho\*

### RESUMEN

Muchos suelos alrededor del mundo presentan grandes cantidades de sodio, característica que conduce a la generación de suelos sódicos. En este tipo de suelos los riesgos de degradación siempre están presentes. Con el propósito de identificar factores y procesos que intervienen en la génesis de suelos sódicos, un pedón sódico alcalino representativo de la Formación Chaguaramas en el estado Guárico, Venezuela se caracterizó morfológica, física, química y mineralógicamente. Los resultados señalan: porcentajes de sodio intercambiable (PSI) de hasta 89%, acumulación de sales alcalinas de sodio (bicarbonatos y carbonatos), valores de pH elevados ( $> 8,5$ ), valores de densidad aparente ( $D_a$ ) muy altos (hasta  $2,27 \text{ Mg m}^{-3}$ ), conductividad hidráulica ( $< 2 \text{ mm h}^{-1}$ ) y macroporosidad bajas, precipitación de  $\text{CaCO}_3$ , mineralogía mixta destacada por esmectitas. Se infiere que el suelo es producto de la intemperización de rocas sedimentarias del terciario que interaccionaron con aguas ricas en sodio en las depresiones de los llanos altos centrales durante el período árido de finales del Pleistoceno. Las concentraciones elevadas de sales alcalinas de sodio serían producto de la acumulación de materia orgánica en un ambiente reductor que eliminó gran parte de los sulfatos como  $\text{H}_2\text{S}$ . La evolución del suelo salino-sódico resultante, durante el período Holoceno más húmedo, permitió la formación del horizonte nátrico, la sustitución progresiva en el complejo de cambio de iones divalentes por sodio y la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ , la eliminación de sales a través del drenaje y, finalmente, cuando las sales totales disminuyeron hasta niveles críticos, ocurrió la degradación de la estructura.

**Palabras Clave:** Sodicidad; hidrólisis alcalina; carbonato de sodio; carbonato de calcio.

---

1 Trabajo financiado por las Universidades Rómulo Gallegos, Central de Venezuela y el Fonacit bajo proyecto PEM 2001001622.

\* Profesores. Universidad "Rómulo Gallegos". Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA). San Juan de los Morros 2301, estado Guárico. Venezuela.

\*\* Profesor. Universidad Central de Venezuela. Instituto de Edafología. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: febrero 13, 2004.

## INTRODUCCIÓN

La sodificación de suelos (natural o antropogénica) provoca efectos negativos sobre la producción y la productividad de cultivos porque deteriora sus propiedades físicas, especialmente si el sodio se presenta con cantidades relativamente bajas de sales totales en la solución del suelo. Este deterioro se manifiesta generalmente en una drástica disminución en la conductividad hidráulica o en la tasa de infiltración del agua en el suelo y puede ser difícil de corregir porque generalmente requiere la utilización conjunta de enmiendas, grandes volúmenes de agua y complicados sistemas de drenaje. Por consiguiente, se cree que la mejor alternativa de manejo para controlar la sodicidad, si es posible, es la prevención.

En áreas de importancia agrícola en Venezuela, con o sin riego, existen trabajos que señalan la presencia de suelos sódicos (SS) y salino-sódicos en la cuenca del Lago de Maracaibo, llanos Centro-Occidentales (estados Apure, Cojedes, Guárico y Portuguesa), algunas áreas dispersas en los estados Falcón, Lara y Yaracuy, la cuenca del Lago de Valencia y en parte del estado Monagas (Schargel, 1984; Pla, 1985; Schargel *et al.*, 1988; García-Miragaya *et al.*, 1990; Guerrero, 1998).

Los SS se caracterizan por presentar porcentajes de sodio intercambiable (PSI) > 15 o relaciones de adsorción de sodio (RAS) > 13 ( $\text{mmol l}^{-1}$ )<sup>1/2</sup> y conductividades eléctricas en el extracto de saturación (CE) < 4,0 dS m<sup>-1</sup> (Salinity Laboratory Staff, 1954; Soil Survey Staff, 1999). El Salinity Laboratory Staff (1954) señala además que el pH en pasta saturada puede ser superior a 8,5 en los SS. Sin embargo, el pH no es un criterio de diagnóstico para sodicidad (Van Beek y Van Breemen, 1973) porque existen SS con pH menor que 8,5. No obstante, suelos con valores elevados de pH (> 8,5) tienen invariablemente grandes cantidades de sodio, lo que puede atribuirse a la acumulación de sales de sodio (bicarbonatos y carbonatos) con hidrólisis alcalina (Cruz-Romero y Coleman, 1975; Gupta y Abrol, 1990).

Recientemente, Guerrero *et al.* (2002) desarrollaron un modelo para simular y explicar el comportamiento de sales alcalinas de sodio (SAS) en presencia de un intercambiador de iones (Ca-Mg-Na), CaCO<sub>3</sub>, cloruros y sulfatos. Los resultados obtenidos mostraron que los valores elevados de pH son posibles en suelos que acumulan, a relativamente baja fuerza

iónica, SAS y  $\text{CaCO}_3$  sin tener que recurrir a la hipótesis de la “hidrólisis del sodio intercambiable”.

Por otra parte, Van Beek y Van Breemen (1973) postularon que un recuento de los procesos que determinan la magnitud de la alcalinidad (ALC) y de la alcalinidad residual (ALCR) serían útiles para identificar los factores asociados con la formación de suelos alcalinos. La ALCR puede escribirse como:

$$\text{ALCR} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] - [\text{Cl}^-] - 2[\text{SO}_4^{2-}] - [\text{NO}_3^-] \quad (1)$$

donde la ALCR es la porción de la ALC asociada a los bicarbonatos y carbonatos de iones monovalentes y los corchetes [ ] se refieren a concentraciones molares de las especies en solución. La ecuación (1) sugiere que cualquier incremento en la ALCR debe estar acompañada por un incremento equivalente en las concentraciones de Na y/o K o una disminución equivalente en la concentración de aniones diferentes a bicarbonatos y carbonatos ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  o  $\text{NO}_3^-$ ). Como el  $\text{K}^+$  se encuentra normalmente en muy bajas cantidades en la solución del suelo, el aumento de la ALCR podría ser sólo interpretado como la acumulación de SAS en el ambiente físico-químico del suelo.

Es de resaltar, tal como se deriva de la ecuación (1), que si en el medio existen incrementos de  $\text{Na}^+$  y los contraiones son cloruros o sulfatos no hay ganancia neta de ALCR. Por esta razón, suelos que acumulan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{NaCl}$  no deberían considerarse sódicos aún teniendo valores elevados de RAS (Pla, 1985; Gupta y Abrol, 1990) porque pueden ser desalinizados (y por tanto desodificados) sin necesidad de enmiendas. Esto sugiere que el proceso más importante para la sodificación y posterior alcalinización de los suelos es la acumulación de SAS.

El propósito de este trabajo fue caracterizar morfológica, física, química y mineralógicamente un SS alcalino con el fin de inferir su posible génesis en el ambiente fisiográfico de los llanos altos centrales del estado Guárico-Venezuela. Se da particular atención a los factores y procesos que en este suelo podrían estar involucrados en el desarrollo de la acidez superficial, la formación del horizonte nátrico, la precipitación de carbonatos de iones divalentes y el uso de la ALCR como un indicador cualitativo y cuantitativo de la acumulación de SAS y la eventual sodificación del complejo de cambio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

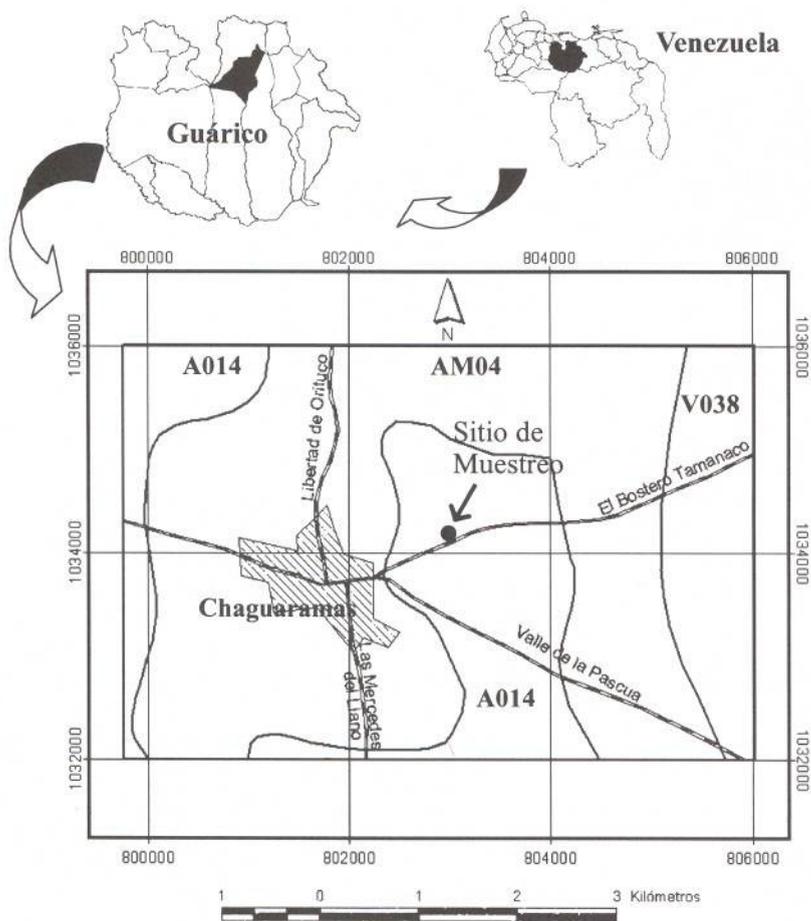
El pedón objeto de estudio (en lo sucesivo denominado Pantanal) está localizado en la transición entre el tope plano y el plano inclinado de una colina con pendiente de 5% en el sentido O-E, a 1 km de Chaguaramas (estado Guárico-Venezuela; 9° 20' 36" LN y 66° 14' 40" LO) como lo muestra la Figura.

La geología de la zona está caracterizada por rocas sedimentarias (areniscas y lutitas) de la Formación Chaguaramas (MARNR, 1985). Los registros climáticos (1970-1994) para la estación de Valle de la Pascua (28 km al SE de Chaguaramas) señalan una precipitación anual promedio de 888 mm y una temperatura anual promedio de 27,4 °C (min = 22,1 °C, max = 32,7 °C). El suelo al que pertenece el pedón ha sido cultivado tradicionalmente con maíz o sorgo produciendo siempre muy bajos rendimientos.

La ubicación del sitio de muestreo fue seleccionada, basados en la caracterización edafoclimática preliminar de sitios experimentales del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) según Quintero (1987); revelando para ese entonces la presencia de un polipedón fuertemente sódico alcalino.

El pedón seleccionado para el trabajo (ver Figura) corresponde a una inclusión de la unidad de suelos A014, a nivel de Grandes Grupos (mapa de suelos a escala 1: 250 000), que se presenta como un grupo no diferenciado constituido por frecuentes Chromusterts, Haplustalfs y Ustropepts (MARN, 1999). Estos Grandes Grupos se encuentran generalmente caracterizados por suelos de textura fina y salinidad moderada (4-8 dS m<sup>-1</sup>; MARN, 1999).

La descripción del perfil en campo fue conducida de acuerdo a procedimientos estándares (Soil Conservation Service, 1981). Muestras representativas de suelo no disturbado (cilindros de suelo) fueron tomadas en la superficie (cerca de la calicata) con un muestreador Uhland (Pla, 1983) y manualmente en el tope de cada horizonte genético, calicata escalonada (Guerrero, 1998); siendo reservadas para análisis físicos de laboratorio.



| SÍMBOLO | FISIOGRAFÍA          | GRANDES GRUPOS DOMINANTES  |
|---------|----------------------|--|
| A014    | Altiplanicie         | Frecuentes Chromusterts, Haplustalfs, Ustrophepts; no diferenciado |
| AM04    | Altiplanicie de mesa | Frecuentes Haplusterts, Haplustalfs; asociación                    |
| V038    | Valle                | Abundantes Ustropets; consociación                                 |

**FIGURA.** Ubicación aproximada del pedón Pantanal (UTM: 803 032 E; 1 034 194 N) en el área de estudio (Mapa fuente: MARNR, 1999).

En el tope de cada horizonte genético también se realizaron determinaciones de la densidad aparente ( $D_a$ ) por el método del hoyo (Pla, 1983). Adicionalmente, muestras de suelo disturbado fueron tomadas desde la superficie hasta los 250 cm. En los primeros 200 cm, el muestreo se hizo en bandas de 10 cm de espesor y aproximadamente 1 m de ancho en las paredes de la calicata y, con barreno, cada 10 cm, en los restantes 50 cm a partir del fondo de la calicata (Guerrero, 1998). Estas muestras fueron dispuestas para análisis físicos y químicos complementarios en el laboratorio.

Los cilindros de suelo no disturbado fueron usados para medir conductividad hidráulica y estimar las relaciones de porosidad (Pla, 1983). En todos los casos anteriores, los resultados fueron el promedio de tres determinaciones. Por otra parte, cada una de las 25 muestras de suelo disturbado fueron secadas al aire y dividida en 2 porciones por apilado y cuarteado (Guerrero, 1998).

La primera porción (exclusiva para análisis físico) fue pasada a través de un tamiz de 2 mm; siendo descartado el esqueleto grueso (partículas  $> 2$  mm) después de pesado. Las muestras tamizadas y homogenizadas fueron usadas para determinar distribución de tamaño de partículas (método de Bouyoucos) y fraccionamiento de la arena (Pla, 1983).

En la segunda porción (exclusiva para análisis químico), el esqueleto grueso fue individualmente pesado, triturado ( $< 2$  mm) e incorporado con homogenización al material  $< 2$  mm. Estas muestras fueron usadas para medir pH en pasta saturada y el extracto fue empleado para determinar  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  (iones solubles), relación de adsorción de sodio (RAS) y conductividad eléctrica (CE; U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

Como todos los extractos de Pantanal fueron coloreados, se usó el procedimiento de Robbins (1989) para clarificarlos. Las sales solubles [ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{KCl}$ ] fueron conformadas a partir de la composición de iones solubles según el procedimiento de Guerrero (1998).

Por otra parte, 100 g de las muestras (exclusivas para análisis químicos) fueron trituradas hasta un tamaño  $< 0,425$ -mm y homogeneizadas. Estas muestras se usaron para determinar capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) por la U.S. Salinity

Laboratory Staff (1954), carbonatos de calcio y magnesio precipitados (Pla, 1969). Todas las determinaciones químicas y los resultados que se derivan de ellas corresponden al promedio de tres determinaciones.

Los tratamientos de saturación y calentamiento de las muestras de arcilla orientada sobre láminas de vidrio siguieron el método estándar de Jackson (1969). La difracción de rayos X (DRX) fue realizada utilizando un difractómetro de rayos X Phillips PW1730 con radiación alfa de Co-Fe, potencial de aceleración de 40 kV y una corriente de 30 mA en el tubo de rayos X. Los espectros fueron registrados desde 4 hasta 35°, en unidades 2 $\theta$ , a 0,03 ° s<sup>-1</sup>. Los minerales identificados fueron cuantificados porcentualmente basados en el área de los picos con mayor intensidad (Malagón, 1979).

Las fracciones densas de las arenas fueron analizadas empleando microscopía petrográfica (Malagón, 1979). El material grueso > 45  $\mu$ m se trató con agua oxigenada (30%) y ácido oxálico (1 N) para eliminar materia orgánica y óxidos de hierro, respectivamente.

El fraccionamiento en arena liviana y arena densa se hizo con bromoformo (Parfenoff *et al.*, 1970) y el montaje de las arenas densas (con Bálsamo de Canadá) en láminas de vidrio fue realizado siguiendo el procedimiento de Aleixandre y Pinilla (1968). Una vez identificados los minerales en cada lámina, se contaron alrededor de 500 a 700 especies y la cantidad de cada mineral se expresó porcentualmente sobre la base del número total de granos contabilizados. La proporción de intemperismo fue determinada como la relación de minerales resistentes (circón + turmalina) / minerales alterables (anfíboles + piroxenos; Malagón, 1979).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Características morfológicas y físicas.** El pedón sódico Pantanal se clasificó como Typic Natrustalf, franco grueso, mixto, activo, isohipertérmico (Soil Survey Staff, 1999) y muestra una secuencia de horizontes **Ap-En-Btkn-Ckn** (Cuadro 1). Los horizontes presentan matices en húmedo que van desde 7,5YR hasta 10YR y una textura que varía entre franco arenoso (Fa; **Ap**, **En** y **Ckn2**) hasta franco arcillo arenoso (Faa; **Btkn1** y **Ckn1**) o franco arcilloso (FA; **Btkn2** y **Btkn3**). En términos generales, el contenido de arena (principalmente arena

fina y muy fina) en Pantanal fue relativamente elevado en todo el perfil (> 34%; Cuadro 3), reflejando esta clase de distribución la intemperización rápida de la roca parental (Chen *et al.*, 2001); posiblemente materiales ricos en areniscas terciarias provenientes de la Formación Chaguaramas.

El horizonte **Ap** presenta una consistencia suelta en seco, ligera adherencia y ligera plasticidad, lo que revela bajos contenidos de arcilla. Por debajo del **Ap** se encontró un horizonte **En** cuyos primeros 10 cm se caracterizan por una estructura blocosa subangular muy gruesa y fuerte, pasando a una condición masiva en el resto del horizonte. Además, el horizonte **En** se caracterizó por ser muy duro a extremadamente duro, ligeramente adherente y ligeramente plástico; estas dos últimas características quizás un reflejo del relativamente bajo contenido de arcilla (Cuadro 1).

Por debajo del horizonte **En**, se encuentra un horizonte **Bt**, el cual se subdivide en tres subhorizontes: **Btkn1**, **Btkn2** y **Btkn3**. Todos los subhorizontes **Bt** fueron caracterizados por una estructura blocosa subangular, muy duros, firmes, muy adherentes y muy plásticos (Cuadro 1). Estas características indican un contenido de arcilla más elevado que el de los horizontes suprayacentes y representan un horizonte nátrico. Los porcentajes de arena fina + arena muy fina, sobre base libre de arcilla (aflA), fueron aproximadamente constantes hasta los 105 cm (Cuadro 3), indicando que los materiales del suelo parecen ser uniformes hasta esa profundidad.

Este resultado también es confirmado por la poca variación de la proporción de intemperismo (Cuadro 6) para los horizontes **En**, **Btkn1** y **Btkn2** (entre 18 y 140 cm de profundidad). Por estas razones, podría asumirse que la acumulación de arcilla en este suelo tiene un origen iluvial sólo hasta los 105 cm de profundidad. Los horizontes **Btkn2** y **Btkn3** también presentaron caras de fricción (slikensides), lo que evidencia apreciable pedoturbación entre 105 y 160 cm de profundidad y sugiere la presencia de esmectitas. Estos filosilicatos, aunque se observan prácticamente desde la superficie, son particularmente más abundantes en el horizonte **Btkn2** de Pantanal (Cuadro 5).

El horizonte **C** se divide en dos subhorizontes: **Ckn1** y **Ckn2**. Ambos revelan una estructura prismática gruesa, aunque fuerte y débil respectivamente (Cuadro 1). No obstante, **Ckn1** fue muy duro, firme, modera-

**CUADRO 1.** Características morfológicas en el perfil Pantanal (CM = color Munsell).

| Horizonte             | Profundidad (cm) | CM Matriz (húmedo) | CM moteado <sup>†</sup> (húmedo)                 | Textura <sup>‡</sup> | Estructura*                                   | Consistencia <sup>Δ</sup> |
|-----------------------|------------------|--------------------|--|----------------------|---|---------------------------|
| Ap                    | 0-18             | 7,5YR4/6           | -  | Fa                   | 0, s  | s, fr, la&lp              |
| En*                   | 18-60            | 10YR5/4            | 2,5YR4/6(c, md, pr,cl)<br>2,5YR3/6(c, md, pr,cl) | Fa                   | 3, mg, bcs <sup>1</sup><br>0, ma <sup>2</sup> | ed, fr, la&lp             |
| Btkn1 <sup>¥</sup>    | 60-105           | 10YR4/3            | 2,5YR4/6(m, md, pr,cl)                           | FAa                  | 2, m, bcs                                     | md, fi, mua&mup           |
| Btkn2 <sup>§, □</sup> | 105-140          | 10YR4/3            | 7,5YR4/4(c, fi, di, df)                          | FA                   | 2, g, bcs                                     | md, fi, mua&mup           |
| Btkn3 <sup>§, □</sup> | 140-160          | 7,5YR4/4           | 5Y6/2(c, md, pr,cl)                              | FA                   | 3, g, bcs                                     | md, fi, mua&mup           |
| Ckn1 <sup>□</sup>     | 160-190          | 10YR4/4            | 5Y6/2(c, md, pr,cl)                              | FAa                  | 3, g, p                                       | md, fi, moa&mop           |
| Ckn2 <sup>□</sup>     | 190-200          | 10YR4/4            | 5Y6/2(p, md, pr, cl)                             | Fa                   | 1, g, p                                       | ld, fr, la&lp             |

† p: poco; c: común; m: muchos; fi: fino; md: medio; di: distinto; pr: prominente; df: difuso; cl: claro.

‡ Fa: franco arenoso; FAa: franco arcillo arenoso; FA: franco arcilloso.

\* 0: sin estatura; 1: débil; 2: moderada; 3: fuerte; mf: muy fina; f: fina; m: media; g: gruesa; muy gruesa; s: grano simple; ma: masiva; p: prismática; bcs: blocosa subangular (<sup>1</sup> Primeros 10 cm; <sup>2</sup> Resto del horizonte).

Δ s: suelto; ld: ligeramente duro; md: muy duro; ed: extremadamente duro; fr: friable; fi: firme; la: ligeramente adherente; moa: moderadamente adherente; mua: muy adherente; lp: ligeramente plástico; mop: moderadamente plástico; mup: muy plástico.

§: Presentan caras de fricción (slikensides); ¥: Presentan nódulos de Fe-Mn; □: Presentan manchas negras con reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

damente adherente y moderadamente plástico, mientras que **Ckn2** fue ligeramente duro, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico producto del menor contenido de arcilla en el **Ckn2** (Cuadro 3).

Excepto para el horizonte **Ap**, valores elevados de *Da* estuvieron presentes en todos los horizontes del suelo Pantanal (Cuadro 2). Estas *Da* estuvieron asociadas a muy bajas macroporosidades ( $\leq 4,2\%$ ) y conductividades hidráulicas ( $\leq 0,3 \text{ mm h}^{-1}$ ); esto último confiere al suelo Pantanal una muy baja permeabilidad al agua (Cuadro 2).

**Propiedades químicas.** Excepto para la profundidad de 0-10 cm (parte del **Ap**), los valores de *CE*, *PSI* y/o *RAS* (Cuadro 3) señalan que todos los horizontes del suelo Pantanal satisfacen los requerimientos establecidos previamente para un SS no salino (Salinity Laboratory Staff, 1954); esto último porque las  $CE_s$  del extracto de saturación son menores que  $4 \text{ dS m}^{-1}$  para todas las profundidades (Cuadro 3).

Los valores de *PSI* ( $> 15\%$ ) y *RAS* [ $> 13 \text{ (mmol l}^{-1})^{1/2}$ ] superan ampliamente los límites establecidos (Salinity Laboratory Staff, 1954; Soil Survey Staff, 1999) para SS. Un *PSI* máximo de 88,51% se alcanza en la base del horizonte **En** a los 60 cm y enfatiza la naturaleza extremadamente sódica del perfil. Por debajo de los 20 cm, los valores de *pH* en pasta saturada son superiores a 8,5; sugiriendo la acumulación de SAS (Gupta y Abrol, 1990) en prácticamente todo el pedón.

La distribución de sales en el suelo Pantanal (Cuadro 4) ratifica la acumulación de sales de sodio con hidrólisis alcalina, revelando que el  $\text{NaHCO}_3$  es la sal más abundante, seguida en orden de abundancia por  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , respectivamente. El  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  está ausente a las profundidades de 0-30 y 100-120 cm del perfil de suelo y las más elevadas acumulaciones de  $\text{NaCl}$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ocurrieron a la profundidad de 10-20 cm; esto último quizás un reflejo del drenaje restringido actual.

Como era de esperar, los iones más importantes en Pantanal son:  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Na}^+$  (Cuadro 4). Para estos iones, las concentraciones más elevadas en los extractos de saturación fueron 14,52 y 25,36  $\text{m mol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$ , respectivamente (ambos a los 30-40 cm). El  $\text{Ca}+\text{Mg}$  alcanzó concentraciones  $\geq 1,0 \text{ m mol}_{(+)} \text{ l}^{-1}$  sólo en los primeros 50 cm del perfil del suelo (casi en la base del horizonte **En** a los 60 cm). Sin embargo, los cationes divalentes en solución están prácticamente ausentes por debajo de esa profundidad.

**CUADRO 2.** Conductividad hidráulica (K), densidad aparente (Da) por el método del hoyo, macroporosidad (MP) y porosidad total (PT), determinadas para horizontes genéticos descritos en el suelo Pantanal.

| Horizonte | Profundidad<br>cm | K*<br>mm h <sup>-1</sup> | Da<br>Mg m <sup>-3</sup> | MP*<br>% | PT*  |
|-----------|-------------------|--------------------------|--------------------------|----------|------|
| Ap        | 0-18              | 2±1                      | 1,36                     | 9±1      | 40±2 |
| En        | 18-60             | 0,1±0,1                  | 2,27                     | 3,2±0,2  | 33±2 |
| Btkn1     | 60-105            | 0,3±0,5                  | 2,02                     | 3,3±0,2  | 39±2 |
| Btkn2     | 105-140           | 0,04±0,06                | 1,87                     | 3,8±0,3  | 59±5 |
| Btkn3     | 140-160           | 0,01±0,01                | 1,92                     | 4,2±0,6  | 68±2 |
| Ckn1      | 160-190           | 0,1±0,1                  | 1,90                     | 3,9±0,2  | 67±2 |

\* Media de tres determinaciones más su desviación estándar.

Cuando las concentraciones de sales solubles (Cuadro 4) se utilizan, conjuntamente con las CIC<sub>s</sub> (Cuadro 3), para obtener las ecuaciones de regresión lineal (no señaladas aquí) para todos los posibles pares de variables, se encuentra que están linealmente poco correlacionadas ( $r^2$  entre 0,0014-0,3032). Sin embargo, cuando se usan como variables regresoras (en todas las combinaciones posibles) para pronosticar el contenido de Na intercambiable ( $Na_{int}$ ), se obtienen coeficientes de correlación ( $r$ ) lineal múltiple que superan el valor de 0,9881. No obstante, en algunas ecuaciones de regresión (no empleadas aquí), los errores estándares para los coeficientes de las variables superan el 100%. La ecuación de regresión que simultáneamente arrojó los más bajos coeficientes de variación (entre 3 y 48%) para los coeficientes de las variables y el más alto valor de  $r$  (0,9903) fue la siguiente:

$$Na_{int} = -0,2254.[NaCl] + 0,1027.[NaHCO_3 + Na_2CO_3] + 0,8751.CIC - 2,5511 \quad (2)$$

donde los corchetes [ ] hacen referencia a las concentraciones de las especies químicas en  $m\ mol_{(+)}\ l^{-1}$ .

La ecuación (2) permite estimar el 75% de los valores de  $Na_{int}$  (Cuadro 3) con un error < 6%. Esta elevada correlación entre el  $Na_{int}$  y las variables regresoras sugiere un complejo adsorbente muy homogéneo con la profundidad en cuanto a la naturaleza de sus arcillas; el cual posible-

**CUADRO 3.** Atributos químicos\* y físicos, determinados a intervalos de 10 cm, en el suelo Pantanal.

| Profundidad<br>(cm) | pH   | CE<br>dS m <sup>-1</sup> | PSI<br>% | RAS<br>(m mol l <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup> | (CaMg)p | CIC                               | Na <sub>int</sub> | Na <sub>imp</sub> | Arena       | Arcilla | af+amf       |       | esqueleto<br>grueso |
|---------------------|------|--------------------------|----------|--|---------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------|---------|--------------|-------|---------------------|
|                     |      |                          |          |  |         |                                   |                   |                   |             |         | (libre de A) |       |                     |
|                     |      |                          |          |  |         | -----c mol kg <sup>-1</sup> ----- |                   |                   | -----%----- |         |              |       |                     |
| 0-10                | 5,13 | 0,860                    | 10,18    | 10,40  | 0,53    | 4,13                              | 0,42              | 0,75              | 77,7        | 5,6     | 66,86        | 70,83 | 0,30                |
| 10-20               | 8,14 | 2,358                    | 41,59    | 27,76  | 0,65    | 8,35                              | 3,47              | 3,49              | 63,7        | 15,6    | 56,60        | 67,06 | 0,10                |
| 20-30               | 8,88 | 1,693                    | 56,24    | 23,86  | 2,72    | 7,85                              | 4,41              | 4,43              | 67,6        | 14,5    | 57,41        | 67,15 | 0,27                |
| 30-40               | 9,12 | 2,385                    | 58,44    | 31,70  | 2,83    | 8,09                              | 4,73              | 4,98              | 69,8        | 13,4    | 57,82        | 66,77 | 0,34                |
| 40-50               | 9,28 | 1,755                    | 77,56    | 26,47  | 18,98   | 8,20                              | 6,36              | 5,39              | 69,3        | 13,4    | 58,38        | 67,41 | 2,63                |
| 50-60               | 9,36 | 1,812                    | 88,51    | 31,17  | 11,54   | 11,04                             | 9,77              | 7,61              | 62,6        | 18,4    | 55,44        | 67,94 | 1,11                |
| 60-70               | 9,35 | 2,462                    | 78,73    | 45,09  | 9,38    | 16,81                             | 13,23             | 12,68             | 57,0        | 26,8    | 50,21        | 68,59 | 0,85                |
| 70-80               | 9,40 | 2,404                    | 73,06    | 36,38  | 1,90    | 18,99                             | 13,87             | 14,30             | 54,2        | 29,6    | 48,02        | 68,21 | 0,24                |
| 80-90               | 9,35 | 2,305                    | 75,35    | 42,84  | 3,91    | 17,33                             | 13,06             | 12,92             | 55,3        | 26,3    | 50,29        | 68,24 | 0,42                |
| 90-100              | 9,38 | 2,151                    | 74,35    | 38,85  | 3,18    | 15,94                             | 11,85             | 11,82             | 62,0        | 22,9    | 53,39        | 69,25 | 0,39                |
| 100-110             | 9,31 | 1,686                    | 73,08    | 33,58  | 0,67    | 22,91                             | 16,74             | 17,37             | 46,4        | 31,3    | 41,18        | 59,94 | 0,05                |
| 110-120             | 9,18 | 1,047                    | 79,30    | 19,25  | 0,58    | 25,69                             | 20,37             | 19,46             | 34,1        | 37,4    | 30,59        | 48,87 | 0,00                |

pH = pH en pasta saturada; CE = Conductividad eléctrica del extracto de saturación; PSI = Porcentaje de sodio intercambiable; RAS = Relación de adsorción de sodio; (CaMg)p = Carbonatos precipitados de Ca y Mg; CIC = Capacidad de intercambio catiónico; Na<sub>int</sub> = Sodio intercambiable; Na<sub>imp</sub> = Sodio intercambiable estimado por la ecuación 2; af+amf = Arena fina más arena muy fina; A = Arcilla.

\*Promedio de tres determinaciones para pH, CE, PSI, RAS (CaMg)p, CIC y Na<sub>int</sub>.

...continúa CUADRO 3

...continuación CUADRO 3.

| Profundidad<br>(cm)               | pH   | CE<br>dS m <sup>-1</sup> | PSI<br>% | RAS<br>(m mol l <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup> | (CaMg)p | CIC   | Na <sub>int</sub> | Na <sub>intp</sub> | Arena | Arcilla | af+amf       |       | esqueleto<br>grueso |
|-----------------------------------|------|--------------------------|----------|--|---------|-------|-------------------|--------------------|-------|---------|--------------|-------|---------------------|
|                                   |      |                          |          |  |         |       |                   |                    |       |         | (libre de A) |       |                     |
| -----c mol kg <sup>-1</sup> ----- |      |                          |          |  |         |       |                   |                    |       | -----%  |              |       |                     |
| 120-130                           | 9,50 | 1,723                    | 79,82    | 42,01  | 30,89   | 25,54 | 20,39             | 20,38              | 39,7  | 34,1    | 33,70        | 51,14 | 1,57                |
| 130-140                           | 9,47 | 1,690                    | 79,10    | 31,98  | 13,37   | 19,21 | 15,20             | 14,80              | 50,3  | 27,4    | 40,82        | 56,23 | 0,83                |
| 140-150                           | 9,46 | 1,544                    | 81,60    | 32,41  | 4,46    | 21,82 | 17,81             | 16,89              | 38,3  | 34,6    | 33,43        | 51,12 | 0,31                |
| 150-160                           | 9,42 | 1,350                    | 77,38    | 26,99  | 1,13    | 23,03 | 17,82             | 17,65              | 35,8  | 36,9    | 30,21        | 47,88 | 0,14                |
| 160-170                           | 9,51 | 1,715                    | 72,90    | 43,35  | 33,84   | 21,54 | 15,70             | 16,84              | 40,2  | 32,7    | 33,43        | 49,67 | 2,89                |
| 170-180                           | 9,53 | 1,868                    | 72,39    | 36,12  | 24,58   | 18,68 | 13,52             | 14,32              | 45,8  | 28,5    | 37,32        | 52,20 | 2,35                |
| 180-190                           | 9,51 | 1,601                    | 72,72    | 31,56  | 8,65    | 13,26 | 9,64              | 9,55               | 55,9  | 20,1    | 46,79        | 58,56 | 0,87                |
| 190-200                           | 9,47 | 1,419                    | 71,46    | 41,14  | 0,82    | 12,30 | 8,79              | 8,48               | 56,4  | 18,4    | 49,08        | 60,15 | 0,28                |
| 200-210                           | 9,39 | 1,636                    | 67,14    | 29,88  | 8,77    | 11,42 | 7,67              | 7,96               | 60,9  | 15,1    | 51,18        | 60,28 | 1,36                |
| 210-220                           | 9,37 | 1,600                    | 65,44    | 32,11  | 7,20    | 12,06 | 7,89              | 8,48               | 59,8  | 16,8    | 49,62        | 59,64 | 1,54                |
| 220-230                           | 9,35 | 1,557                    | 60,24    | 28,83  | 5,63    | 12,83 | 7,73              | 9,09               | 60,3  | 17,6    | 48,68        | 59,08 | 2,70                |
| 230-240                           | 9,38 | 1,621                    | 68,49    | 31,91  | 9,27    | 12,79 | 8,76              | 9,14               | 59,8  | 17,9    | 47,78        | 58,20 | 2,56                |
| 240-250                           | 9,41 | 1,671                    | 68,55    | 35,08  | 11,89   | 13,54 | 9,28              | 9,70               | 57,3  | 18,7    | 46,31        | 56,96 | 3,13                |

pH = pH en pasta saturada; CE = Conductividad eléctrica del extracto de saturación; PSI = Porcentaje de sodio intercambiable; RAS = Relación de adsorción de sodio; (CaMg)p = Carbonatos precipitados de Ca y Mg; CIC = Capacidad de intercambio catiónico; Na<sub>int</sub> = Sodio intercambiable; Na<sub>intp</sub> = Sodio intercambiable estimado por la ecuación 2; af+amf = Arena fina más arena muy fina; A = Arcilla.

\*Promedio de tres determinaciones para pH, CE, PSI, RAS (CaMg)p, CIC y Na<sub>int</sub>

mente esté dominado por esmectitas. Señala además, que mientras mayor sea la CIC y la concentración de SAS y menor la concentración de NaCl, más elevada será la sustitución del sodio en el complejo de cambio. Por tanto, la sodificación progresiva del perfil tomó lugar a medida que se acumulaban SAS y los cloruros eran eliminados del sistema a través del drenaje profundo.

**Composición mineralógica.** Los análisis mineralógicos de la arcilla y de la fracción densa de las arenas están resumidos en los Cuadros 5 y 6. Los datos en el Cuadro 5 revelan que la fracción arcilla del suelo Pantanal tiene una mineralogía mixta, donde coexisten minerales resistentes con minerales susceptibles a la alteración. La caolinita es el principal mineral resistente de la fracción arcilla. La composición del extracto de saturación (Cuadro 4) y los valores elevados de pH (Cuadro 3) en el suelo Pantanal están indicando un ambiente protector para la intemperización, sugiriendo que la acumulación de caolinita pudo ser heredada de materiales parentales más evolucionados. Este hecho parece reforzado por las cantidades elevadas de minerales resistentes en las arenas densas; tales como opacos, circón, rutilo y turmalina (Cuadro 6).

Los análisis de difracción de rayos X (Cuadro 5) confirman que las esmectitas, asociadas con un íter estratificado 14c/14m, son el segundo mineral en importancia de la fracción arcilla del suelo Pantanal. Sin embargo, las esmectitas (conjuntamente con la vermiculita) son responsables de las CIC elevadas en suelos (Bohn *et al.*, 1979) y deben ser los principales constituyentes del complejo adsorbente del suelo Pantanal; el cual también presenta elevados contenidos de  $\text{Na}_{\text{mt}}$  y PSI (Cuadro 3). Borchardt (1989) señala que la montmorillonita, perteneciente al grupo de las esmectitas, más bien muestra gran afinidad por cationes divalentes. Por otra parte, también señala que algunas esmectitas producto de cenizas volcánicas (denominadas bentonitas) están tan saturadas con Na que sugieren una formación en ambiente marino; a pesar de que el agua de mar sólo presenta una concentración de NaCl < 1 M.

Como la mayor parte de los valores de PSI en Pantanal están entre 42 y 89% (Cuadro 3) es posible que un medio muy especial, diferente al ambiente estrictamente marino, sea necesario para obtener saturaciones elevadas con Na en el complejo de cambio. Este medio especial, tal como se analiza más adelante, podría ser suministrado por la acumulación simultánea de sales de sodio y materia orgánica (MO) en un ambiente reductor.

**CUADRO 4.** Iones y sales solubles\* determinados en extractos de saturación, a intervalos de profundidad de 10 cm, en el suelo Pantanal.

| Profund.<br>(cm) | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>        | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca+Mg | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> * | NaCl | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> HCO <sub>3</sub> | KCl  |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------|-----------------|----------------|--------------------------------------|------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------|
|                  | m mol <sub>(e)</sub> l <sup>-1</sup> |                               |                 |                               |       |                 |                |                                      |      |                                 |                                 |                                  |      |
| 0-10             | 0,00                                 | 1,28                          | 1,80            | 2,73                          | 0,69  | 6,11            | 0,29           | 0,63                                 | 1,74 | 3,03                            | 0,00                            | 0,79                             | 0,27 |
| 10-20            | 0,00                                 | 9,24                          | 9,00            | 4,64                          | 1,48  | 23,88           | 0,10           | 1,41                                 | 9,41 | 4,90                            | 0,00                            | 8,36                             | 0,10 |
| 20-30            | 0,00                                 | 9,84                          | 3,70            | 2,73                          | 0,99  | 16,79           | 0,09           | 0,95                                 | 3,80 | 2,87                            | 0,00                            | 9,38                             | 0,09 |
| 30-40            | 2,00                                 | 14,52                         | 5,20            | 2,38                          | 1,28  | 25,36           | 0,12           | 1,22                                 | 5,37 | 2,51                            | 2,00                            | 14,22                            | 0,12 |
| 40-50            | 2,04                                 | 11,12                         | 3,00            | 0,81                          | 0,99  | 18,62           | 0,60           | 0,91                                 | 2,74 | 0,89                            | 2,04                            | 11,47                            | 0,55 |
| 50-60            | 2,96                                 | 10,04                         | 3,60            | 0,78                          | 0,69  | 18,31           | 0,08           | 0,66                                 | 3,70 | 0,82                            | 2,96                            | 10,02                            | 0,08 |
| 60-70            | 3,72                                 | 12,92                         | 5,20            | 1,06                          | 0,59  | 24,49           | 0,07           | 0,57                                 | 5,39 | 1,11                            | 3,72                            | 13,17                            | 0,07 |
| 70-80            | 4,32                                 | 10,92                         | 5,70            | 0,89                          | 0,89  | 24,27           | 0,08           | 0,83                                 | 6,07 | 0,96                            | 4,32                            | 11,28                            | 0,08 |
| 80-90            | 4,52                                 | 10,30                         | 5,30            | 0,96                          | 0,59  | 23,27           | 0,07           | 0,56                                 | 5,60 | 1,03                            | 4,52                            | 10,75                            | 0,07 |
| 90-100           | 4,44                                 | 9,76                          | 4,50            | 0,99                          | 0,59  | 21,10           | 0,06           | 0,56                                 | 4,68 | 1,04                            | 4,44                            | 9,95                             | 0,06 |
| 100-110          | 0,00                                 | 9,28                          | 4,60            | 0,91                          | 0,49  | 16,62           | 0,05           | 0,46                                 | 4,93 | 0,99                            | 0,00                            | 9,57                             | 0,05 |
| 110-120          | 0,00                                 | 4,04                          | 3,60            | 0,96                          | 0,49  | 9,53            | 0,04           | 0,46                                 | 3,87 | 1,04                            | 0,00                            | 3,93                             | 0,04 |
| 120-130          | 4,12                                 | 7,84                          | 2,80            | 1,35                          | 0,30  | 16,27           | 0,03           | 0,30                                 | 2,82 | 1,37                            | 4,12                            | 7,72                             | 0,03 |

\* Promedio de tres determinaciones

\* Incluye Ca+Mg

...continúa CUADRO 4

...continuación CUADRO 4.

| Profund.<br>(cm) | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>        | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca+Mg | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>*</sup> | NaCl | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> HCO <sub>3</sub> | KCl  |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------|-----------------|----------------|---|------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------|
|                  | m mol <sub>(±)</sub> l <sup>-1</sup> |                               |                 |                               |       |                 |                |   |      |                                 |                                 |                                  |      |
| 130-140          | 3,60                                 | 8,04                          | 2,80            | 0,91                          | 0,49  | 15,83           | 0,04           | 0,48  | 2,85 | 0,94                            | 3,60                            | 7,95                             | 0,04 |
| 140-150          | 3,12                                 | 7,06                          | 3,00            | 0,99                          | 0,39  | 14,31           | 0,03           | 0,39  | 3,03 | 1,01                            | 3,12                            | 6,88                             | 0,03 |
| 150-160          | 1,04                                 | 6,80                          | 3,20            | 0,78                          | 0,39  | 11,92           | 0,03           | 0,38  | 3,24 | 0,80                            | 1,04                            | 6,59                             | 0,03 |
| 160-170          | 4,44                                 | 8,04                          | 3,20            | 1,06                          | 0,30  | 16,79           | 0,04           | 0,30  | 3,20 | 1,07                            | 4,44                            | 7,89                             | 0,04 |
| 170-180          | 5,00                                 | 8,40                          | 3,60            | 0,91                          | 0,49  | 17,88           | 0,03           | 0,49  | 3,62 | 0,92                            | 5,00                            | 8,10                             | 0,03 |
| 180-190          | 4,00                                 | 8,32                          | 3,20            | 0,86                          | 0,49  | 15,62           | 0,04           | 0,50  | 3,14 | 0,86                            | 4,00                            | 7,74                             | 0,04 |
| 190-200          | 1,92                                 | 7,92                          | 3,20            | 1,06                          | 0,20  | 13,01           | 0,04           | 0,21  | 3,07 | 1,03                            | 1,92                            | 7,42                             | 0,04 |
| 200-210          | 3,56                                 | 8,84                          | 3,10            | 0,78                          | 0,49  | 14,79           | 0,04           | 0,51  | 2,97 | 0,76                            | 3,56                            | 7,97                             | 0,04 |
| 210-220          | 2,60                                 | 9,32                          | 3,10            | 0,71                          | 0,39  | 14,18           | 0,04           | 0,41  | 2,95 | 0,69                            | 2,60                            | 8,49                             | 0,04 |
| 220-230          | 2,72                                 | 9,20                          | 3,30            | 0,71                          | 0,49  | 14,27           | 0,04           | 0,51  | 3,15 | 0,69                            | 2,72                            | 8,27                             | 0,04 |
| 230-240          | 2,84                                 | 9,44                          | 3,10            | 0,78                          | 0,39  | 14,09           | 0,04           | 0,41  | 2,91 | 0,74                            | 2,84                            | 8,41                             | 0,04 |
| 240-250          | 2,08                                 | 9,32                          | 3,30            | 0,65                          | 0,39  | 15,49           | 0,04           | 0,39  | 3,32 | 0,66                            | 2,08                            | 9,15                             | 0,04 |

\* Promedio de tres determinaciones

♦ Incluye Ca+Mg

**CUADRO 5.** Mineralogía de arcillas de los horizontes genéticos del suelo Pantanal, obtenida por difracción de rayos X.

| Mineral                 | Horizontes |    |       |       |       |      |
|-------------------------|------------|----|-------|-------|-------|------|
|                         | Ap         | En | Btkn1 | Btkn2 | Btkn3 | Ckn1 |
| Caolinita               | 27         | 33 | 45    | 24    | 26    | 26   |
| Clorita                 | -          | -  | t**   | t**   | 3     | 4    |
| Cuarzo                  | 27         | 10 | 6     | 8     | 11    | 12   |
| Esmectitas+int.14c/14m* | 5          | 13 | 15    | 25    | 17    | 22   |
| Feldspatos              | 12         | 8  | 7     | 7     | 7     | 6    |
| Goethita                | 5          | 3  | 2     | 2     | 2     | 2    |
| Int.10/14c*             | 3          | 3  | 2     | 1     | t**   | t**  |
| Int.10/14v*             | -          | -  | 3     | 3     | -     | -    |
| Micas                   | 8          | 14 | 8     | 12    | 18    | 12   |
| Paligorsquita           | -          | -  | -     | -     | -     | 4    |
| Talco-pirofilita        | 3          | 6  | 5     | 8     | 6     | 5    |
| Vermiculita             | 9          | 7  | 5     | 5     | 8     | 6    |
| Sepiolita               | 3          | 4  | 3     | 4     | 3     | 3    |

\* Int. = Interestratificado; c = clorita; m= montmorillonita; v = vermiculita; \*\*t = trazas.

Por otra parte, la glaucofana (anfíbol sódico y magnésico) registra contenidos porcentuales (alrededor de 2-3%) que varían poco con la profundidad (Cuadro 6). La presencia de este mineral susceptible a la alteración plantea el dilema de la naturaleza ya sódica de los materiales parentales que dieron origen al pedón en lugar de la acumulación del sodio por procesos pedogenéticos. En ambientes deposicionales, es posible descartar la primera hipótesis cuando los SS se presentan asociados con otros no sódicos porque es poco probable que un polipedón herede sedimentos sódicos y no los polipedones vecinos. Pantanal formaría parte de polipedones que se encuentran como manchones sódicos asociados a suelos no sódicos; tal como se desprende del patrón de distribución de suelos en el área de estudio (ver Figura). Esto sugiere que la acumulación local de sodio se debe principalmente a procesos pedogenéticos y no a la naturaleza sódica de los materiales parentales.

**CUADRO 6.** Mineralogía de las arenas densas y proporción de intemperismo (C+T/A+P)\* para los horizontes genéticos del suelo Pantanal, obtenidas por microscopía de luz polarizada.

| Mineral     | Horizontes |      |       |       |       |      |
|-------------|------------|------|-------|-------|-------|------|
|             | Ap         | En   | Btkn1 | Btkn2 | Btkn3 | Ckn1 |
| Augita      | 0,2        | 0,2  | -     | -     | -     | -    |
| Biotita     | 1,1        | 0,4  | 1,2   | 0,5   | 0,9   | 1,1  |
| Cianita     | 0,2        | 0,4  | -     | -     | 0,2   | -    |
| Circón      | 14,9       | 19,9 | 14,7  | 19,3  | 10,3  | 13,8 |
| Epidota     | 7,5        | 7,2  | 2,9   | 4,5   | 8,4   | 5,8  |
| Estaurolita | -          | -    | -     | -     | -     | 0,2  |
| Glaucofana  | 2,2        | 2,0  | 1,6   | 1,8   | 2,3   | 3,0  |
| Granate     | 0,2        | 0,9  | -     | -     | 0,2   | 0,2  |
| Hornblenda  | -          | -    | 0,1   | 0,3   | 0,3   | -    |
| Moscovita   | 4,7        | 1,3  | 5,0   | 11,1  | 13,8  | 13,7 |
| Opacos      | 61,7       | 59,1 | 67,6  | 55,7  | 57,1  | 54,8 |
| Rutilo      | 4,0        | 5,6  | 3,5   | 4,6   | 3,2   | 2,0  |
| Turmalina   | 3,3        | 3,2  | 3,2   | 2,3   | 3,4   | 5,6  |
| C+T/A+P     | 7,6        | 10,5 | 10,5  | 10,3  | 5,3   | 6,5  |

\* C+T = Circón + Turmalina; A+P = Anfíboles + piroxenos.

La glaucofana sólo se encuentra en rocas metamórficas de baja temperatura y alta presión (esquistos, eclogita, mármol) asociada con minerales como lawsonita, jadeita (piroxeno sódico) y aragonito (Mottana *et al.*, 1980; Hurlbut y Klein, 1984). Es esencial en esquistos glaucofánicos y accidental en esquistos micáceos y cloritosos (Mottana *et al.*, 1980).

Los pH extremadamente alcalinos en Pantanal revelan un ambiente protector que inhibe la alteración y reprime la actividad de Mg en solución. Las relativamente pequeñas cantidades de glaucofana en las arenas densas (Cuadro 6), la poca cantidad de Mg en solución y precipitado como carbonatos (Guerrero, 1998) y la casi inexistente presencia de clorita en Pantanal (Cuadro 5) parecen descartar materiales parentales derivados de esquistos glaucofánicos y cloritosos.

Las cantidades relativamente elevadas de micas (moscovita) en las arenas densas (Cuadro 6) y en la fracción arcilla de Pantanal (Cuadro 5), que aumentan con la profundidad, soportan la idea de que los materiales parentales provengan de esquistos micáceos y por tanto, la glaucofana haya sido heredada como mineral accidental. Esto también descarta la naturaleza sódica de los materiales parentales y constituye una evidencia mineralógica que señala que el sodio se acumuló en el suelo por procesos pedogenéticos.

**Procesos pedogenéticos.** La acidificación en los primeros 10 cm del horizonte **Ap** puede ser atribuida al fenómeno de ferrólisis, el cual finalmente también produciría destrucción y posterior migración de la arcilla (Schargel, 1984; Schargel *et al.*, 1988; Soil Survey Staff, 1999).

El proceso total consiste de una sucesiva y alternada secuencia de reacciones de oxidación-reducción. Durante la reducción, el poco soluble  $Fe^{3+}$  se transforma en la forma  $Fe^{2+}$  más soluble, la cual desplaza a los cationes intercambiables que son removidos por lixiviación. Durante la etapa de oxidación, el  $Fe^{2+}$  se convierte nuevamente en compuestos insolubles de  $Fe^{3+}$  y además, se genera hidrógeno intercambiable ( $H^+$ ) por el déficit de bases cambiabiles. El  $H^+$  ataca a parte de los filosilicatos arcillosos con su subsiguiente destrucción, liberando  $Al^{3+}$  estructural y promoviendo aún más acidez. La presencia de nódulos de Fe-Mn (Cuadro 1), concentrados principalmente en el fondo de las grietas de la porción inicial del **En** (primeros 10 cm), podría ser considerada como una evidencia del proceso de ferrólisis en Pantanal.

Por otra parte, como la arcilla fina tiene generalmente mayor movilidad que la arcilla gruesa (Buol *et al.*, 1973), la destrucción de la arcilla producto de la ferrólisis podría intervenir parcialmente en la formación del horizonte argílico (Soil Survey Staff, 1999). No obstante, es posible que en el suelo Pantanal esta ferrólisis sea de origen relativamente reciente producto de las restricciones de drenaje actual y sin relevancia en la formación del horizonte de acumulación de arcilla.

Hay que resaltar que parte de la arcilla fina producida en el **Ap** pudo intervenir en el taponamiento parcial de poros del horizonte **En** subyacente (especialmente en sus primeros centímetros) y contribuir, en consecuencia, a la gran compactación de este horizonte (Cuadro 2). Sin embargo, la pérdida irreversible de la estructura del **En** debió haber sido causada principalmente por la acumulación elevada SAS, en un ambiente

con relativamente baja fuerza iónica, que promovió simultáneamente la dispersión de parte de la arcilla remanente (especialmente la caolinita) y la precipitación de importantes cantidades de carbonatos (Cuadro 3) con la consiguiente obturación de los poros del suelo y densificación en el horizonte.

La taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 1975) refiere que los carbonatos de iones divalentes parecen efectivos en frenar el movimiento de la arcilla porque las acumulaciones sólo son comunes por encima de horizontes que tienen grava calcítica en una matriz no calcárea o en ausencia de carbonatos finamente divididos diseminados en la matriz del suelo. El suelo Pantanal presenta carbonatos precipitados en diferentes zonas del perfil (Cuadro 3) y una acumulación pedogenética de arcilla, entre 60-105 cm de profundidad, apoyada por las pruebas de uniformidad de los materiales parentales discutidas con anterioridad.

Estos hechos parecen indicar que la acumulación de arcilla sólo pudo ocurrir antes de la precipitación de carbonatos; los cuales parecen estar constituidos principalmente por  $\text{CaCO}_3$  porque el Ca total extraído con acetato de sodio (NaAc) a pH 5 es muy superior al Mg total (Guerrero, 1998). Como en este pedón no existe reacción al HCl en la masa del suelo en parte alguna del perfil, sólo en concreciones, se infiere que los materiales parentales no son calcáreos y que estos carbonatos precipitados deben tener un origen secundario.

Por otra parte, la expansión o contracción del suelo debe ser lenta o ausente para permitir la formación de un horizonte argílico (Soil Survey Staff, 1975). El suelo Pantanal tiene importantes cantidades de materiales esmectíticos (Cuadro 5) por debajo del horizonte **En**. Las propiedades de expansión-contracción de las esmectitas, en consecuencia, podrían excluir la posibilidad de acumulación iluvial de arcilla en el suelo Pantanal. Sin embargo, el incremento en la concentración de iones en la solución en contacto con las esmectitas tiende a colapsar sus láminas y a reducir la tendencia a expandirse (Borchardt, 1989).

Por lo antes expuesto, el proceso de acumulación de arcilla por iluviación, en un ambiente donde el complejo de cambio presenta un contenido importante de esmectitas, sólo podría ser posible con un elevado contenido de sales relativo. Esto indica que el SS actual posiblemente evolucionó a partir de un suelo salino-sódico (SSS) con relativamente alta permeabilidad.

La cantidad de sales en Pantanal, desde 0 hasta 105 cm de profundidad, expresada por  $CE_s > 2 \text{ dS m}^{-1}$  en la mayor parte de los extractos de saturación (Cuadro 3), parece ser suficiente para restringir la capacidad actual de expansión-contracción de las esmectitas. Este hecho se infiere porque no había evidencia de caras de fricción en el **Btkn1** y porque la acumulación de arcilla presente en esta zona del perfil parece ser de origen iluvial. Sin embargo, Pantanal presenta pedoturbación apreciable en forma de caras de fricción (Cuadro 1) entre los 105-160 cm de profundidad (horizontes **Btkn2** y **Btkn3**) lo cual puede ser una manifestación conjunta de los contenidos menores de sales ( $CE_s < 2 \text{ dS m}^{-1}$ ) y la mayor cantidad de esmectitas (Cuadro 5); esto último también inferido por los valores más elevados de CIC en estos horizontes (Cuadro 3).

Según Bohn *et al.* (1979) la MO es la principal donadora de electrones en el suelo y varias especies químicas actúan como receptoras de esos electrones en el proceso conocido como reducción. En la génesis de SS alcalinos, la reducción de sulfatos a  $\text{H}_2\text{S}$  bajo condiciones anaeróbicas, actuando la MO como donadora de electrones, es quizás uno de los procesos más importantes; lo que puede expresarse en la siguiente reacción como:



donde  $\text{CH}_2\text{O}$  es un carbohidrato hipotético que representa la MO del suelo.

Como consecuencia de la producción y volatilización a la atmósfera del gas ácido  $\text{H}_2\text{S}$ , se incrementaría la ALCR y el pH del suelo porque el  $\text{HCO}_3^-$  producido no podría ser neutralizado nuevamente cuando se regeneren las condiciones de oxidación. No obstante, en un suelo anaeróbico existen otros aceptores de electrones que se encuentran en mayor cantidad que los sulfatos y, además, presentan un potencial de semi reacción más favorable (óxidos y oxo-hidróxidos de Fe-Mn). Sin embargo, según Bohn *et al.* (1979), en condiciones fuertemente reductoras los microorganismos del suelo pueden ser forzados a utilizar progresivamente aceptores de electrones más débiles como los sulfatos.

Por otra parte, si los óxidos y oxo-hidróxidos de Fe-Mn actuaran como receptores de los electrones de la MO en condiciones de reducción, generarían compuestos no volátiles que neutralizarían el  $\text{HCO}_3^-$  producido al

restaurarse nuevamente las condiciones de oxidación. Esto transcurriría sin ganancia neta de ALCR.

Por tanto, suficientes cantidades de MO para inducir la reducción de sulfatos con generación de  $H_2S$  serían una fuente constante de bicarbonato en el sistema suelo-solución. Al lixiviarse una alta proporción de los cloruros (y parte de los sulfatos) a través del drenaje profundo, las SAS (bicarbonatos y carbonatos) se acumularían y reemplazarían progresivamente al NaCl y a otras sales en solución favoreciendo la sustitución de iones divalentes por sodio en el complejo de intercambio y la precipitación de  $CaCO_3$ - $MgCO_3$  (Guerrero *et al.*, 2002).

Una vez precipitados, el Ca y el Mg no serían capaces de competir nuevamente por los sitios de intercambio y de allí la fuerte y eventual sodificación del perfil. En consecuencia, se incrementaría la ALCR y el pH del suelo. Las pequeñas cantidades de sulfato en el perfil Pantanal por debajo de los 40 cm (Cuadro 4) y la presencia de nódulos de  $Fe$ - $Mn$  y manchas negras que reaccionan al agua oxigenada ( $H_2O_2$ ) en diferentes partes del perfil (Cuadro 1), parecen apoyar la tesis de la reducción de sulfato propuesta por la ecuación (2). Por otra parte, las relativamente más elevadas cantidades de sulfato que se presentan en la superficie (0-40 cm) podrían ser, sin embargo, un reflejo de las condiciones actuales de drenaje restringido.

En Venezuela, ha sido señalado que en el Alto Apure (Schargel, 1984) y en la planicie aluvial del río Portuguesa (Schargel *et al.*, 1988), los elevados contenidos de sodio intercambiable pueden estar relacionados a la acumulación de aguas, con abundante sodio, que se concentraron por evaporación en áreas depresionales. Esto favoreció la sustitución de los cationes intercambiables por sodio y dio lugar a SSS durante el período árido que marca el final del Pleistoceno.

En relación con Pantanal, las elevadas cantidades de Na intercambiable parecen ser favorecidas, según la ecuación 2, por la acumulación de SAS, a la lixiviación de cloruros y por altas  $CIC_s$  (posiblemente producto de la alta proporción de esmectitas en el complejo de intercambio). Los cloruros, conjuntamente con otros iones solubles, se lavaron durante el período más húmedo que caracterizó al Holoceno (Schargel, 1984; Schargel *et al.*, 1988) evolucionando el SSS al actual SS Pantanal. Sin embargo, cuando las sales totales disminuyeron hasta niveles críticos ocurrió, en consecuencia, la dispersión de las partículas coloidales del

suelo (degradación de la estructura) resultando en elevadas Da y bajas macroporosidades y conductividades hidráulicas.

Sawhney y Baddesha (1989) registraron el efecto de la aplicación de yeso y riego sobre las propiedades de un SSS de la India ( $CE = 12-18 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $PSI = 70-75$ ,  $K = 3-4 \text{ mm h}^{-1}$ ,  $pH = 10-10,6$ ) y el rendimiento de arroz y trigo durante 1973-1983. Sus resultados indican que existen cambios en los atributos durante todo el proceso de recuperación de 11 años que llevó el SSS a no sódico en los primeros 60 cm. Esto parece demostrar que los SSS que acumulan SAS pueden ser lixiviados y recuperados en tiempos relativamente breves y hacen plausible la hipótesis de Schargel (1984) y Schargel *et al.* (1988) que durante el Holoceno el clima más húmedo favoreció el lavado de sales y los SSS evolucionaron a sódicos.

### CONCLUSIONES

- Se infiere que el suelo Pantanal es producto de la intemperización de materiales con cantidades elevadas de areniscas del terciario que interaccionaron con aguas ricas en sodio (quizás de origen marino) en las depresiones de los llanos altos centrales durante el período árido de finales del Pleistoceno.
- Las elevadas concentraciones de SAS fueron favorecidas por la acumulación de MO en un ambiente reductor que eliminó gran parte de los sulfatos como  $\text{H}_2\text{S}$ . La evolución del SSS resultante, durante el período Holoceno más húmedo, permitió la migración de arcilla y formación del horizonte nátrico, la sustitución progresiva de iones divalentes por sodio en el complejo de cambio y la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ , la eliminación de sales a través del drenaje y, finalmente, cuando las sales totales disminuyeron hasta niveles críticos, ocurrió la degradación de la estructura.

### AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. Graciano Elizalde por su colaboración en la interpretación de los espectros de difracción de rayos X y en la identificación de los minerales de las arenas densas, al Dr. Richard Schargel por la clasificación taxonómica del perfil, al Ingeniero Agrónomo Ángel Valera por la elaboración del mapa que representa el área de estudio.

## SUMMARY

Many soils around the world present large amounts of sodium, characteristic that leads to generate sodic soils. In these soils risks of degradation are ever present. This study was conducted to identify factors and processes in the genesis of an alkali sodic soil from the Chaguaramas Formation (Chaguaramas, Guárico State, Venezuela). Thus some morphological, physic, chemical and mineralogical soil properties and characteristics were measured. The results shown exchangeable sodium percentage (ESP) up to 89%, accumulation of alkaline salts of sodium (bicarbonates and carbonates), pH higher than 8.5, soil bulk density (Db) up to  $2.27 \text{ Mg m}^{-3}$ , low hydraulic conductivity ( $< 2 \text{ mm h}^{-1}$ ) and macroporosity values, precipitation of  $\text{CaCO}_3$ , and mixed mineralogy characterized by presence of smectites. It was inferred that the soil was produced from alteration of tertiary sedimentary rocks that interacted with waters rich in sodium in depressions of the Venezuelan Central High Plains during the arid phase at the end of Pleistocene. High quantities of alkaline sodium salts were favored from the accumulation of organic matter in a reduced environment; event that led up to the elimination of high quantities of sulfates as  $\text{H}_2\text{S}$ . The saline sodic soil evolved during the Holocene humid climate to promote the clay migration and natric horizon formation, the progressive substitution of divalent ions by sodium in the soil exchange complex, the precipitation of  $\text{CaCO}_3$ , the elimination of salts in the deep drainage, and finally, when the total quantity of salts were diminished to critic levels, to the degradation of the soil structure.

**Key Works:** Alkaline hydrolysis; sodium carbonate; calcium carbonate.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALEIXANDRE, T. y A. PINILLA. 1968. Algunas modificaciones a las técnicas aplicadas al estudio mineralógico de fracciones gruesas o arenas. *Anales de Edafología y Agrología*. Tomo XXVII. (7-8):563-567.
- BOHN, H. L., B. L. McNEAL and G. E. O'CONNOR. 1979. *Soil Chemistry*. 1ra ed. John Wiley & Sons, New York. 329 pp.
- BORCHARDT, G. 1989. Smectites. In: 'Minerals in Soil Environments' (Dixon y Weed ed). 2da ed. Soil Science Society of America, Madison, Wiscosin. Cap. 14, pp. 675-727.

- BUOL, S. W., F. D. HOLE and R. J. McCRACKEN. 1973. Soil genesis and classification, 1ra ed. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- CHEN, Z. S., T. C. TSOU, V. B. ASIO and C. C. TSAI. 2001. Genesis of inceptisols on a volcanic landscape in Taiwan. *Soil Sci.* 166(4):255-266.
- CRUZ-ROMERO, G. and N. T. COLEMAN. 1975. Reactions Responsible for High pH of Na-saturated Soils and Clays. *J. Soil Sci.* 26(2):169-175.
- GARCÍA-MIRAGAYA, J., R. SCHARGEL, M. RAMIA and L. MARTÍN. 1990. Chemical Properties of soils where palm trees grow in Venezuela. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 21: 337-349.
- GUERRERO, J. 1998. Génesis de suelos sódicos en diferentes ambientes edafoclimáticos de Venezuela Tesis Doctoral. Maracay, Ven. Universidad Central.
- GUERRERO-ALVES, J., I. PLA-SENTÍS and R. CAMACHO. 2002. A model to explain high values of pH in an alkali sodic soil. *Scientia Agricola* 59(4):763-770.
- GUPTA, R. K. and I. P. ABROL. 1990. Reclamation and management of alkali soils. *Indian J. Agric. Sci.* 60(1):1-16.
- HURLBUT, C. and C. KLEIN. 1984. Manual de mineralogía de Dana. 3<sup>ra</sup> ed. Editorial Reverté, Barcelona (España). pp. 564.
- JACKSON, M. L. 1969. Soil chemical analysis advanced course. 2<sup>da</sup> ed. M. L. Jackson, USA.
- MALAGÓN, D. 1979. Fundamentos de mineralogía de suelos. 1<sup>ra</sup> ed. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Mérida (Venezuela). 747 pp.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR). 1985. Inventario Nacional de Tierras Guárico Central-Sur de Aragua. Programa Inventario Nacional de Tierras (PINT), Zona 2, Maracay. 159 pp. (Serie de Informes Científicos).
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR). 1999. Mapa de suelos 1:250.000. Servicio Autónomo de Conservación de Suelos y Cuencas Hidrográficas, Dirección de Suelos y Aguas. Caracas.

MOTTANA, A., R. CRESPI y G. LIBORIO. 1980. Guía de Minerales y Rocas. 3ra ed. Ediciones Grijalbo, Barcelona (España). 608 pp.

PARFENOFF, A., C. POMEROL et J. TOURENQ. 1970. Les Minéraux en Grains. Méthodes d' étude et détermination. 6ta ed. Masson et Cie, éditeurs, París (Francia). 578 pp.

PLA SENTÍS, I. 1985. Origen, distribución y diagnóstico de suelos afectados por sales en Venezuela. Rev. Fac. Agron. XIV (1-2):125-150.

PLA SENTÍS, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Revista. Maracay, Ven. Universidad Central. Facultad de Agronomía. Alcance N° 32.

PLA SENTÍS, I. 1969. Metodología de laboratorio recomendada para el diagnóstico de salinidad y alcalinidad en suelos, aguas y plantas. Maracay, Ven. Universidad Central. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. 94 pp.

QUINTERO, F. 1987. Informe técnico anual. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Sub-Estación Experimental Valle de la Pascua. Estado Guárico. 52 pp.

ROBBINS, C. W. 1989. Sample preparation for determining Ions in dark colored sodic soil extracts. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:721-725.

SALINITY LABORATORY STAFF. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture (USDA), Agriculture Handbook Nro 60. Washington.

SAWHNEY, J. S. and H. S. BADDESHA. 1989. Effect of gypsum on properties of saline sodic soil and crop yield. J. Indian Soc. Soil Sci. 37:418-420.

SCHARGEL, R. 1984. Características y génesis de suelos con horizontes nátricos en el Alto Apure. Revista Unellez de Ciencia y Tecnología. 5:85-89. (Serie Producción Agrícola).

SCHARGEL, R., P. ARRIETA y R. SEQUERA. 1988. Características y manejo de una asociación de Tropaqualfs, Haplustalfs y Natraqualfs en el Estado Portuguesa, Venezuela. Revista Unellez de Ciencia y Tecnología 6(1-2):9-16.

SOIL CONSERVATION SERVICE. 1981. Soil Survey Manual, Chapter 4. Examination and description of soils in the field. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service.

SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service, 2nd ed.

VAN BEEK, C. G. and N. VAN BREEMEN. 1973. The Alkalinity of Alkali Soils. *J. Soil Sci.* 24:129-136.

## EFFECTOS DE ÉPOCA DE APLICACIÓN Y TIPO DE FERTILIZANTE NITROGENADO SOBRE EL PATRÓN DE ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA Y NITRÓGENO DEL MAÍZ EN UN ULTISOL Y UN MOLLISOL DE VENEZUELA<sup>1</sup>

Rodolfo Delgado\*, Lorenzo Velásquez\*\*  
y Evelyn Cabrera de Bisbal\*

### RESUMEN

La producción de maíz, *Zea mays* L., y utilización de nitrógeno puede ser afectada por el tipo y época de aplicación del fertilizante nitrogenado, condiciones climáticas, y propiedades físico-químicas de los suelos. En este experimento se evaluó la respuesta del maíz a la aplicación de 120 kg N ha<sup>-1</sup> aplicada en la forma de urea, nitrato de amonio (NA), y una fuente amoniacal (10-26-26), y a la época de aplicación del reabono en un suelo ácido de baja fertilidad (Ultisol), y en un suelo de alta a mediana fertilidad de pH neutro a alcalino (Mollisol) de El Pao y Turén, respectivamente, representativos de áreas donde normalmente se cultiva maíz en Venezuela. Generalmente se observó mayor producción de materia seca (MS), y absorción de N con la aplicación de NA. En el Mollisol la aplicación de toda la dosis de N a la siembra, y reabono a los 15 días (aplicación temprana) permitió mayor absorción de N que la aplicación tardía del fertilizante (reabono a los 25 y 35 d).

**Palabras Clave:** Fraccionamiento de N; *Zea mays*; absorción de N; El Pao; Turén; Venezuela.

---

1 Trabajo financiado por FONACIT (antes CONICIT) bajo proyecto S1-2281 y PALMAVEN (Filial de PDVSA).

\* Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Apdo. 4653. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

\*\* Investigador. INIA-CEA. Apdo. 102. Araure, estado Portuguesa. Venezuela.

RECIBIDO: julio 28, 2003.

## INTRODUCCIÓN

Factores como tipo y época de aplicación del fertilizante nitrogenado (Monelik *et al.*, 1994) afectan la producción de maíz, *Zea mays* L., y recuperación de N, al afectar la disponibilidad del elemento en los periodos donde el cultivo lo requiere en mayor proporción.

La determinación del patrón de acumulación (PA) y absorción de nutrimentos, en diferentes periodos de crecimiento de los cultivos, podrían ser de utilidad en la determinación de las épocas más apropiadas de fertilización, y aplicación de nutrimentos, y con ello incrementar la eficiencia de su utilización e incremento en la producción de los cultivos.

Stecker *et al.* (1993) encontraron en maíz cultivado en diferentes sistemas de rotación y labranza, que la producción fue mayor cuando se aplicó nitrato de amonio (NA), en comparación con fertilizantes basados en urea. Fox *et al.* (1986), y Power *et al.* (1972) observaron que con NA, y sulfato de amonio (SA), respectivamente, hubo mayor producción de grano, N absorbido y concentración de N en la hoja que con el empleo de urea. Sin embargo, FAO (1980), en estudios de utilización de N aplicado como urea, NA, y SA por maíz, trigo y arroz encontraron pequeñas diferencias en la absorción del elemento, si los fertilizantes son aplicados de acuerdo a sus limitaciones, tales como incorporación de las fuentes como urea, y SA.

Se ha encontrado que el fraccionamiento de la dosis de N, afecta el patrón de absorción del elemento durante el ciclo del cultivo (CC), aunque no la cantidad total de N absorbido, y que la aplicación de N 6 semanas después de la siembra redujo el rendimiento (Reeves *et al.*, 1993). La FAO (1980), en estudio de épocas de aplicación del reabono encontró que la aplicación al momento de floración femenina, o después de ella, fue menos efectiva que la aplicación temprana del fertilizante. Sin embargo, en otros estudios se ha encontrado que el fraccionamiento del fertilizante nitrogenado no afectó la producción de grano, y absorción de N aplicado (Jokela y Randall, 1997; Randall *et al.*, 1997), y/o que la aplicación tardía del N sólo afecta ligeramente la producción de materia seca (MS; Jokela y Randall, 1989).

Otros factores como déficit y/o excesos de agua durante el CC, y propiedades o características del suelo como pH, disponibilidad de nutrimentos, entre otros, afectan la utilización del N por el cultivo y la eficiencia de utilización de las diferentes fuentes de N.

En este estudio se evaluó el efecto de diferentes tipos, y épocas de aplicación de fertilizantes nitrogenados en la producción MS y absorción de N, y su relación con algunas características edafo-climáticas de los sitios evaluados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un suelo Fluventic Haplustoll, y un Typic Haplustul de los estados Portuguesa y Cojedes, respectivamente, los cuales habían estado previamente en barbecho y pastura natural por períodos de 8 y 15 años, respectivamente. En el Cuadro 1 se indica las características principales de los sitios experimentales. Los dos sitios experimentales se encuentran en la zona de vida de bosque seco tropical (Ewel *et al.*, 1968). Turén esta ubicado 9° 15' latitud N, y 69° 6' longitud oeste, y El Pao 8° 30' latitud norte, y 67° 45' longitud oeste.

En cada uno de los sitios experimentales se evaluó la respuesta del cultivo maíz (híbrido PB-8) a la aplicación de 120 kg N ha<sup>-1</sup>, en la forma de urea (46% N), NA con 35% de N, y una fórmula completa (10-26-26) con N en la forma amoniacal (10% N, 26 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente), y el fraccionamiento de la dosis de N. En este último aspecto se evaluó la aplicación de la dosis de N: 1) toda la dosis de N al momento de la siembra; 2) 2/3 de la dosis de N al momento de la siembra y 1/3 como reabono a los 15 d; 3) similar al 2, pero el reabono a los 25 d; 4) similar al 2, con reabono a los 35 d.

En los casos de reabono, el fertilizante se aplicó, y cubrió en una zanja de 5 cm de profundidad alejada aproximadamente 10 cm del hilo de siembra. La dosis de N empleada (120 kg N ha<sup>-1</sup>) es la dosis normalmente recomendada para maíz en Venezuela, y proviene de estudios previos de evaluación de dosis de N (González *et al.*, 1977; González y Vonasek, 1974). Se empleó un diseño de bloques completamente aleatorizados, con 4 repeticiones por tratamiento.

Las parcelas experimentales fueron de 13 \* 2,4 m (31,2 m<sup>2</sup>) con 5 hilos de siembra a 0,8 m entre hilos en los dos sitios experimentales, con aproximadamente 50 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Al momento de la siembra se incorporó al suelo, junto con la fuente de N, y en cada uno de los tratamientos evaluados 120, y 90 kg ha<sup>-1</sup> de P y K en la forma de superfosfato triple (SFT, 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y cloruro de potasio (KCL; 60% K<sub>2</sub>O).

En diferentes períodos del CC, se determinó la producción de MS, y absorción de N. Para ello se muestreo un área de 1 m<sup>2</sup>, lo cual corresponde a 5 plantas m<sup>-2</sup>, en los hilos alrededor del área central de la parcela, cada 15 días después de la siembra (DDS). Simultáneamente, en las parcelas donde se cosechó MS, se extrajo los contenidos de N mineral (N-NO<sub>3</sub>, y N-NH<sub>4</sub>) en KCl 2M (Bremner, 1965), y se determinó el contenido de humedad del suelo cada 10 cm hasta 50, y 40 cm de profundidad en El Pao, y Turén, respectivamente. El N mineral se determinó por el método del salicilato y nitro-prusiato por flujo continuo (Alves *et al.*, 1994), y el contenido de humedad se realizó por gravimetría.

En cada uno de los sitios experimentales se midió la precipitación acumulada en períodos semanales, para lo cual se instaló un pluviómetro en cada sitio. La información luego se integró en precipitación acumulada en períodos de 15 d. La determinación del índice de agua disponible (ÍAD) según Grant *et al.* (1989), en diferentes etapas del CC, se calculó como la relación entre el agua extractable en un momento determinado (diferencia entre el contenido de humedad en un momento determinado y el contenido de humedad en el punto de marchites permanente), y el agua potencialmente extractable (contenido de humedad entre capacidad de campo y punto de marchites permanente, PMP). Los contenidos de humedad a capacidad de campo y PMP para cada uno de los horizontes en los dos sitios evaluados, se indican en el Cuadro 1.

La determinación de MS, grano, y N total extraído al final del CC se realizó en una área de 7,2 m<sup>2</sup> (54 plantas m<sup>2</sup>) en los hilos centrales de las parcelas experimentales. El análisis de N en el tejido fue según el de Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).

La evaluación de diferencias significativas en producción de MS, y nitrógeno extraído debido a fuentes de N y época de aplicación individuales se evaluó mediante Tukey ( $\alpha=0,1$ ), a través del procedimiento GLM de SAS (1998).

Para evaluar el efecto de aplicaciones tempranas y tardías (épocas de aplicación, y tipo de fertilizante) en la producción de MS y grano, y de N absorbido, se utilizó el análisis de contrastes de los tratamientos agrupados por tipo de fertilizante y época de aplicación, mediante el procedimiento GLM de SAS (1998). Se consideró que existía diferencias significativas si el p-value era menor o similar a 0,1.

En diferentes períodos del CC, se determinó la producción de MS, y absorción de N. Para ello se muestreo un área de 1 m<sup>2</sup>, lo cual corresponde a 5 plantas m<sup>-2</sup>, en los hilos alrededor del área central de la parcela, cada 15 días después de la siembra (DDS). Simultáneamente, en las parcelas donde se cosechó MS, se extrajo los contenidos de N mineral (N-NO<sub>3</sub>, y N-NH<sub>4</sub>) en KCl 2M (Bremner, 1965), y se determinó el contenido de humedad del suelo cada 10 cm hasta 50, y 40 cm de profundidad en El Pao, y Turén, respectivamente. El N mineral se determinó por el método del salicilato y nitro- prusiato por flujo continuo (Alves *et al.*, 1994), y el contenido de humedad se realizó por gravimetría.

En cada uno de los sitios experimentales se midió la precipitación acumulada en períodos semanales, para lo cual se instaló un pluviómetro en cada sitio. La información luego se integró en precipitación acumulada en períodos de 15 d. La determinación del índice de agua disponible (ÍAD) según Grant *et al.* (1989), en diferentes etapas del CC, se calculó como la relación entre el agua extractable en un momento determinado (diferencia entre el contenido de humedad en un momento determinado y el contenido de humedad en el punto de marchites permanente), y el agua potencialmente extractable (contenido de humedad entre capacidad de campo y punto de marchites permanente, PMP). Los contenidos de humedad a capacidad de campo y PMP para cada uno de los horizontes en los dos sitios evaluados, se indican en el Cuadro 1.

La determinación de MS, grano, y N total extraído al final del CC se realizó en una área de 7,2 m<sup>2</sup> (54 plantas m<sup>2</sup>) en los hilos centrales de las parcelas experimentales. El análisis de N en el tejido fue según el de Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).

La evaluación de diferencias significativas en producción de MS, y nitrógeno extraído debido a fuentes de N y época de aplicación individuales se evaluó mediante Tukey ( $\alpha=0,1$ ), a través del procedimiento GLM de SAS (1998).

Para evaluar el efecto de aplicaciones tempranas y tardías (épocas de aplicación, y tipo de fertilizante) en la producción de MS y grano, y de N absorbido, se utilizó el análisis de contrastes de los tratamientos agrupados por tipo de fertilizante y época de aplicación, mediante el procedimiento GLM de SAS (1998). Se consideró que existía diferencias significativas si el p-value era menor o similar a 0,1.

**CUADRO 1.** Principales características de los sitios experimentales.

| Suelo                              | Horizonte<br>(cm) | P                   | K    | Ca  | pH   | M.O. | Parámetros de humedad |        | Distribución de Partículas (%) |       |      | Textura                |
|------------------------------------|-------------------|---------------------|------|-----|------|------|-----------------------|--------|--------------------------------|-------|------|------------------------|
|                                    |                   |                     |      |     |      |      | Cc(1)                 | PMP(1) | Arcilla                        | Arena | Limo |                        |
|                                    |                   | mg kg <sup>-1</sup> |      |     | (% ) |      | (% $\theta$ )         |        |                                |       |      |                        |
| Turén<br>(Fluventic<br>Haplustoll) | 0-10              | 13,0                | 30,7 | 802 | 7,9  | 2,42 | 37,0                  | 12,0   | 17,4                           | 49,9  | 32,7 | Franco                 |
|                                    | 10-20             | 12,0                | 25,3 | 735 | 7,9  | 2,37 | 37,0                  | 12,0   | 16,7                           | 49,9  | 33,3 | Franco                 |
|                                    | 20-30             | 10,0                | 22,7 | 788 | 7,9  | 2,28 | 37,0                  | 12,0   | 18,1                           | 45,9  | 36,0 | Franco                 |
|                                    | 30-40             | 7,7                 | 28,0 | 788 | 7,9  | 2,29 | 37,0                  | 12,0   | 17,4                           | 49,9  | 32,7 | Franco                 |
|                                    | 40-50             | 10,7                | 29,3 | 835 | 7,9  | 2,29 | 37,0                  | 12,0   | 18,7                           | 43,9  | 37,3 | Franco                 |
| El Pao<br>(Typic<br>Haplustoll)    | 0-10              | 7,7                 | 91,3 | 255 | 5,5  | 1,80 | 24,7                  | 8,3    | 10,7                           | 72,6  | 16,0 | Franco arenoso         |
|                                    | 10-20             | 3,3                 | 58,7 | 155 | 5,4  | 1,25 | 26,2                  | 8,8    | 10,7                           | 73,1  | 16,0 | Franco arenoso         |
|                                    | 20-30             | 2,0                 | 57,3 | 88  | 5,2  | 0,97 | 28,2                  | 9,5    | 16,1                           | 66,6  | 17,3 | Franco arenoso         |
|                                    | 30-40             | 2,0                 | 41,3 | 82  | 5,1  | 0,90 | 27,4                  | 9,2    | 19,4                           | 63,3  | 17,3 | Franco arenoso         |
|                                    | 40-50             | 2,0                 | 38,7 | 42  | 5,1  | 0,86 | 26,9                  | 9,0    | 23,4                           | 56,6  | 20,0 | Franco arcillo arenoso |

(1) Capacidad de campo (Cc) y punto de marchitez permanente (PMP) para Turén, datos de humedad tomados de estudios a nivel de campo por Van Leeuwe (1998), y para el Pao medidos con olla de presión en laboratorios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La humedad en el suelo y el ÍAD en El Pao, estuvo en promedio de los horizontes hasta 50 cm de los tratamientos donde todo el fertilizante de cada fuente evaluada se aplicó a la siembra, decrecieron desde 17,5-14,1% en los primeros 14 DDS, a 8,9% y 10,9% a los 64 y 77 DDS donde ocurre floración y llenado de grano de maíz (Cuadro 2).

La variación en el contenido de humedad del suelo reflejó el patrón de precipitación durante el CC, donde sólo el 20,2% (126,9 mm) del total de precipitación ocurrió en el período de floración y llenado de grano (luego de 64 días) cuando el cultivo es muy susceptible a déficit hídrico (Waldren, 1983; Cuadro 2).

Los ÍAD durante el CC (Cuadro 2), fluctuó entre 0,51 y 0,35 en los primeros 27 DDS, y 0,2 a los 64-77 d. Estos últimos ÍAD están en el rango crítico (0,2-0,3) según Grant *et al.* (1989), sugiriendo que hubo estrés de humedad en etapas críticas de floración y llenado de grano. Los índices de estrés durante las primeras etapas del CC, aunque no alcanzaron el rango crítico, pudo afectar la transpiración y/o consumo de agua (Ritchie, 1981), y con ello absorción de N. Carcova *et al.* (1998) indica que contenidos de agua extractable inferior al 60% del agua disponible puede afectar la absorción de la misma.

En Turén, la humedad del suelo entre 0 y 40 cm, promedio de los tratamientos donde todo el fertilizante se aplicó a la siembra (Cuadro 2), decreció desde 24,4% en el momento de la siembra, hasta 16,1% a los 30 d. Estos últimos valores fueron los más bajos durante el CC, y estuvieron en el rango del PMP (9 y 16%) para este sitio experimental (Cuadro 1).

Luego de los 30 d, los contenidos de humedad fluctuaron entre 22,1% a los 45 d, y 29,7% al final del CC, lo cual corresponde al 62-81% de capacidad de campo (37%) de este suelo (Cuadro 1). Los ÍAD fluctuaron entre 0,16 y 0,71 (Cuadro 2), con valores cercanos al rango crítico (0,2-0,3) entre los 15 y 30 d. Estas bajas fracciones de agua extractable, similar a como se indicó para El Pao, posiblemente afectó el crecimiento del ÁF, fotosíntesis, y transpiración, y con ello la absorción de N que mayormente ocurre por flujo masal. Debreczeni (2000), observó mayor absorción de N a contenidos de humedad equivalentes a 80% de la capacidad de campo que a 65% de la misma.

**CUADRO 2.** Fracción del agua extractable, promedio de los tratamientos donde toda la dosis de N se aplicó al momento de la siembra, en diferentes períodos del ciclo del cultivo en cada sitio.

| Suelo  |  | Ciclo del cultivo (días) |       |      |       |      |       |       |       |      |
|--------|--|--------------------------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|
|        |  | 0                        | 15    | 30   | 45    | 60   | 90    | 115   |       |      |
| Turén  | Índice de agua disponible                | 0,50                     | 0,28  | 0,16 | 0,52  | 0,54 | 0,48  | 0,71  |       |      |
|        | Precipitación Acumulada/ período (mm)    | -                        | 124,3 | 99,6 | 120,2 | 65,6 | 338,8 | 163,3 |       |      |
|        | Promedio contenido de humedad (0-40 cm)% | 24,4                     | 18,9  | 16,0 | 25,1  | 25,6 | 24,0  | 29,7  |       |      |
| Suelo  |  | Ciclo del cultivo (días) |       |      |       |      |       |       |       |      |
|        |  | 0                        | 7     | 14   | 21    | 27   | 55    | 64    | 77    | 120  |
| El Pao | Índice de agua disponible                | 0,49                     | 0,29  | 0,46 | 0,47  | 0,41 | 0,26  | 0,03  | 0,11  | 0,03 |
|        | Precipitación Acumulada/ período (mm)    | -                        | 3,5   | 43,4 | 61,6  | 78,6 | 311,6 | 2,9   | 109,6 | 17,3 |
|        | Promedio contenido de humedad (0-50 cm)% | 17,5                     | 14,1  | 17,0 | 17,3  | 16,0 | 13,4  | 8,9   | 10,9  | 8,4  |

Los bajos contenidos de agua disponible en Turén entre los 15 y 30 d posiblemente afectó la absorción de N por el cultivo (en promedio de todos los tratamientos la absorción de N fue casi un medio de la absorción observada en El Pao).

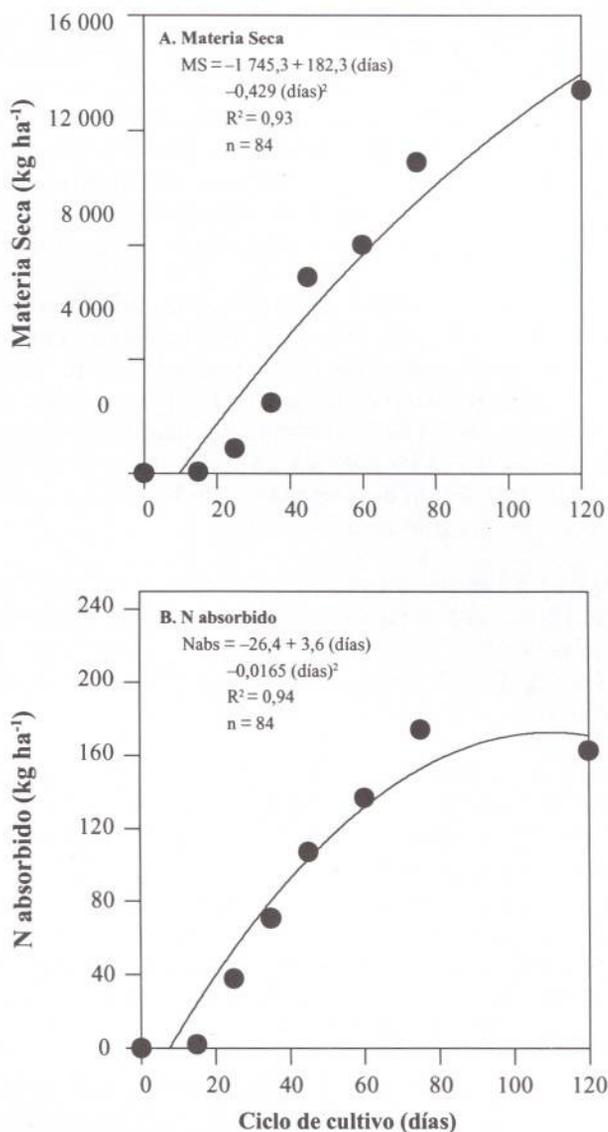
En sus trabajos Delgado (2002) señaló que las máximas tasas de absorción de N por el mismo híbrido de maíz ocurre en los primeros 45 DCC. Contrariamente los bajos contenidos de humedad en El Pao ocurrieron en la etapa de floración y llenado de grano, lo cual posiblemente no afectó la absorción de N, pero si la acumulación de MS. Waldren (1983) indica la notable sensibilidad del maíz a déficit hídricos durante la etapa de floración y llenado de grano.

Patrón y la tasa de acumulación (TA) de MS y N, y respuesta a la aplicación de diferentes tipos y época de aplicación en el suelo Typic Haplustul, a excepción de la diferencia significativa ( $\alpha=0,1$ ) en producción de MS a los 75 d entre el tratamiento sin fertilizar ( $10\,154\text{ kg ha}^{-1}$ ) y el tratamiento donde toda la fórmula se aplicó a la siembra ( $14\,567\text{ kg ha}^{-1}$ ), y en el N total absorbido a los 45 d entre el tratamiento de aplicación de N en la fórmula con reabono a los 15 d ( $127,9\text{ kg ha}^{-1}$ ) y el tratamiento sin fertilizar ( $64,1\text{ kg ha}^{-1}$ ), no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de tipo y época de aplicación del N.

De igual manera no se observaron diferencias significativas en producción de grano y N extraído en grano entre los tratamientos evaluados. La producción de grano fluctuó entre  $3\,836$  y  $2\,811\text{ kg ha}^{-1}$  para los tratamientos donde toda la urea y NA se aplicó a la siembra, y la absorción de N fluctuó entre  $43$  y  $24,7\text{ kg ha}^{-1}$  en los tratamientos donde toda la urea aplicada a la siembra, y con fórmula con  $2/3$  al reabono a los 15 d.

En la Figura 1 se presenta la acumulación de MS y N, promedio de todos los tratamientos. El modelo cuadrático se ajustó considerando para cada época de muestreo el promedio por cada tratamiento: en cada muestreo existió 12 puntos uno por cada tratamiento.

Los modelos de regresión cuadrático explican entre un 93 y 94% de la variación en la acumulación de MS y N absorbido en función del tiempo desde la siembra. Estos modelos de regresión son significativos, con valores de F (radio entre cuadrado medio del tratamiento y cuadrado medio del error) significativos que fluctúan entre 516 y 477 para MS y N absorbido, respectivamente.



Para el cálculo de la función de regresión cuadrática se utilizó los 12 tratamientos en cada muestreo. En la figura sólo se representó el promedio de los 12 tratamientos.

**FIGURA 1.** Acumulación de materia seca y nitrógeno promediado de todos los tratamientos en el suelo Typic Haplustul.

Es posible que incrementos en el contenido de N mineral del suelo en los primeros 7 DCC, que alcanzaron cantidades acumuladas en los primeros 50 cm del suelo de hasta 163 kg N ha<sup>-1</sup> en el tratamiento sin fertilizar, y hasta 390 kg N ha<sup>-1</sup> en el tratamiento donde toda la urea y NA se aplicó a la siembra, lo que contribuyó a que no se visualizara el efecto de los tratamientos en este sitio. El incremento neto en el contenido de N fue de 48 y 254 kg N ha<sup>-1</sup> para el tratamiento sin fertilizar y el fertilizado (urea y NA aplicada toda a la siembra), respectivamente.

Aproximadamente 60% de la MS se acumuló en los primeros 60 DDC, con TA máximos de 440 kg ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> entre 35-45 d. Esta acumulación relativa, y TA son superiores a la acumulación relativa de 50% en el mismo período, y TA señaladas por Delgado (2002) para el mismo híbrido de maíz. Sin embargo, las TA de MS disminuyeron drásticamente luego de 45 d, y fueron inferiores a las observadas por Delgado (2002), lo cual podría estar asociado a déficit de humedad, o de N asociados al déficit de humedad, como se discutió anteriormente.

A los 75 DDS se acumuló, en promedio de todos los tratamientos (Figura 1B), el 100% del N total absorbido (174,1 kg ha<sup>-1</sup>), con acumulaciones parciales de 62 y 79% a los 45 y 60 d, respectivamente, coincidiendo con Delgado (2002), quien observó que 70% del N absorbido ocurrió en los primeros 45 d.

Las más elevadas tasas de absorción de N (3,3 y 3,6 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) fueron observadas en el período 15-30 y 30-45 d, y las más bajas en los períodos 0-15 (0,12 kg ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>), 45-60 (1,9 kg ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>), y 60-75 d (2,5 kg ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>) como se observa en la Figura 1B. Sin embargo, las TA de N, indicadas anteriormente, aún las más elevadas, son inferiores a las observadas por Delgado (2002), las cuales fluctuaron entre 3,0 y 8,5 kg ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>, lo cual podría estar asociado a los déficit de humedad detectadas mediante el ÍAD, como se indicó en el Cuadro 2, sugiriendo que déficit de humedad pudieron afectar la acumulación de N.

Por otra parte, debido a que los déficit de agua en el suelo en el período de floración y llenado de grano, etapas del crecimiento del cultivo sumamente sensibles a déficit hídricos (Waldren, 1983), los cuales se reflejaron por los bajos ÍAD que fluctuaron entre 0,03 y 0,26 entre los 55 y 67 d (Cuadro 2) pudieron afectar notablemente la producción de grano, y posiblemente las bajas tasas de absorción de N no se reflejaron en la producción de grano y de MS.

En relación con la respuesta del cultivo al tipo y época de aplicación del fertilizante, evaluado mediante análisis de contrastes de tratamientos agrupados por tipo y época de aplicación del mismo, debido a que no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos individuales, con las excepciones indicadas anteriormente, sólo se constataron diferencias significativas ( $P < 0,1$ ) en el N total absorbido por el cultivo entre los tratamientos urea y NA (102 y 120 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) a los 45 DDS (promedios a través de época de aplicación de N), asociado a una significativa ( $\alpha = 0,1$ ) más elevada TA del elemento en el período 35-45 d (4,6 kg ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>) en el tratamiento con NA en relación al tratamiento con urea (3,03 kg ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>).

Lo antes indicado concuerda con Touchton y Hargrove (1982), y Whitehead y Raistrick (1990) quienes encontraron que la eficiencia de recuperación de N del NA es mayor que la recuperación de N de la urea. Esta más elevada absorción de N entre los 35-45 d en el tratamiento con NA coincidió con una significativa ( $\alpha = 0,1$ ) más elevado contenido de N mineral acumulado en el perfil del suelo donde se aplicó NA al inicio del período 35-45 d.

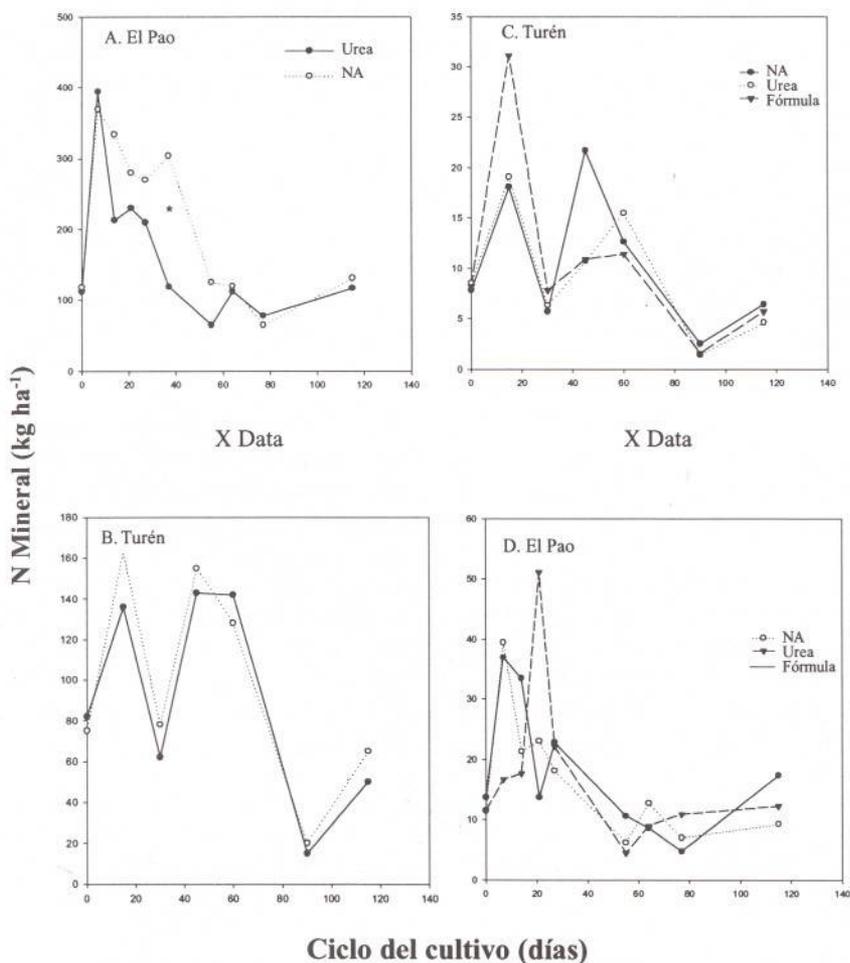
Aunque los contenidos de N mineral para los diferentes tipos de fertilizantes, promediados por época de aplicación, normalmente fueron más elevados con la aplicación de NA sólo fueron significativamente superiores que con la aplicación de urea en el período indicado.

En la Figura 2A se presentan los contenidos acumulados de N mineral para los tratamientos urea y NA promediados por épocas de aplicación en cada época de muestreo. Se realizó el análisis sólo para los tratamientos con urea, y NA porque el reabono en estos tratamientos fue utilizado con esas mismas fuentes, no así para el tratamiento con fórmula 10-26-26 donde el reabono se realizó con urea.

La volatilización de NH<sub>3</sub> en el tratamiento de aplicación de urea podría ser una vía de pérdida del N aún en El Pao donde el pH de la capa superficial es de 5,6 (Cuadro 1), como se sugiere de Whitehead y Raistrick (1990).

Un análisis de la dinámica del N mineral en el suelo, en los tratamientos donde toda la dosis del elemento se aplicó al momento de la siembra (Figuras 2 C, y 3 C) denotan que en El Pao el incremento en el N mineral en el tratamiento donde fue administrado la fórmula completa parece

ser inicialmente retardado en relación con los tratamientos de urea y NA, lo cual posiblemente refleja cambios en el pH del suelo y una posible inhibición de la actividad biológica, debido a la hidrólisis de la urea. Sin embargo, luego de los 21 d el comportamiento en la dinámica del N mineral es similar al observado para las otras fuentes de N evaluadas.



**FIGURA 2.** Contenido promedio de N mineral en el perfil del suelo para diferentes fuentes del elemento en el Pao y Turén.

La acumulación de MS y N, y respuesta a la aplicación de diferentes tipos y época de aplicación del elemento en el suelo Fluventic Haplustoll estuvo basada en la máxima producción de MS (100% del total producida), promedio de todos los tratamientos fertilizados, se observó a los 90 d (Figuras 3A y 3C). Las TA de MS durante el CC, fluctuaron entre 3,2 y 189,1 kg ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> con valores mínimos y máximos en los períodos 0-15 y 45-60 DDS (Figuras 3A y 3C).

Para N la máxima absorción de N, promedio de los tratamientos fertilizados, fue 72,9 kg ha<sup>-1</sup> a los 90 d (Figuras 3B y 3D), aunque el PA del elemento indica que entre el 72 y 89% del N fue absorbido a los 45 y 60 d, respectivamente (Figuras 3B y 3D). La tasa de absorción de N fluctuó, durante el CC, entre 0,1 y 1,8 kg ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> con mínimas y máximas en los períodos 0-15 y 15-30 DDS, respectivamente.

Aunque la mayor producción de MS y absorción de N durante el CC, generalmente se observó en los tratamientos donde se aplicó NA, diferencias entre algunos de los tratamientos fertilizados no fueron consistentes, y sólo fueron significativos ( $\alpha=0,1$ ) durante los primeros 60 DCC. En el Cuadro 3 se presenta la MS y N absorbido a los 45, 60 y 90 d donde la mayor proporción de estos ocurrió, y la producción de grano, donde se evidencia el efecto de los tratamientos.

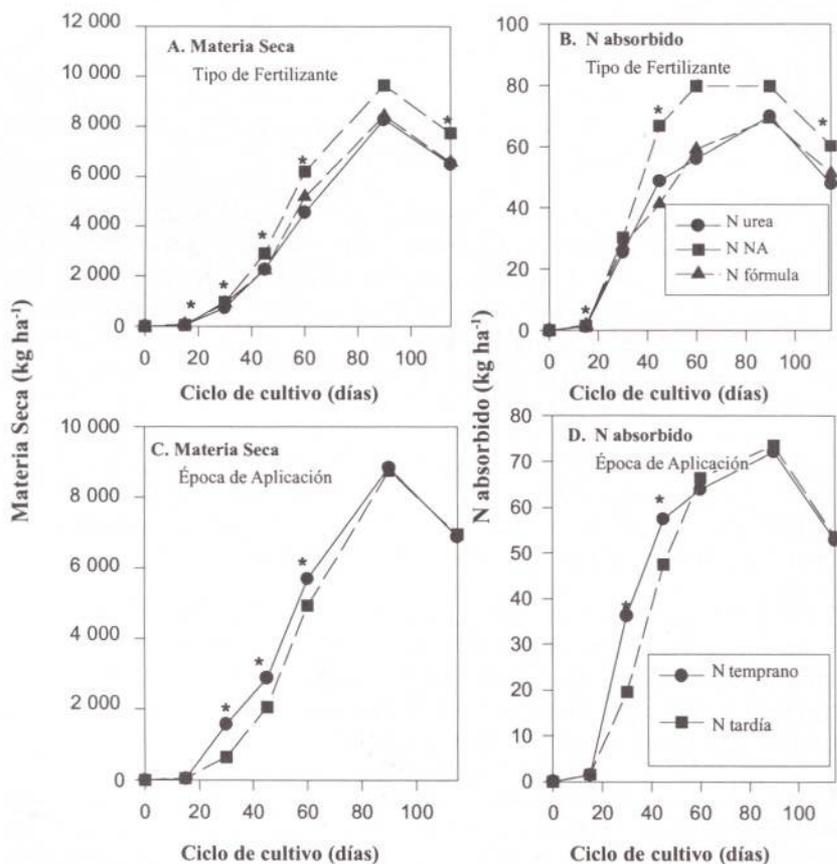
El tratamiento sin fertilizar normalmente presentó los valores más bajos de N absorbido durante el CC (Cuadro 3), aunque el mismo sólo fue significativamente ( $\alpha=0,1$ ) inferior a los tratamientos fertilizados con urea o fórmula en algunos de los períodos del CC.

En Turén la respuesta del cultivo a la fuente y época de aplicación del elemento, a diferencia de lo observado en El Pao, podría asociarse a la menor cantidad inicial del elemento disponible en el suelo, y de la mineralización de las formas orgánicas del mismo. El contenido de N mineral inicial estuvo en el orden de 82 kg N ha<sup>-1</sup> entre 0-40 cm.

El tratamiento en Turén con 0 kg N ha<sup>-1</sup>, el N mineral del suelo disminuyó desde 82 kg N ha<sup>-1</sup> hasta 45 kg N ha<sup>-1</sup> en los primeros 15 d, y hasta 47 kg N ha<sup>-1</sup> a los 30 d. Esta disminución está asociada en parte a la disminución del contenido de humedad, la cual varía en promedio entre 0-40 cm desde 24% hasta 19 y 16% a los 15, y 30 d, respectivamente.

La disminución de N (aproximadamente 37 kg N ha<sup>-1</sup>) a los 15 d no se ve compensado por la absorción de N por el cultivo sin fertilizar (0,4 y

4,0 kg N ha<sup>-1</sup> a los 15 y 30 d, respectivamente) lo que es inferior al N faltante. Esto sugiere que pudo ocurrir pérdidas del elemento por volatilización u otra vía, lo cual es probable en estos suelos de elevado pH. Así mismo, los bajos contenidos de humedad en el suelo pudieron afectar la actividad biológica, posiblemente la inmovilización y con ello la disminución del N mineral.



\* Diferencias significativas ( $P < 0,1$ ) en las mismas épocas de muestreo

**FIGURA 3.** Producción de materia seca y absorción de N para diferente tipo y época de aplicación del nutriente.

**CUADRO 3.** Acumulación de materia seca (MS), N total y producción de grano durante el ciclo del cultivo, para diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados y época de aplicación del reabono en Turén.

| Tratamiento  | Ciclo del cultivo (días) |         |             |         |             |         |   |
|--------------|--------------------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|---|
|              | 45                       |         | 60          |         | 90          |         | 120   |
|              | MS                       | N       | MS          | N       | MS          | N       | Rendimiento<br>Grano<br>kg ha <sup>-1</sup> |
| Urea_toda    | 2 462,6 ab               | 56,0 ab | 5 343,4 abc | 59,7 ab | 8 323,0 ab  | 66,7 ab | 1 829 abc                                   |
| Urea_15      | 2 844,0 a                | 57,2 a  | 4 059,1 bcd | 48,4 ab | 6 690,0 ab  | 52,2 ab | 1 490 c                                     |
| Urea_25      | 1 937,2 ab               | 35,9 ab | 5 791,4 abc | 68,4 ab | 10 172,0 ab | 87,9 ab | 1 972 abc                                   |
| Urea_35      | 1 798,3 ab               | 45,8 ab | 3 007,7 cd  | 47,8 ab | 7 940,0 ab  | 73,0 ab | 2 266 abc                                   |
| NA_toda      | 3 555,7 a                | 73,0 a  | 5 160,7 abc | 58,7 ab | 9 155,0 ab  | 69,8 ab | 2 326 abc                                   |
| NA_15        | 3 447,3 a                | 78,3 a  | 7 934,6 a   | 89,9 a  | 11 376,0 a  | 100,3 a | 3 202 a                                     |
| NA_25        | 2 552,3 a                | 65,5 a  | 6 024,8 ab  | 86,8 a  | 9 597,0 ab  | 72,1 ab | 2 808 abc                                   |
| NA_35        | 2 043,0 ab               | 50,5 ab | 5 649,0 abc | 83,5 a  | 8 443,0 ab  | 76,8 ab | 3 002 ab                                    |
| Fórmula_toda | 2 472,0 ab               | 42,7 ab | 6 440,1 ab  | 72,0 a  | 9 784,0 ab  | 90,8 a  | 2 601 abc                                   |
| Fórmula_15   | 2 498,4 a                | 37,1 ab | 5 167,0 abc | 53,6 ab | 7 646,0 ab  | 53,2 ab | 1 579 bc                                    |
| Fórmula_25   | 1 963,5 ab               | 40,3 ab | 4 686,6 bcd | 52,3 ab | 7 517,0 ab  | 56,2 ab | 2 071 abc                                   |
| Fórmula_35   | 2 019,3 ab               | 45,0 ab | 4 372,5 bcd | 58,8 ab | 8 764,0 ab  | 75,2 ab | 2 495 abc                                   |
| Sin_N        | 722,9 b                  | 10,3 b  | 2 176,4 d   | 27,5 b  | 4 797,0 b   | 38,7 b  | 1 554 bc                                    |

Urea\_toda, Urea\_15, Urea\_25 y Urea\_35 son tratamientos donde toda la dosis de N se aplicó, en la forma de urea, a la siembra, 2/3 de la dosis a la siembra y 1/3 a los 15 días, 2/3 de la dosis a la siembra y 1/3 a los 25 días y 2/3 de la dosis a la siembra y 1/3 a los 35 días, respectivamente.

Tratamientos con NA y Fórmula el N se aplicó como nitrato de amonio y fuente amoniacal de manera similar a la indicada para urea.

Sin\_N= Tratamiento sin fertilización con N.

Valores seguidos de letras similares, en la misma época de muestreo, son estadísticamente similares según Tukey ( $\alpha=0,1$ )

La disminución del N mineral en el período 15-30 d, es evidente en todos los tratamientos aún en los fertilizados con fraccionamiento del elemento y/o cuando toda la dosis de N se aplicó a la siembra, y en todos los casos el N absorbido por el cultivo y en ese período no explica el N faltante, sugiere que posiblemente parte del N se pierde del sistema. Debido a los bajos contenidos de humedad en el suelo, y elevado pH, la pérdida de N por volatilización parece ser una vía en esas pérdidas.

Las bajas tasas de absorción de N en Turén, independientemente del tipo de fertilizante y época de aplicación del reabono, comparadas con las observadas en El Pao, y a las indicadas por Delgado (2002), sugiere que las mismas pueden haber sido afectadas por otros factores como los contenidos de humedad del suelo en el período 0-45 d como se indicó anteriormente (Cuadro 2). El ÍAD alcanzó valores tan bajos como 0,16 (Cuadro 2).

Análisis de contrastes de producción de MS y N absorbido en los tratamientos agrupados por fuente de N reflejó que, durante la mayor parte del CC, la MS fue superior en el tratamiento NA en comparación con urea y fórmula completa, aunque las diferencias fueron significativas ( $P < 0,1$ ) a los 15, 45, 60, y 115 DDS en relación a urea, y a los 45, 60, y 115 días con relación a la fórmula (Figura 3A). Entre urea y fórmula sólo se observó diferencias significativas ( $P < 0,1$ ) durante los primeros 15 DCC. Similar a MS, el N absorbido fue normalmente más elevado en NA, aunque significativamente ( $P < 0,1$ ) superior a urea y fórmula luego de 45 d (Figura 3B).

Para la época de aplicación de N, normalmente la producción de MS en los tratamientos donde se aplicó todo el fertilizante temprano durante el CC (a la siembra o con reabono a los 15 días), fue significativamente ( $P < 0,1$ ) superior a la aplicación tardía del mismo (reabono a los 25 y 35 d) a los 30, 45, 60 d, como se indica en la Figura 3C. Para la absorción de N, el análisis de contrastes mostró diferencias significativas ( $P < 0,1$ ) entre aplicación temprana o tardía del elemento a los 30 y 45 DDS (Figura 3D).

La menor absorción de N ocurrió con la aplicación tardía del elemento (19,5 y 47,2 kg ha<sup>-1</sup>) en relación a la aplicación temprana (36,2 y 57,4 kg ha<sup>-1</sup>) a los 30 y 45 d, respectivamente, para cada caso. Es posible, además, que los contenidos de humedad del suelo durante las primeras etapas del CC pudieron permitir la absorción de N, contrario a lo que pudo ocurrir con la aplicación tardía del elemento la cual pudo

coincidir con períodos de baja disponibilidad de agua (Cuadro 2), donde el ÍAD alcanzó valores bajos de hasta 0,16.

En relación con el tipo de fertilizante se observó que los contenidos de N mineral en el suelo fueron ligeramente superior (promedio de las diferentes épocas de aplicación), cuando se aplicó NA durante los primeros 45 d (Figura 2B). Esto podría explicar en parte la mayor absorción del elemento en los tratamientos fertilizados con NA como se indicó anteriormente (Figura 2B), donde se observó que con NA hubo mayor acumulación de N por las plantas. Esto concuerda con lo observado por Fox *et al.* (1986), y Power *et al.* (1972) quienes encontraron mayor acumulación de N con NA que con urea.

Estos resultados concuerdan con Urquiaga (2000) quien encontró mayor eficiencia de uso de N con aplicación temprana de N en maíz, y por Reeves *et al.* (1993) que observaron mayor producción de MS cuando se colocó toda la dosis de N a la siembra, aunque indica que similar a este trabajo, no hubo diferencias en el N total absorbido. Sin embargo, lo encontrado en esta investigación es contrario a lo indicado por Fox *et al.* (1986), quien señaló que la producción de grano, N absorbido, y concentración de N en la hoja fue superior cuando se reabonó entre los 26-31 d en comparación a la aplicación del N a la siembra (1-14 d).

## CONCLUSIONES

- En los dos sitios evaluados, el NA es utilizado mejor que urea, y que la fuente amoniacal. En Turén, la aplicación temprana del fertilizante mejora la utilización del N fertilizante.
- En los dos sitios evaluados, déficit de humedad al inicio del CC afectó la absorción de N, y en El Pao el déficit de humedad en el período de floración y llenado de grano, la producción de MS.

## SUMMARY

Types of N sources, and time of N-fertilizer application could affect N use and yield production of maize, *Zea mays* L. In this experiment, maize response to application of 120 kg N ha<sup>-1</sup> applied as urea, ammonium nitrate (AN), and an ammonium source (10-26-26), and time of

application of the sidedress was evaluated in an Ultisol and in a Mollisol of Venezuela. Normally there were more dry matter production, and N uptake under NA. In the Mollisol, early application of the N dose (the whole N at sowing or side dressing at 15 days) allowed more N uptake by the crop than late application of the element (sidedressing at 25 and 35 days).

**Key Words:** N fertilizers; *Zea mays* L.; N sources; N split; dry matter; N uptake.

## BIBLIOGRAFÍA

ALVES, B. J. R., R. M. BODDEY and S. URQUIAGA. 1994. A rapid and sensitive flow injection technique for the analysis of ammonium in soil extracts. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24:277-284.

BREMNER, J. 1965. Inorganic forms of nitrogen. **In:** C. Black C, (ed.) *Methods of soil analysis. Part II.* ASA. Madison, WI. p. 1 179-1 237.

BREMNER, J. and C. S. MULVANEY. 1982. Nitrogen total. **In:** Page AL, Miller RH, Keeney DR, (ed.). *Methods of soil analysis. Part II.* ASA. Madison, WI. p. 595-624.

CARCOVA, J., G. A. MADDONNI and C. M. GHERSA. 1998. Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. *Field Crop Res.* 55:165-174.

DEBRECZENI, K. 2000. Response of two maize hybrids to different fertilizer-N forms ( $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{NO}_3\text{-N}$ ). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2 251-2 264.

DELGADO, R. 2002. Evaluación de crecimiento del maíz y absorción nitrógeno bajo diversas condiciones de disponibilidad del elemento en un Mollisol de Venezuela. *Agronomía Trop.* 52(1):5-28.

EWEL, J. J., A. MADRIZ y J. A. TOSI Jr. 1968. Zonas de vida de Venezuela: memoria explicativa sobre el mapa ecológico. 2<sup>da</sup> edición. MAC-FONAIAP. Caracas. Venezuela.

FAO. 1980. Maximizing the efficiency of fertilizer use by grain crops. *FAO Fertilizer Bulletin* 3. Rome, Italy. 29 p.

FOX, R. H., J. M. KERN and W. P. PIEKIELEK. 1986. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effects on no-till corn yields and nitrogen uptake. *Agron. J.* 78:741-746.

GONZÁLEZ, R., F. BLANCO y S. CABRERA. 1977. Efectos de N, P, y K en maizales del Edo. Portuguesa. II. Sur de Ospino. *Agron. Trop.* 27:25-34.

GONZÁLEZ, R. y A. VONASEK. 1974. fertilización con N, P, y K en campos de maíz del Valle medio del río Yaracuy. *Agron. Trop.* 24:365-390.

GRANT, R. F., B. S. JACKSON, J. R. KINIRY and G. F. ARKIN. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agron. J.* 81:61-65.

JOKELA, W. E. and G. W. RANDALL. 1989. Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. *Agron. J.* 81:720-726.

JOKELA, W. E. and G. W. RANDALL. 1997. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1695-1703.

MONELIK, G., R. B. RENEAU and D. C. MARTENS. 1994. Corn yield and nitrogen uptake as influenced by tillage and applied nitrogen. *J. Plant Nutr.* 17:911-913.

POWER, J. F., J. ALESI, G. A. REICHMAN and D. L. GRUNES. 1972. Effect of nitrogen source on corn and brome grass production, soil pH, and inorganic soil nitrogen. *Agron. J.* 64:341-344.

RANDALL, G. W., T. K. IRAGAVARAPU and B. R. BOCK. 1997. Nitrogen application methods and timing for corn after soybean in a ridge-tillage system. *J. Prod. Agric.* 10:300-307.

REEVES, D. W., C. W. WOOD and J. T. TOUCHTON. 1993. Timing nitrogen applications for corn in a winter legume conservation-tillage system. *Agron. J.* 85:98-106.

RITCHIE, J. T. 1981. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. *Plant and Soil.* 58:81-96.

SAS. 1998. SAS/STAT User's Guide., Version 7.0. Statistical analysis System Institute. Cary, NC., USA.

STECKER, J. A., D. D. BUCHHOLZ, R. G. HANSON, N. C. WOLLENHAUPT and K. A. McVAY. 1993. Broadcast nitrogen sources for no-till continuous corn and corn following soybean. *Agron. J.* 85:893-897.

TOUCHTON, J. T. and W. L. HARGROVE. 1982. Nitrogen source and methods of application for no-tillage corn production. *Agron. J.* 74:823-826.

URQUIAGA, S. 2000. Eficiencia de la fertilización nitrogenada en los principales cultivos anuales. **In:** Urquiaga S, Zapata F (ed.) Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. EMBRAPA, Agro biología, Porto Alegre, Brasil. p. 31-48.

WALDREN, R. P. 1983. Corn. P.187-211. In I.D. Teare and M.M. Pee MM (ed.) *Crop-water Relations*. John Wiley and Sons, New York, USA.

WHITEHEAD, D. C. and N. RAISTRICK. 1990. Ammonia volatilization from five nitrogen compounds used as fertilizers following surface application to soils. *J. Soil Sci.* 41:387-394.

## EFFECTO DEL TIEMPO TRANSCURRIDO ENTRE LA COSECHA Y EL DESGRANE DE LA MAZORCA DEL CACAO TIPO FORASTERO DE CUYAGUA SOBRE CARACTERÍSTICAS DEL GRANO EN FERMENTACIÓN<sup>1</sup>

Oneida Torres\*, Lucía Graziani de Fariñas\*,  
Ligia Ortiz de Bertorelli\* y América Trujillo\*\*

### RESUMEN

En el ensayo se evaluó el efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane de la mazorca sobre algunas características físicas y químicas del grano durante la fermentación del cacao, *Theobroma cacao* L. Para ello fueron cosechadas mazorcas maduras y sanas de cacao tipo forastero de la población de Cuyagua, estado Aragua. Un lote fue desgranado recién cosechado y el otro 5 días después y ambos fermentados en cajas de madera por 6 d. Durante la fermentación, la temperatura fue medida diariamente y el índice de fermentación (ÍF) a los 0, 3 y 6 d. En esos mismos días fueron realizados análisis de humedad, taninos, pH y acidez total (AT) titulable en la pulpa + testa y en el cotiledón del grano. Los resultados demostraron que al retardar el desgrane, la fermentación fue más rápida y se alcanzaron temperaturas más elevadas en la masa de cacao (MC) e ÍF superiores; así como menor contenido de taninos y pHs más elevados en la pulpa + testa y de acidez en el cotiledón. Igualmente, durante la fermentación se observó un incremento de la temperatura de la MC hasta el 3<sup>er</sup> d y un aumento progresivo del ÍF. Además, en la pulpa + testa el pH aumentó y disminuyeron la humedad, los taninos y la AT y en el cotiledón se incrementó la AT y se redujo el pH.

**Palabras Clave:** *Theobroma cacao* L.; características físicas; características químicas; grano fermentado.

---

<sup>1</sup> Trabajo financiado por FUNDACITE Aragua y FONACIT.

\* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Química y Tecnología e \*\*Instituto de Agronomía, respectivamente. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela. E-mail: ticoet@net-uno.net.

RECIBIDO: abril 11, 2003.

## INTRODUCCIÓN

En el beneficio del cacao, *Theobroma cacao* L., una de las etapas más importantes es la fermentación, etapa en la que ocurren las transformaciones bioquímicas en el grano que originan los compuestos precursores del aroma y sabor a chocolate. El almacenamiento de las mazorcas antes de la apertura y el desgrane así como el sistema de fermentación usado en el proceso son factores que influyen sobre la calidad del producto final (Barel, 1987; Dias y Ávila, 1993; Schwan *et al.*, 1990).

El retardo en el desgrane causa una fermentación acelerada, con incrementos más rápidos en la temperatura de la masa, la cual alcanza valores más altos a medida que aumenta el tiempo entre la cosecha y el desgrane del cacao (Barel, 1987), además promueve bajos niveles de ácido láctico, ácidos volátiles y ácidos totales libres (Dias y Ávila, 1993), así como también el incremento de los taninos en el cotiledón (Álvarez, 1997).

Algunos investigadores consideran que el sabor se mejora al almacenar los frutos de cacao por varios días antes de desgranarlos (Samah *et al.*, 1993). Barel (1987) también señala que al retrasar el desgrane la temperatura se eleva más rápidamente, se mejora la hidrólisis de la pulpa, se reduce la acidez del cacao y se logra una proporción del 60% de granos marrones, obteniéndose los mejores resultados después de un retardo de 6 d entre la cosecha y el desgrane. Sin embargo, Biehl *et al.* (1985) observaron que un ascenso lento de la temperatura es importante tanto para la descomposición de las proteínas como para el potencial del sabor, ya que se forma menor cantidad de ácido acético, el cual en concentraciones moderadas puede difundir lentamente dentro de los granos sin dar origen a una sobre acidificación, alcanzándose un mejor potencial del sabor.

En Aragua, el manejo post cosecha del cacao es muy variable, dependiendo de la zona y de la experiencia del productor y es práctica generalizada en las localidades de Cuyagua y Cumboto, cosechar de lunes a jueves para acumular un número apropiado de mazorcas y proceder a desgranar y fermentar los viernes, proceso que realizan por 5 o 7 d sin considerar el tiempo de almacenamiento de los frutos (Graziani *et al.*, 2002).

Por lo antes expuesto el objetivo de este estudio consistió en determinar el efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane, usado

por los productores de Cuyagua, sobre características físicas y químicas del grano de cacao tipo forastero durante el proceso fermentativo (PF), con el propósito de obtener información que permita la consecución de un producto de alta calidad, mediante la aplicación adecuada del proceso del cacao de la zona.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron poblaciones de cacao tipo forastero de la hacienda Cuyagua, municipio Costa de Oro del estado Aragua, zona con precipitaciones entre 467 y 988,7 mm anuales, temperatura media anual 25, 66 °C, evaporación alrededor de 900 mm y humedad relativa de 66% (Galviz, 1994).

Los frutos fueron cosechados al azar sanos y maduros, usando como criterio de madurez el señalado por González *et al.* (1999) y en la identificación de los árboles de cacao fueron utilizados algunos descriptores taxonómicos recomendados por Bekele *et al.* (1994).

Para el proceso, 120 mazorcas fueron divididas en dos lotes de 60 cada uno. El primer lote fue desgranado el día de la cosecha y el segundo 5 días después de recolectado. La masa de cacao (MC; semillas y pulpa) de cada lote fue colocada en forma equitativa en tres fermentadores (aproximadamente 2 kg en cada uno) de dimensiones 15x15x15cm, construidos con madera saqui-saqui, *bombacopsi guinata* (Jacq) Dugan, y varias perforaciones de 0,8 cm de diámetro en el fondo. La MC fue tapada con bolsas plásticas y removida con una paleta de madera a las 24 y 48 horas de iniciado el PF, cuya duración fue de 6 d.

El ensayo se realizó utilizando un diseño completamente aleatorizado con 3 observaciones y un arreglo factorial mixto 2x7, donde los factores a evaluar fueron el desgrane de la mazorca a dos niveles (0 y 5 días después de la cosecha; DDC) y los días de fermentación a 7 niveles (0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 d).

### Análisis físicos

La temperatura fue medida diariamente a 10cm de la superficie de la MC en 3 puntos (centro y alrededores), utilizando un termómetro calibrado de 0 a 100 °C con apreciación de  $\pm 0,1$  °C.

El índice de fermentación (ÍF) fue determinado de acuerdo con la norma N° 442 COVENIN (1995) a los 0, 3 y 6 d de transcurrido el PF y la clasificación de los granos fue realizada mediante el criterio utilizado por Tomlins *et al.* (1993), considerando como granos completamente fermentados aquellos que presentaron un agrietamiento pronunciado y color castaño en la radícula y parcialmente fermentados los granos con agrietamiento moderado y color crema o castaño de la radícula (Graziani *et al.* 2003). Un valor mayor o igual al 60% de granos completamente fermentados fue establecido como índice óptimo de fermentación (Barel, 1987).

### **Análisis químicos**

De la masa de cacao en fermentación fueron tomadas muestras del cotiledón y de la pulpa + testa a los 0, 2, 4 y 6 d del proceso para efectuar los siguientes análisis químicos según la AOAC (1997): Humedad, método N° 931.04; pH, método N° 970.21; acidez total titulable, método N° 942.15. Además fueron determinados los taninos usando el método Folin Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965).

Todos los análisis fueron realizados por triplicado y a los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza complementado con una comparación de medias por la prueba de rangos múltiples de Duncan, mediante el paquete estadístico SAS (1998) versión 6.12.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Características físicas**

El análisis de varianza de los resultados de la temperatura, reveló diferencias altamente significativas ( $P < 1\%$ ) en la interacción (TFxDD) entre el tiempo de fermentación (TF) y los días transcurridos entre la cosecha y el desgrane de la mazorca (DD). Igualmente, la prueba de comparación de medias de Duncan indicó diferencias, a un nivel de probabilidad del 5%, entre las temperaturas alcanzadas, a partir del 3<sup>er</sup> d del proceso, por las MC desgranado a los 0 y 5 DDC (Cuadro 1), presentando el cacao con retardo en el desgrane temperaturas más elevadas.

Por otra parte, se observó que la temperatura se incrementó hasta el 2<sup>do</sup> d del proceso en la MC desgranado al cosecharlo y hasta el 3<sup>er</sup> d en la del cacao desgranado al 5<sup>to</sup> d de la recolección, temperatura que poste-

riormente descendió en las dos muestras. Cuando el retraso del desgrane fue de 5 d, el descenso de la temperatura prosiguió hasta el final de la fermentación, en cambio en el cacao desgranado recién cosechado, la temperatura se mantuvo constante los 2 últimos días del proceso.

El aumento de esta variable es causado por el calor generado por las reacciones exotérmicas y la actividad microbiana que ocurren en el PF, proviniendo la mayor cantidad de calor de la oxidación del etanol a acetato y de la conversión del acetato a CO<sub>2</sub> y agua (Cros y Jeanjean, 1995; Samah *et al.*, 1993; Senanayake *et al.*, 1995), mientras que el descenso es ocasionado por la inactivación de la microflora predominante al alcanzar la temperatura valores cercanos a 40 °C (Senanayake *et al.*, 1995).

En cuanto al mayor incremento y a la temperatura más elevada de la MC, obtenidos al desgranar las mazorcas 5 DDC, podrían ser atribuidos a una prefermentación de las mazorcas durante el almacenamiento, como lo suscita la presencia de granos marrones en dicho cacao antes de fermentarlo. Rohan (1964) y Barel (1987) también observaron que la demora en el desgrane de la mazorca, origina aumentos más bruscos y temperaturas más altas en la fermentación del cacao, en cambio Álvarez (1997) detectó temperaturas mayores (40,9 °C) en el 2<sup>do</sup> d de la fermentación del cacao tipo criollo desgranado recién cosechado.

**CUADRO 1.** Temperatura durante la fermentación de la masa de cacao desgranado a los 0 y 5 días de la cosecha.

| Día de fermentación | Día del desgrane |        |
|---------------------|------------------|--------|
|                     | 0                | 5      |
| 0                   | 29,0 a           | 29,0 a |
| 1                   | 34,0 a           | 33,7 a |
| 2                   | 37,7 a           | 38,0 a |
| 3                   | 37,3 b           | 43,3 a |
| 4                   | 34,3 b           | 39,0 a |
| 5                   | 29,3 b           | 35,0 a |
| 6                   | 29,3 b           | 31,3 a |

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

Los máximos de temperatura obtenidos fueron inferiores al rango 44-47 °C considerado como satisfactorio para la fermentación (Braudeau, 1970) y a los 45 °C encontrados por Barel (1987) a las 48 horas en cacao forastero de Costa de Marfil, desgranado a los 6 DDC, diferencias debidas probablemente al menor volumen de MC usado en esta investigación. Sin embargo, la temperatura más alta del cacao con 5 d de retardo en el desgrane se aproxima a las máximas señaladas (41-44,6 °C) por Senanayake *et al.* (1995) para cacao trinitario y forastero de Sri Lanka desgranado 24 horas después de la recolección y fermentado en pequeña escala.

En el ÍF se notó que el porcentaje de granos fermentados se incrementó a medida que transcurrió el PF, alcanzándose un mayor valor cuando el desgrane del cacao se realizó a los 5 DDC (Cuadro 2), lo que podría imputarse a la temperatura más alta alcanzada en la MC, ya que la elevación de esta variable en la fermentación está correlacionada con la velocidad de la muerte de las semillas, la cual es indispensable para que se produzcan las reacciones bioquímicas en el interior del grano que causan el oscurecimiento del cotiledón (Rohan, 1964; Braudeau, 1970).

Además, el cacao desgranado después de 5 d de almacenamiento, presentó granos color pardo al inicio del PF con un ÍF de 5,02%, granos que no se encontraron en el cacao desgranado al cosecharlo, lo cual sugirió que al almacenar las mazorcas posiblemente ocurrió un cierto grado de prefermentación.

**CUADRO 2.** Índice de fermentación durante el proceso fermentativo del cacao desgranado a los 0 y 5 días de la cosecha.

| Día del desgrane | Día fermentación | % índice de fermentación |
|------------------|------------------|--------------------------|
| 0                | 0                | 0                        |
|                  | 2                | 64,25                    |
|                  | 6                | 81,55                    |
| 5                | 0                | 5,02                     |
|                  | 2                | 73,32                    |
|                  | 6                | 88,51                    |

Barel (1987) y Álvarez (1997) también encontraron que el porcentaje de granos fermentados aumenta con el TF, tanto en las muestras almacenadas previamente al desgrane como en las que no se almacenaron, siendo mayor el incremento en las primeras. Igualmente, Dias y Ávila (1993) notaron una fermentación mas acelerada en el cacao con 5 d de retardo en el desgrane. Por su parte, Senanayake *et al.* (1995) observaron que el ÍF se incrementó progresivamente hasta el 6<sup>o</sup> d y luego descendió debido a una sobre fermentación en la cual los granos toman un color negro o pardo oscuro (Rohan, 1964).

Adicionalmente, se notó que el ÍF aumentó en mayor proporción durante los dos primeros días del PF, superando el 60%, lo cual podría ser atribuido a que entre el 2<sup>do</sup> y 4<sup>to</sup> d ocurren las principales modificaciones del color, por la inversión de la relación antocianinas monómeros/polímeros amarillos o pardos (Cros *et al.*, 1982). Al 6<sup>o</sup> d del PF, los ÍF superaron el 80% en ambas muestras, presentando el cacao con 5 d de retardo un valor de 88,51%, el cual se aproxima a los resultados (84- 94%) hallados por Senanayake *et al.* (1995) en el 6<sup>o</sup> d de la fermentación del cacao forastero y es inferior al obtenido (92,67%) por Álvarez (1997) al fermentar por 5 d el cacao tipo criollo de Cuyagua desgranado 5 DDC.

Es importante destacar que a medida que se incrementa el tiempo entre la cosecha y el desgrane aumenta la posibilidad de una sobre fermentación, por lo cual se debe reducir el TF cuando la proporción de mazorcas desgranadas tardíamente sea alta.

### **Características químicas**

En los valores correspondientes a los componentes químicos de la pulpa + testa, el análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas ( $P < 1\%$ ) para la interacción TFXDD en el pH y taninos; diferencias significativas ( $P < 5\%$ ) en la humedad y no significativas en la acidez, en tanto que en el cotiledón la interacción fue altamente significativa para la humedad, acidez y taninos y no significativa para el pH.

En la humedad de la pulpa + testa, la prueba de Duncan no mostró diferencias entre los cacaos desgranados los 0 y 5 d. Durante el proceso se notó un descenso en ambas muestras, con una pérdida de agua de 7,71% en la primera y de 14,71% en la segunda (Cuadro 3), en cambio en el cotiledón el comportamiento de este componente fue variable. En el cacao desgranado a los 0 d, la humedad disminuyó 15,52% al final del

secado y en el desgranado a los 5 d incrementó 8,09%, difiriendo entre las muestras a un nivel de probabilidad del 5%. En esta fracción, la humedad del cacao desgranado con un retraso de 5 d fue menor desde el inicio de la fermentación, igualándose estadísticamente los valores a los de las muestras sin retardo en el desgrane a los 6 d del proceso.

En la fermentación del cacao, la pulpa es descompuesta por acción microbiana, lo que ocasiona ruptura de las células y desprendimiento de jugos (Braudeau, 1970). Al ser eliminada parte del agua en el exudado, se establece un equilibrio osmótico entre la pulpa y los cotiledones con difusión de los productos de la fermentación hacia el cotiledón a través de la testa (Rohan, 1964), lo que causa una disminución de la humedad en la pulpa y un aumento en el cotiledón. Sin embargo, varios investigadores (Álvarez, 1997; Graziani *et al.*, 2003) han detectado un descenso de la humedad del cotiledón en esta etapa del beneficio del cacao almacenado antes del desgrane, lo cual fue observado en este estudio sólo en el cacao que fue desgranado al cosecharlo.

**CUADRO 3.** Humedad y taninos durante la fermentación del cacao desgranado a los 0 y 5 días de la cosecha.

| Fracción grano | Día ferm. | % Humedad        |         | % Taninos (bs)   |        |
|----------------|-----------|------------------|---------|------------------|--------|
|                |           | Día del desgrane |         | Día del desgrane |        |
|                |           | 0                | 5       | 0                | 5      |
| Pulpa + testa  | 0         | 62,16 a          | 62,89 a | 1,70 a           | 1,52 a |
|                | 2         | 60,40 a          | 60,48 a | 0,91 b           | 1,20 a |
|                | 4         | 59,04 a          | 55,52 a | 1,75 a           | 0,76 b |
|                | 6         | 57,37 a          | 53,64 a | 1,51 a           | 1,05 b |
| Cotiledón      | 0         | 26,61 a          | 22,38 b | 1,47 a           | 0,92 b |
|                | 2         | 25,83 a          | 20,57 b | 1,18 a           | 1,07 b |
|                | 4         | 21,56 b          | 26,22 a | 0,96 b           | 1,28 a |
|                | 6         | 22,48 a          | 24,19 a | 0,94 b           | 1,39 a |

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

En relación con los taninos, la prueba de medias reveló diferencias significativas ( $P < 5\%$ ) entre los valores correspondientes tanto a la pulpa + testa como al cotiledón de las dos muestras de cacao (Cuadro 3), presentando el cacao almacenado antes del desgrane menor contenido de estos compuestos en la pulpa + testa y mayor en el cotiledón al 4<sup>to</sup> y 6<sup>o</sup> d del PF.

En el PF, los taninos se redujeron un 11,18% en la pulpa + testa de los granos sin retardo en el desgrane, notándose un comportamiento oscilante durante la fermentación, mientras que en los granos con 5 d de retraso, los taninos presentaron un comportamiento más uniforme, con una reducción del 30,92%. En el cotiledón, la tendencia fue distinta entre las muestras. En el cacao desgranado el mismo día de la cosecha disminuyeron 36,05% y en el desgranado a los 5 DDC aumentaron 51,09%, tendencias que pudiesen estar ligadas con la relación que se establece entre la velocidad de pérdida de taninos en el cotiledón y la velocidad de difusión de dichos compuestos de la cutícula hacia el cotiledón (Braudeau, 1970).

El retardo en el desgrane de la mazorca promovió la reducción de los taninos en la fracción pulpa + testa, en tanto que en el cotiledón ocurrió lo contrario, incrementándose el contenido en la fermentación, resultados distintos a los obtenidos por Graziani *et al.* (2003) quienes observaron un descenso en ambas fracciones y por Álvarez (1997) al encontrar un aumento en la pulpa + testa y un descenso en el cotiledón.

La reducción de los taninos es también ocasionada por las reacciones de polimerización oxidativa y oscurecimiento que se producen en el PF (Cros y Jeanjean, 1995), las cuales son afectadas por el retardo en el desgrane (Barel, 1987), siendo el grado de fermentación función de la concentración de los productos de condensación de los flavonoides, los cuales son los responsables del color pardo o marrón que se desarrolla en el grano (Schwan *et al.*, 1990).

Para el pH de la pulpa + testa, la prueba de medias señaló diferencias a un nivel de probabilidad del 5% entre las muestras (Cuadro 4), presentando el cacao desgranado a los 5 días valores más altos a partir del 2<sup>do</sup> d, con un pH mayor a 7 al final del PF. Además, en ambas muestras se observó un descenso a los 2 d de iniciado el PF, seguido de un incremento con el transcurso de la fermentación, de 32,85% en el cacao desgranado el día 0 y 69,05% en el 6<sup>o</sup> d. Es importante destacar que el pH final superior a 7 se debe a la formación de nitrógeno amoniacal producto de una fermentación butírica (Cros y Jeanjean, 1995).

**CUADRO 4.** pH y acidez total titulable durante la fermentación del cacao desgranado a los 0 y 5 días de la cosecha.

| Fracción      | Día ferm. | pH               |        | % Acidez total titulable (bs) |        |
|---------------|-----------|------------------|--------|-------------------------------|--------|
|               |           | Día del desgrane |        | Día del desgrane              |        |
|               |           | 0                | 5      | 0                             | 5      |
| Pulpa + testa | 0         | 4,14 a           | 4,20 a | 1,35 a                        | 0,96 a |
|               | 2         | 3,34 b           | 4,01 a | 3,75 a                        | 3,68 a |
|               | 4         | 4,52 b           | 5,71 a | 1,38 a                        | 0,91 a |
|               | 6         | 5,50 b           | 7,10 a | 0,88 a                        | 0,45 a |
| Cotiledón     | 0         | 6,25 a           | 6,31 a | 0,55 a                        | 0,28 b |
|               | 2         | 4,88 a           | 5,09 a | 0,89 a                        | 0,86 a |
|               | 4         | 5,43 a           | 5,29 a | 0,76 b                        | 1,85 a |
|               | 6         | 5,85 a           | 5,46 a | 0,59 b                        | 1,39 a |

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

La elevación del pH en la pulpa + testa durante el PF es atribuida a la desasimilación del ácido cítrico por las levaduras y las bacterias lácticas y su sustitución por los ácidos láctico y acético menos disociados (Rohan, 1964; Dougan, 1981), así como a la formación de amoníaco producto de la desaminación de las proteínas (Cros y Jeanjean, 1995). Biehl *et al.* (1985) señalan que el aumento del pH, causado por la reducción de ácidos orgánicos o por algún tipo de neutralización, generalmente ocurre cuando se desarrollan las bacterias aerofílicas al finalizar el metabolismo de los organismos acidofílicos, indicando el incremento continuo del pH una sobre fermentación, por lo tanto, el pH obtenido al retardar el desgrane sugiere reducir la duración del PF para evitar este defecto.

En el cotiledón, el pH no difirió entre las muestras de cacao y mostró un descenso en el 2<sup>do</sup> d del PF y un aumento posterior (Cuadro 3), siendo el pH final inferior al inicial, por lo que el efecto neto fue un descenso de esta variable, con una reducción de 6,40% para el cacao sin retraso en el desgrane y de 13,47% para el cacao con 5 d de retraso.

Las variaciones observadas en el pH de la pulpa + testa y del cotiledón coinciden con las detectadas por Senanayake *et al.* (1995). Sin embargo, los valores del pH de las 2 fracciones fueron superiores a los obtenidos por dichos investigadores en la pulpa (5,10-5,32) y en el cotiledón (5,21-5,30) al 7<sup>mo</sup> d de la fermentación del cacao y en el 5<sup>to</sup> d por Álvarez (1997) en la pulpa + testa (4,81 y 5,87) y en el cotiledón (5,67 y 4,98) de los cacaos con y sin retardo en el desgrane, respectivamente, diferencias que podrían ser ocasionadas por el uso de materiales distintos a los de este estudio.

La acidez en la fracción pulpa + testa no se diferenció entre las 2 muestras, como lo indicó la prueba de Duncan y el porcentaje se incrementó en el 2<sup>do</sup> d para luego descender con el transcurso de la fermentación (Cuadro 4); en cambio en el cotiledón los valores variaron entre las muestras a un nivel de significación del 5%, correspondiendo la mayor acidez al final del proceso, al cacao desgranado 5 DDC.

En este cacao la concentración de ácidos aumentó hasta el 4<sup>to</sup> d y descendió levemente en el 6<sup>to</sup> d, mientras que en el desgranado al recolectarlo, el comportamiento de estos compuestos fue igual al de la pulpa + testa, aumentó en el 2<sup>do</sup> d y luego descendió, lo que indicó que el retraso en el desgrane favoreció el incremento en el cotiledón; tendencias similares a las observadas por Schwan *et al.* (1990) y Álvarez (1997).

La disminución de la acidez en la pulpa y la elevación en el cotiledón ha sido atribuida a la absorción de los ácidos producidos por la degradación microbiana de la pulpa, los cuales son difundidos hacia el cotiledón, provocando reacciones de hidrólisis y oxidación de pigmentos (Schwan *et al.*, 1990). La combinación del calor con la acidez en el cotiledón causa la muerte del embrión y una lisis parcial de las paredes celulares, lo que permite a las enzimas entrar en contacto con sus respectivos sustratos, produciendo distintas reacciones bioquímicas (Cros y Jeanjean, 1995).

Durante la fermentación, los principales ácidos producidos son el acético y el láctico (Samah *et al.*, 1993), los cuales se incrementan en el cotiledón, en tanto que en la pulpa los niveles de ácido láctico muestran una leve tendencia a disminuir después de un incremento inicial, mientras que los del acético varían muy poco, lo que revela que la acetificación del alcohol ocurre a mayor velocidad que la oxidación del ácido (Dougan, 1981).

Una fuerte acidificación acompañada de rápidos incrementos de temperatura en la pulpa estimula la fermentación, la destrucción de la estructura subcelular del cotiledón y la liberación proteolítica de los aminoácidos, pero el potencial del sabor es obviamente reducido por la alta acidez. Este efecto adverso, del ácido acético sobre el sabor, también ha sido detectado en el procesamiento (Biehl *et al.*, 1985). Además, se ha observado que la descomposición de las proteínas y el potencial del sabor se benefician cuando la elevación de la temperatura es lenta, ya que se forma menor cantidad de ácido acético, el cual difunde moderadamente en el cotiledón sin riesgo de una sobre acidificación (Biehl *et al.*, 1985), por lo tanto no es conveniente retardar el desgrane por mucho tiempo.

En conclusión, el retardo en el desgrane afectó las características físicas durante el PF, ocasionando aumentos más bruscos y mayores temperaturas de la MC, así como una fermentación más acelerada e IF superiores. Igualmente, influyó sobre las características químicas, obteniéndose menor contenido de taninos y un pH más elevado en la pulpa + testa y un contenido más alto de taninos y acidez total en el cotiledón. Además, se observó que a medida que se incrementa el tiempo entre la cosecha y el desgrane aumenta la posibilidad de una sobre fermentación, por lo cual es conveniente reducir el TF cuando la proporción de mazorcas desgranadas tardíamente sea alta.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la técnico Boni Escorche, señores Rafael Osorio, Venancio Martínez y Alicia Galíndez la colaboración prestada.

## SUMMARY

This study was carried out to evaluate the effect of the time period, elapsed between harvesting and shelling of cocoa, *Theobroma cacao* L., bean, on some physicals and chemicals characteristics during fermentation. For this purpose, ripe and healthy cocoa beans, of forastero type, were harvested in the area of Cuyagua, Aragua State: a first lot was shelled just after the beans were harvested, and another lot of beans were shelled 5 days after they were harvested. Both lots were fermented in wood boxes for 6 days. Temperature was measured in a daily base, and the fermentation index at 0, 3 and 6 days during fermentation.

Analyses of moisture, tannins, pH and total titratable acidity in pulp + testa and cotyledon there were also measured. The results showed that, by delaying cocoa bean shelling, the fermentation process was developed more rapidly, and higher temperatures for cocoa mass as well as superior fermentation indexes were reached. Also, by delaying the shelling, low tannin contents, higher pHs in pulp + testa, as well as an increase in acidity in the cotyledon were observed. During the fermentation process the temperature of the cocoa mass was increased until the third day, and there was a progressive increase of the fermentation index. There was an increase in pH level as well as a reduction of moisture, tannins and total acidity in pulp + testa. Total acidity increased, and levels of pH decreased in cotyledon.

**Key Words:** *Theobroma cacao* L.; physical characteristics; chemical characteristics; fermented grain.

## BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, Y. 1997. Efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane sobre algunas características del cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) selección Ocumare 61, durante el proceso de fermentación utilizando el sistema trinitario. Trabajo de grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 149 p.

ASSOCIATION OF THE ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC. 1997. Official methods of analysis. 16<sup>th</sup> Edition. Gaithersburg, Maryland, USA. Cap. 31. pp1-17.

BAREL, H. 1987. Délai d'écabossage. Influence sur les rendements et la qualité du cacao marchand et du cacao torréfié. *Café Cacao Thé*. 31(2):141-150.

BEKELE, F, A. KENNEDY, C. MCDAVID, F. LAUCKNER and I. BEKELE. 1994. Numerical taxonomic studies on cacao (*Theobroma cacao* L.) in Trinidad. *Euphytica* 75(39):231-240.

BIEHL, B., E. BRUNNER, D. PASSERN, V. QUESNEL and D. ADOMAKO. 1985. Acidification, proteolysis and flavour potential in fermenting cocoa beans. *J. Sci. Food Agric.* 36:583-598.

BRAUDEAU, J. 1970. El cacao. Primera edición. Editorial Blume. Barcelona, España. 292 p.

COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. COVENIN. 1995. Norma venezolana N° 442. Prueba de corte. Ministerio de Fomento. Caracas. Venezuela. 2p.

CROS, E., M., ROULY, F. VILLENEUVE et J. VICENT. 1982. Recherche d'un indice de fermentation du cacao. II. Estimation de la matière colorante rouge des fèves de cacao. *Café Cacao The*. 26(2):115-122.

CROS, E. and N. JEANJEAN. 1995. Cocoa quality: effect of fermentation and drying. *Plantations, recherche, développement*. 24:25-27.

DIAS, J. and M. ÁVILA. 1993. Influência do sistema de secagem na acidez das amêndoas do cacau (*Theobroma cacao* L.). *Agrotrópica* 5(1):19-24.

DOUGAN, J. 1981. Methods for monitoring degree of aeration and the production and dissimilation of alcohol, acetic and lactic acids during cocoa fermentation. **In:** 8<sup>th</sup> International Cocoa Research Conference. Cartagena, Colombia. Octubre, 1981. p. 814-816.

GALVIZ, I. 1994. Estudios de los aspectos sociales, económicos, técnicos y agropecuarios de los pequeños productores de Cuyagua, Edo. Aragua. Trabajo de grado. Maracay, Ven. Universidad Central. Facultad de Agronomía. 67 p.

GONZÁLEZ, F., L. ORTIZ de BERTORELLI, L. GRAZIANI de FARIÑAS y E. MONTEVERDE-PENSO. 1999. Influencia del índice de cosecha de la mazorca sobre algunas características de la grasa de dos cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) *Rev. Fac. Agron. (UCV)* 25(2):159-171.

GRAZIANI de FARIÑAS, L., L. ORTIZ de BERTORELLI y P. PARRA. 2002. Informe final del proyecto "Características físicas, químicas y estudio del manejo post cosecha de cultivares de cacao existentes en la zona cacaotera de Cumboto, Edo. Aragua". FUNDACITE Aragua. 196 p.

GRAZIANI de FARIÑAS, L., L. ORTIZ de BERTORELLI, N. ÁLVAREZ y A. TRUJILLO. 2003. Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera. *Agronomía Trop*. 53(2):175-187.

ROHAN, T. 1964, El beneficio del cacao bruto destinado al mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 223 p.

SAMAH, O. A., N. IBRAHIM, H. ALIMON and M. ABDUL KARIM. 1993. Fermentation studies of stored cocoa beans. *World J. Microbiol. Biotechn.* 9:603 -604.

SENANAYAKE, M., E. JANSZ and K. BUCKLE. 1995. Effect of variety and location on optimum fermentation requirements of cocoa beans: An aid to fermentation on cottage scale. *J. Sci. Food Agric.* 6:461-465.

SCHWAN, R., A. LÓPEZ, D. SILVA et M. VANETTI. 1990. Influencia de frequência e intervalos de revolvimentos sobre a fermentação e qualidade do chocolate. *Agrotropica* 2(1):22-31.

SINGLETON, V. and J. ROSSI. 1965. Determination of tannins in wines. *J. Enology and Viticulture.* 6(3):114.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS. SAS. 1998. SAS/STAT User's Guide. Release 6.132 edition. SAS Institute Inc. Cary, NC., USA. 1028 p.

TOMLINS, K., D. BAKER, P. DAPLIN and D. ADOMAKO. 1993. Effect of fermentation and drying practices in the chemical and physical profiles of Ghana cocoa. *Food Chem.* 46:257-263.

## ÍNDICE DE AUTORES

ACENTRO, M.  
54(2)213-242

ALBANY, N. R.  
54(1)43-73

ÁLVAREZ, R.  
54(2)213-242

AVILAN, I.  
54(2)175-201

BADIERA, O.  
54(2)131-142

BENITEZ, J.  
54(2)131-142

BUSTAMANTE, S.  
54(1)29-49

BUSTAMANTE, W.  
54(1)29-49

CARRERA, J. ISIDORO  
54(2)213-242

CARRERO, J.  
54(1)29-49

CARRERA, J.  
54(1)29-49

CARRERA, J.  
54(1)29-49

CARRERA, J.  
54(1)29-49

CARRERA, J.  
54(1)29-49

CASTRO, D. M.  
54(4)403-431

CASTRO, G. W.  
54(2)213-242

CASTRO, G.  
54(1)29-49

CEROVICH, M.  
54(2)131-142

CERON, C.  
54(2)131-142

## AGRONOMÍA TROPICAL Volumen 54

## ÍNDICE ACUMULATIVO

## ÍNDICE DE AUTORES

ACEVEDO, M.  
54(2):233-242

ALBANY, N. R.  
54(1):63-73

ÁLVAREZ, R.  
54(2):233-242

AVILÁN, L.  
54(2):179-201

BAUTISTA, D.  
54(3):331-342

BENITEZ, D.  
54(1):5-16

BERTOIA ESTANGA, E.  
54(1):5-16

BUSTAMANTE, J. W.  
54(1):75-91

CABRERA de BISBAL, E.  
54(4):433-459; 461-479

CAMACHO, F.  
54(4):93-120

CAMACHO, G.  
54(1):31-43

CAMACHO, R.  
54(4):433-459

CARRIZO, P.  
54(1):5-16

CASANOVA, A.  
54(1):75-91

CASTRILLO, M.  
54(4):411-431

CASTRILLO, W.  
54(2):233-242

CASTRO, C.  
54(1):63-73

CEROVICH, M.  
54():

CONTRERAS, C.  
54(4):45-62

DE ASCENCAO, A.  
54(1):45-62

DeLEÓN, N.  
54(1):93-120

DELGADO, N.  
54(2):233-242

DELGADO, R.  
54(4):371-389; 461-480

D'ORAZIO, V.  
54(2):133-144

FAZIO, S.  
54(3):293-308

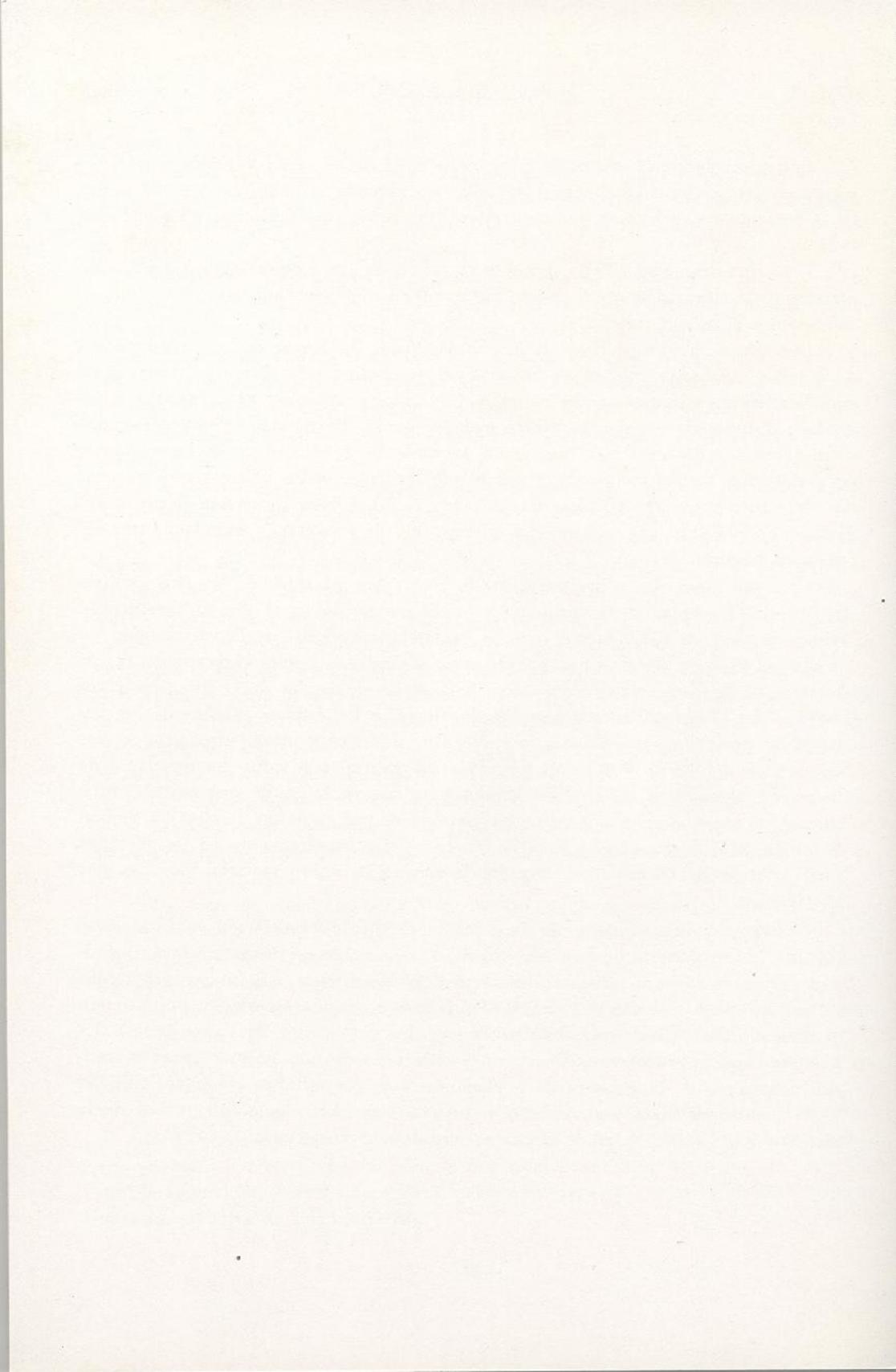
FIGUEROA, R.  
54(1):17-30

FLORENTINO, A.  
54(4):391-409

GADEA, J. G.  
54(1):63-73

- GALLARDO, J.  
54(4):391-409
- GARCÍA, D.  
54(4):411-431
- GARCÍA, L.  
54(2):145-159
- GARCÍA, R.  
54(4):391-409
- GÓMEZ, A.  
54(1):45-62
- GÓMEZ, O.  
54(3):257-275
- GRAZIANI de FARIÑAS, L.  
54(2):219-232  
54(4):481-495
- HENRÍQUE, A.  
53(2):145-156
- LABOREM, G.  
53(3):347-365
- LAURENTÍN, H.  
53(3):259-273
- LAYA, D.  
53(3):275-294
- LAYRISSE, A.  
53(3):275-294
- LÓPEZ, A.  
54(1):17-30
- LOZADA GARCÍA, B. I.  
54(3):309-320
- MEZA, N.  
54(3):331-342
- MIRANDA, F.  
54(1):17-30
- MORENO, O.  
54(2):233-242
- MOTA, V.  
54(2):145-159
- NAVAS, M.  
54(2): 233-242
- NÚÑEZ V., M.  
54(4): 371-389
- ORTIZ DOMÍNGUEZ, A.  
54(3): 257-273
- PARRA, P.  
54(2):219-232
- PÉREZ de AZKUE, M.  
54(4):359-370
- PETZALL, C.  
54(4):411-431  
54(3):293-308; 321-330
- PLA-SENTIS, I.  
54(4):433-459
- PRELA, A.  
54(3):309-320
- PAOLINI, J.  
54(2):161-178
- ORTIZ de BERTORELLI, L.  
54(1):31-43  
54(2):219-232  
54(4):481-495

- |   |   |
|---|---|
| RAMÍREZ, R.<br>54(1):93-120               | SENESI, N.<br>54(2):133-144                     |
| RAMÍREZ-VILLALOBO, M.<br>54(2):203-218    | SENTELHAS, P. C.<br>54(3):309-320               |
| RAMIS, C.<br>54(3):257-273                | SILVA, D.<br>54(3):275-291                      |
| RAMOS, G.<br>54(1):45-62                  | SOTO, E.<br>54(2):179-201<br>54(4):359-370      |
| REYES, E.<br>54(2):233-242                | TORREALBA, D.<br>54(3):293-308                  |
| RIVERO, C.<br>54(2):133-144               | TORREALBA, G.<br>54(2):233-242                  |
| ROA, S. E.<br>54(1): 75-91                | TORRES, O.<br>54(2):233-242                     |
| RODRÍGUEZ, M.<br>54(2):179-201            | URDANETA-FERNÁNDEZ, A.<br>54(2):203-218         |
| RODRÍGUEZ, M. F.<br>54(4):391-409         | VARGAS-SIMÓN, G.<br>54(2):203-218               |
| ROSO, L.<br>54(1):75-91                   | VELÁSQUEZ, L.<br>54(4):371-389<br>54(4):461-479 |
| RUIZ, J.<br>54(1):93-120<br>54(2):179-201 | VILCHEZ, J.<br>54(1): 63-73                     |
| RUIZ, M.<br>54(2):161-178                 | VILLAFAÑE, R.<br>54(1):93-120                   |
| SALAZAR, M.<br>54(2):233-242              | VILORIA, Z.<br>54(1):63-73                      |
| SÁNCHEZ, L.<br>54(1):93-120               |   |



ÍNDICE DE TÍTULOS

Acumulación de materia seca, absorción de nitrógeno, fósforo y potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la fertilización nitrogenada.

54(4):371-389

Acumulación y lavado de sales en columnas de suelo regadas con agua salina procedente de un pozo petrolero.

54(1):93-120

Caracteres morfológicos determinantes en dos poblaciones de cacao criollo del occidente de Venezuela.

54(1):45-62

Caracterización bioquímica de poblaciones del complejo de maleza arroz rojo en Venezuela.

54(3):257-273

Comportamiento y características de algunos cultivares promisorios de mango.

54(2):179-201

Efecto de remojo y escarificación sobre la germinación de semillas y emergencia de plántulas en guanábana.

54(3):331-342

Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao.

54(1):31-43

Efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane de la mazorca del cacao tipo forastero de Cuyagua, sobre características del grano en fermentación.

54(4):481-495

El cultivo y el agua de riego sobre el carbono de la biomasa microbiana.

54(2):161-178

El modelo SWAT en una cuenca pequeña de altas pendientes: Simulación de la producción de agua.

54(3):275-291

Efectos de épocas de aplicación y tipo de fertilizante nitrogenado sobre el patrón de acumulación de materia seca y nitrógeno de maíz en un Ultisol y un Mollisol de Venezuela.

54(4):461-479

El peso específico como indicador de calidad física y fisiológica en semilla certificada de arroz.

54(1):17-30

El tiempo de interferencia de arroz rojo sobre el rendimiento de las variedades Cimarrón y FONAIAP 1.

54(3):293-308

Fermentadores para cacao usados por los productores de la localidad de Cumboto, Venezuela.

54(2): 219-232

- Génesis de un suelo sódico alcalino en Chaguaramas, Venezuela.  
54(4):433-459
- Influencia del fenómeno ENOS (El Niño y La Niña) en la disponibilidad de grados-día.  
54(3):309-320
- La densidad de arroz rojo sobre el rendimiento y sus componentes de la variedad de arroz ZETA 15.  
54(3):321-330
- Líneas de café resistentes a la roya en una localidad del estado Táchira, Venezuela.  
54(1):75-91
- Los ácidos húmicos de leonardita sobre características espectroscópicas de la materia orgánica de un suelo en la cuenca del lago de Valencia, Venezuela.  
54(2):133-144
- Propagación asexual del guayabo mediante la técnica de acodo aéreo.  
54(1):63-73
- Protocolo de recuento reducido para cinco tamaños diferentes de trampas adhesivas amarillas utilizadas en el monitoreo de *Frankliniella occidentales* (Pergande).  
54(1):5-16
- Régimen de precipitación en Montalbán estado Carabobo, Venezuela.  
54(4):359-370
- Respuestas al déficit hídrico en las variedades de tomate Río Grande y Pera Quibor.  
54(4):411-431
- Sistemas de información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz-España, aplicando la metodología USLE.  
54(4):391-409
- Tratamiento con ácido indolbutírico y lesionado sobre el enraizamiento de estacas de icaco (*Chrysobalanus icaco* L.).  
54(2):203-218
- Uso de subproductos industriales de tomate en enriquecimiento de harina de maíz con fibra dietética y proteína para elaboración de arepas.  
54(2):145-160
- Venezuela 21, nueva variedad de arroz de riego.  
54(2):233-242.

## ÍNDICE DE MATERIA

Abonos nitrogenadas

\* *Zea mays*, 54(4):371-389; 461-480

Ácido húmico

\* Suelo

\*\* *Musa* (Bananos),  
54(2):133-144

Ácido indolbutírico

\* *Chysobalanus icaco*,  
52(2):203-218

\* *Psidium guajava*, 54(1):63-73

Ácido naftalenoacético, véase

Ácido naftilacético

Ácido naftilacético

\* *Psidium guajava*, 54(1):63-73

Ácido sulfúrico

\* Semillas

\*\* *Annona muricata*,  
54(3):331-342

Acodo

\* *Psidium guajava*, 54(1):63-73

Agua de riego

\* *Musa* (Bananos), 54(2):161-178

\* *Saccharum* spp., 54(2):161-178

Agua salina

\* Barinas

\*\* San Silvestre, 54(1):93-120

Almendra

\* *Theobroma cacao*, 54(1):45-62

\*\* Calidad, 54(1):31-43

\*\* Propiedades físico-química,

54(1):31-43

54(2):219-232

\*\* Secado natural, 54(1):31-43

Anatomía de la planta

\* *Mangifera indica*, 54(2):175-261

\* *Oryza sativa*, 54(2):233-242

*Annona muricata*

\* Semillas

\*\* Ácido sulfúrico,

54(2):331-342

\*\* Emergencia, 54(3):331-342

\*\* Germinación, 54(3):331-342

\*\* Remojo, 54(3):331-342

Araure 4

\* Variedades

\*\* *Oryza sativa*, 54(1):17-30

Aragua

\* Cumboto

\*\* *Theobroma cacao*,

54(1):31-43

54(2):219-232

\* Climatología

\*\* Maracay, 54(3):309-320

\*\* Ocumare de la Costa,

54(3):309-320

\* *Zea mays*, 54(4):371-389

Arroz rojo, véase *Oryza sativa*

Arroz rojo

\* Electroforesis, 54(3):257-273

\* Isoenzimas, 54(3):257-309

\* Malezas

\*\* *Oryza sativa*,

54(3):293-309; 321-330

- Banco de San Pedro  
 \* Guárico  
   \*\* Climatología,  
   54(3):309-320
- Barinas  
 \* San Silvestre  
   \*\* Agua salina,  
   54(2):93-120  
   \*\* *Brachiaria dictyoneura*,  
   54(1):93-120  
   \*\* Suelo salino-sódico,  
   54(1):93-120
- Brachiaria dictyoneura*  
 \* Barinas  
   \*\* San Silvestre,  
   54(1):93-120
- Bramón  
 \* Táchira  
   \*\* Climatología,  
   54(3):309-320
- Cacao, véase *Theobroma cacao*
- Cacao criollo  
 \* Variedades  
   \*\* *Theobroma cacao*,  
   54(1):31-43
- Cacao forastero  
 \* Variedades  
   \*\* *Theobroma cacao*,  
   54(1):31-43
- Café, véase *Coffea arabica*
- Calidad  
 \* Almendra  
   \* *Theobroma cacao*,  
   54(1):31-43
- \* Certificación de semillas  
   \*\* *Oryza sativa*,  
   54(1):17-30
- \* Fruta  
   \*\* *Mangifera indica*,  
   54(2):179-201
- Caña de azúcar, véase *Saccharum*  
 spp.
- Carabobo  
 \* Montalban  
   \*\* Precipitación atmosférica,  
   54(4):359-370
- Caucagua  
 \* Miranda  
   \*\* Climatología, 54(3):309-320
- Certificación de semillas  
 \* *Oryza sativa*  
   \*\* Calidad, 54(1):17-30  
   \*\* Densidad, 54(1):17-30
- Cimarrón  
 \* *Oryza sativa*  
   \*\* Variedades, 54(3):293-308
- Cimarrón 1  
 \* Variedades  
   \*\* *Oryza sativa*, 54(1):17-30
- Climatología  
 \* Aragua  
   \*\* Maracay, 54(3):309-320  
   \*\* Ocumare de la Costa,  
   54(3):309-320
- \* Guárico  
   \*\* Banco de San Pedro,  
   54(3):309-320
- \* Lara  
   \*\* Sanare, 54(3):309-320

- \* Mérida
  - \*\* Mucuchíes, 54(3):309-320
- \* Miranda
  - \*\* Caucagua, 54(3):309-320
- \* Táchira
  - \*\* Bramón, 54(3):309-320
- \* Yaracuy
  - \*\* Yaritagua, 54(3):309-320
  
- Coffee arabiga*
  - \* Fitomejoramiento, 54(1):75-91
  - \* *Hemileia vastatrix*, 54(1):75-91
  - \* Rendimiento de cultivos, 54(1):75-91
  - \* Táchira, 54(1):75-91
  - \* Variedades, 54(1):75-91
  
- Cojedes
  - \* Macapo
    - \*\* Cuencas hidráulica, 54(3):275-291
  - \* *Oryza sativa*, 54(3):293-308
  - \* *Zea mays*, 54(4):371-389
  
- Conductividad hidráulica del suelo, véase Propiedades hidráulicas del suelo
  
- Contenido de materia seca
  - \* *Zea mays*, 54(4):371-389; 54(4):461-480
  
- Cuencas hidrográficas
  - \* Cojedes
    - \*\* Macapo, 54(3):275-291
  - \* Escorrentia, 54(3):275-291
  - \* Modelos de simulación, 54(3):275-291
  
- \* Propiedades hidráulicas del suelo, 54(3):275-291
  
- Cumboto
  - \* Aragua
    - \*\* *Theobroma cacao*, 54(1):31-43
    - 54(2):219-232
  
- Chaguaramas
  - \* Guárico
    - \*\* Suelo sódico, 54(4):433-459
  
- Chysobalanus icaco*
  - \* Ácido indolbutírico, 54(2):203-218
    - \*\* Enraizamiento, 54(2):203-218
  - \* Esguejes, 54(2):203-218
  - \* Sustancias de crecimiento vegetal, 54(2):203-218
  
- Densidad
  - \* Certificación de semillas
    - \*\* *Oryza sativa*, 54(1):17-30
  
- Digestibilidad
  - \* Experimentación *in vitro*
    - \*\* Harina de maíz, 54(2):145-159
    - \*\* Harina de tomate, 54(2):145-159
  
- Ecuación Universal de Pérdida Suelo (USLE), véase Erosión
  
- Edward
  - \* *Mangifera indica*
    - \*\* Variedades, 54(2):179-201
  
- Electroferesis
  - \* Arroz rojo, 54(3):257-273

- Emergencia
- \* Semilla
    - \*\* *Annona muricata*  
54(3):331-342
    - \*\* *Oryza sativa*, 54(1):17-30
- Enraizamiento
- \* Esquejes
    - \*\* *Chysobalanus icaco*,  
54(2):203-218
- Equipo de fermentación
- \* *Theobroma cacao*,  
54(1):31-43  
54(2):219-232
- Erosión
- \* España
    - \*\* Provincia de Badajoz,  
54(4):391-409
- Erosión por el agua
- \* España
    - \*\* Provincia de Badajoz,  
54(4):391-409
- España
- \* Provincia de Badajoz
    - \*\* Erosión,  
54(4):391-409
    - \*\* Erosión por el agua,  
54(4):391-409
- Esquejes
- \* *Chysobalanus icaco*
    - \*\* Enraizamiento,  
54(2):203-218
- Estrés de sequía
- \* *Licopersicon esculentum*,  
54(4):411-431
- Experimentación *in vitro*
- \* Digestibilidad
    - \*\* Harina de maíz,  
54(2):145-159
    - \*\* Harina de tomate,  
54(2):145-159
- Fermentación
- \* *Theobroma cacao*, 54(1):31-43  
54(2):219-232
- Fibra de dieta
- \* Harina de maíz, 54(2):145-159
  - \* Harina de tomate, 54(2):145-159
- Fitomejoramiento
- \* *Coffe arabiga*, 54(1):75-91
- Flora microbiano
- \* Suelo
    - \*\* *Musa* (Bananos),  
54(2):161-178
    - \*\* *Saccharum* spp.,  
54(2):161-178
- Flores
- \* *Theobroma cacao*, 54(1):45-62
- FONAIAP 1
- \* *Oryza sativa*
    - \*\* Variedades, 54(3):293-308
  - \* Variedades
    - \*\* *Oryza sativa*, 54(1):17-30
- Frankliniella occidentalis*
- \* Trampas, 54(1):5-16
- Fruto
- \* *Mangifera indica*
    - \*\* Calidad, 54(2):179-201
  - \* *Theobroma cacao*, 54(1):45-62

- Germinación
- \* Semilla
    - \*\* *Annona muricata*, 54(3):331-342
    - \*\* *Oryza sativa*, 54(1):17-30
- Germoplasma
- \* *Theobroma cacao*, 54(1):45-62
- Glenn
- \* *Mangifera indica*
    - \*\* Variedades, 54(2):179-201
- Guanabana, véase *Annona muricata*
- Guárico
- \* Banco de San Pedro
    - \*\* Climatología, 54(4):309-320
  - \* Chaguaramas
    - Suelo sódico, 54(4):433-459
- Guasare
- \* Variedades
    - \*\* *Theobroma cacao*, 54(1):45-62
- Guayaba, véase *Psidium guajava*
- Harina de maíz
- \* Digestibilidad
    - \*\* Experimentación *in vitro*, 54(2):145-159
  - \* Fibra de la dieta, 54(2):145-159
  - \* Proteínas de cereales, 54(2):145-159
  - \* Valor nutritivo, 54(2):145-159
- Harina de tomate
- \* Digestibilidad
    - \*\* Experimentación *in vitro*, 54(2):145-159
- \* Fibra de la dieta, 54(2):145-159
- \* Valor nutritivo, 54(2):145-159
- Hemileia vastatrix*
- \* *Coffea arabica*, 54(1):75-91
- Icaco, véase *Chrysobalanus icaco*
- Irwin
- \* *Mangifera indica*
    - \*\* Variedades, 54(2):179-201
- Isoenzimas
- \* Arroz rojo, 54(3):257-273
- Lago de Valencia
- \* *Musa* (Bananos), 54(2):133-144; 161-178
  - \* *Saccharum* spp., 54(2):161-178
- Lara
- \* Sanare
    - \*\* Climatología, 54(3):309-320
- Lycopersicon esculentum*
- \* Estrés de sequía, 54(4):411-431
  - \* Prolina, 54(4):411-431
  - \* Variedades
    - \*\* Pera Quíbor, 54(4):411-431
    - \*\* Río Grande, 54(4):411-431
- Macapo
- \* Cojedes
    - \*\* Cuencas hidrográficas, 54(3):275-291
- Maíz, véase *Zea mays*
- Malezas
- \* *Oryza sativa*
    - \*\* Arroz rojo, 54(3):293-308; 321-330

*Mangifera indica*

- \* Anatomía de la planta, 54(2):179-201
- \* Fruto
  - \*\* Calidad, 54(2):179-201
- \* Rendimiento de cultivos, 54(2):179-201
- \* Variedades
  - \*\* Edward, 54(2):179-201

Mango, véase *Mangifera indica*

Maracay

- \* Aragua
  - \*\* Climatología, 54(3):309-320

Materia orgánica

- \* Suelo
  - \*\* *Musa* (Bananos), 54(2):133-144

Mérida

- \* Mucuchíes
  - \*\* Climatología, 54(3):302-320
- \* *Theobroma cacao*, 54(1):45-62

Miranda

- \* Caucagua
  - \*\* Climatología, 54(3):309-320

Modelos de simulación

- \* Cuencas hidrográficas, 54(3):275-291

Montalbán

- \* Carabobo
  - \*\* Precipitación atmosférica, 54(4):359-370

Mucuchíes

- \* Mérida
  - \*\* Climatología, 54(3):309-320

*Musa* (Bananos)

- \* Agua de riego, 54(2):161-178
- \* Lago de Valencia, 54(2):133-144; 161-178
- \* Suelo
  - \*\* Ácido Húmico, 54(2):133-144
  - \*\* Flora microbiana, 54(2):161-178
  - \*\* Materia orgánica, 54(2):133-144
  - \*\* Respiración del suelo, 54(2):161-178

Nitrato de amonio

- \* *Zea mays*, 54(4):461-480

Ocumare de la Costa

- \* Aragua
  - \*\* Climatología, 54(3):309-320

*Oryza sativa*

- \* Anatomía de la planta, 54(2):233-242
- \* Certificación de semillas
  - \*\* Calidad, 54(1):17-30
  - \*\* Densidad, 54(1):17-30
- \* Cojedes, 54(3):293-308
- \* Malezas
  - \*\* Arroz rojo, 54(3):321-330
- \* Rendimiento de cultivos, 54(2):233-242  
54(3):293-308
- \* Semilla
  - \*\* Emergencia, 54(4):17-30
  - \*\* Germinación, 54(4):17-30
- \* Variedades
  - \*\* Araure 4, 54(1):17-30
  - \*\* Cimarrón, 54(3):293-308
  - \*\* Cimarrón 1, 54(1):17-30
  - \*\* FONAIAP 1, 54(1):17-30  
54(3):293-308

- \*\* Palmar, 54(1):17-30
- \*\* Venezuela 21, 54(2):233-242
- \*\* ZETA 15, 54(3):321-330
- \* Viabilidad de la semilla, 54(1):17-30
- Otts
  - \* *Mangifera indica*
    - \*\* Variedades, 54(2):179-201
- Palmar
  - \* Variedades
    - \*\* *Oryza sativa*, 54(1):17-30
- Parvin
  - \* *Mangifera indica*
    - \*\* Variedades, 54(2):179-201
- Pera Quíbor
  - \* *Lycopersicon esculentum*,
    - \*\* Variedades, 54(4):411-431
- Peso específico, véase Densidad
- Portuguesa
  - \* *Zea mays*, 54(4):371-389
- Precipitación atmosférica
  - \* Carabobo
    - \*\* Montalbán, 54(4):359-370
- Prolina
  - \* *Lycopersicon esculentum*, 54(4):411-431
- Propiedades físico-químicas
  - \* Almendra
    - \*\* *Theobroma cacao*, 54(1):31-43
    - 54(2):219-232
- Propiedades hidráulicas del suelo
  - \* Cuenca hidrográficas, 54(3):275-291
- Proteínas de cereales
  - \* Harina de maíz, 54(2):145-159
- Provincia de Badajoz
  - \* España
    - \*\* Erosión, 54(4):391-409
    - \*\* Erosión por el agua, 54(4):391-409
- Psidium guajava*
  - \* Acodo, 54(1):63-73
  - \* Ácido indolbutírico, 54(1):63-73
  - \* Ácido naftilacético, 54(1):63-73
  - \* Substratos de cultivo, 54(1):63-73
  - \* Zulia, 54(1):63-73
- \* Palmar
  - \*\* Variedades, 54(1):17-30
  - \*\* *Oryza sativa*, 54(1):17-30
- Régimen de las precipitaciones, véase Precipitación atmosférica
- Remojo
  - \* Semillas
    - \*\* *Annona muricata* 54(3):331-342
- Rendimiento de cultivo
  - \* *Coffe arabiga*, 54(1):75-91
  - \* *Mangifera indica*, 54(2):179-201
  - \* *Oryza sativa*, 54(2):233-242
  - 54(3):293-308; 321-330

- Respiración del suelo  
 \* Suelo  
   \*\* *Musa* (Bananos), 54(2):161-178  
   \*\* *Saccharum* spp., 54(2):161-178
- Río Grande  
 \* *Lycopersicon esculentum*  
   \*\* Variedades, 54(4):411-413
- Roya del café, véase *Hemileia vastatrix*
- Saccharum* spp.  
 \* Agua de riego, 54(2):161-178  
 \* Lago de Valencia, 54(2):161-178  
 \* Suelo  
   \*\* Flora microbiana, 54(2):161-178  
   \*\* Respiración del suelo, 54(2):161-178
- San Silvestre  
 \* Barinas  
   \*\* Agua salina, 54(2):93-120  
   \*\* *Brachiaria dictyonera*, 54(1):93-120  
   \*\* Suelo salino-sódico, 54(1):93-120
- Secado natural  
 \* Almendra  
   \*\* *Theobroma cacao*, 54(1):31-43
- Semillas  
 \* *Annona muricata*  
   \*\* Ácido sulfúrico, 54(3):331-342  
   \*\* Emergencia, 54(3):331-342  
   \*\* Germinación, 54(3):331-342  
   \*\* Remojo, 54(3):331-342
- \* *Oryza sativa*  
   \*\* Emergencia, 54(1):17-30  
   \*\* Germinación, 54(1):17-30
- Substrato de cultivo  
 \* *Psidium guajava*, 54(1):63-73
- Suelo  
 \* *Musa* (Bananos)  
   \*\* Ácido húmico, 54(2):133-144  
   \*\* Flora microbiana, 54(2):161-178  
   \*\* Materia orgánica, 54(2):133-144  
   \*\* Respiración del suelo, 54(2):161-178  
 \* *Saccharum* spp.  
   \*\* Flora microbiana, 54(2):161-178  
   \*\* Respiración del suelo, 54(2):161-178
- Suelo salino-sódico  
 \* Barinas  
   \*\* San Silvestre, 54(1):93-120
- Suelo sódico  
 \* Guárico  
   \*\* Chaguaramos, 54(4):433-459
- Sustancias de crecimiento vegetal  
 \* *Chysobalanus icaco*, 54(2):203-218
- Táchira  
 \* Bramón  
   \*\* Climatología, 54(3):309-320  
 \* *Coffee arabiga*, 54(1):75-91
- Theobroma cacao*,  
 \* Almendra, 54(1):45-62  
   \*\* Calidad, 54(1):31-43

- \*\* Propiedades físico-químicas
    - 54(1):31-43
    - 54(2):219-232
  - \* Equipos de fermentación, 54(2):219-232
  - \* Fermentación, 54(1):31-43
    - 54(2):219-232
  - \* Flores, 54(19):45-62
  - \* Fruto, 54(19):45-62
  - \* Germoplasma, 54(19):45-62
  - \* Mérida, 54(19):45-62
  - \* Variedades
    - \*\* Cacao criollo, 54(1):31-43
    - \*\* Cacao forastero, 54(1):31-43
    - \*\* Guasare, 54(1):45-62
- Tomate, véase *Lycopersicon esculentum*
- Trampas
- \* *Frankliniella occidentalis*, 54(1):5-16
- Trips, véase *Frankliniella occidentalis*
- Urea
- \* *Zea mays*, 54(4):461-480
- Valor nutritivo
- \* Harina de maíz, 54(2):145-159
  - \* Harina de tomate, 54(2):145-159
- Variedades
- \* *Coffe arabiga*, 54(1):75-91
  - \* *Lycopersicon esculentum*
    - \*\* Pera Quíbor, 54(4):411-431
    - \*\* Río Grande, 54(4):411-431
  - \* *Mangifera indica*
    - \*\* Edward, 54(2):179-201
    - \*\* Glenn, 54(2):179-201
    - \*\* Irwin, 54(2):179-201
    - \*\* Otts, 54(2):179-201
- \* *Oryza sativa*
    - \*\* Araure 4, 54(1):17-30
    - \*\* Cimarrón, 54(3):293-308
    - \*\* Cimarrón 1, 54(2):17-30
    - \*\* FONAIAP 1, 54(1):17-30
      - 54(3):293-308
    - \*\* Palmar, 54(1):17-30
    - \*\* Venezuela 21, 54(2):233-242
    - \*\* ZETA 15, 54(3):321-330
  - \* *Thebroma cacao*
    - \*\* Cacao criollo, 54(1):31-43
    - \*\* Cacao forastero, 54(1):31-43
    - \*\* Guasare, 54(1):45-62
- Viabilidad de la semilla
- \* *Oryza sativa*, 54(1):17-30
- Yaracuy
- \* Yaritagua
    - \*\* Climatología, 54(3):309-320
- Yaritagua
- \* Yaritagua
    - \*\* Climatología, 54(3):309-320
- Zea mays*
- \* Abonos nitrogenados, 54(4):371-389; 461-480
  - \* Aragua, 54(4):371-389
  - \* Cojedes, 54(4):371-389
  - \* Contenido de materia seca, 54(4):371-389; 461-480
  - \* Nitrato de amonio, 54(4):461-480
  - \* Portuguesa, 54(4):461-480
  - \* Urea, 54(4):461-480
- ZETA 15
- \* Variedades
    - \*\* *Oryza sativa*, 54(3):321-330
- Zulia
- \* *Psidium guajava*, 54(2):63-73

## AGRONOMIA 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 en un disquette transcrito en MS Word 6,0 o superiores.

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.

**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 2<sup>do</sup> y apellidos completos. Después de los nombres se usarán asteriscos para identificar al pie de página el cargo, la institución y dirección postal donde trabajan. 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 debe incluir 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 deben 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.

**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 ( $10^3\text{m}$ )                |              |
| decímetro,                   | dm                                   |              |
| centímetro,                  | cm ( $10^{-2}\text{m}$ )             |              |
| milímetro,                   | mm ( $10^{-3}\text{m}$ )             |              |
| micra                        | $\mu$                                |              |
| micromilímetro,              | $\mu\text{m}$ ( $10^{-6}\text{m}$ ), | microm       |
| nanómetro,                   | nm ( $10^{-9}\text{m}$ ),            | Angstrom     |
| metro cuadrado,              | $\text{m}^2$                         |              |
| hectárea,                    | ha                                   |              |
| metro cúbico,                | $\text{m}^3$                         |              |
| litro,                       | l                                    |              |
| gramo,                       | g                                    |              |
| kilogramo,                   | kg                                   |              |
| tonelada,                    | t                                    |              |
| mega gramo,                  | Mg,                                  |              |
| miligramo,                   | mg ( $10^{-3}\text{g}$ )             |              |
| microgramo,                  | $\mu\text{g}$ ( $10^{-6}\text{g}$ )  |              |
| nanogramo,                   | ng ( $10^{-9}\text{g}$ )             |              |
| kilogramo/hectárea,          | $\text{kg ha}^{-1}$                  |              |
| toneladas/hectárea,          | $\text{t ha}^{-1}$                   |              |
| megapascal,                  | M Pa,                                | bar          |
| grado Celsius,               | $^{\circ}\text{C}$                   |              |
| grado Joule,                 | J,                                   | caloría      |
| grado Kelvin                 | $^{\circ}\text{K}$                   |              |
| centimole por kilogramo,     | $\text{c mol kg}^{-1}$ ,             | meq por 100g |
| gramo por kilogramo,         | $\text{g kg}^{-1}$                   |              |
| miligramo por kilogramo,     | $\text{mg kg}^{-1}$ ,                | 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.

Composición: Carmen Elena Solórzano  
Montaje: Nury Castillo  
Fotolito: Mario Pino  
Impresión: Juan Salas

Impreso en el Taller Gráfico del INIA  
Maracay, estado Aragua, Venezuela  
Marzo, 2005

