



INIA
Instituto Nacional
de Investigaciones
Agrícolas

Vol. 56, N° 3, 2006

Agronomía Tropical

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 Zoological Record (Reino Unido); AGRÍCOLA, National Agricultural Library (USA); Pest Directory, International Society for Pest Information (Alemania); LATINDEX, Directorio de Publicaciones Científicas de América Latina; Bibliografía Edafológica Venezolana, Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo; MegaBase AGRI 2000, IICA-CATIE; Catalogue en Ligne del Institute de l'Information Scientifique et Technique, Francia; Base de Datos REVIS, CATIE, Costa Rica, Science citation index.

SUSCRIPCIÓN

Venezuela: 125 000,00

Países en desarrollo: US\$ 95, incluyendo costos de envío
(Developing countries) (including shipping)

Países desarrollados: US\$ 100, incluyendo costos de envío
(Developed countries) (including shipping)

DIRECCIÓN

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

Correo Electrónico: agrotrop@fundacite.org.gov.ve

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

AGRONOMÍA TROPICAL

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

Agronomía Trop. / Vol. 56/ N° 3/Julio-Septiembre 2006 /ISSN 0002-192X

FUNDADORES

Luis Medina (Dir.), Bruno Mazzani[†], W. S. Iljin, Rafael Pontis Videla, Jesús Silva Calvo, Gino Malagutti, Guisepppe Ravanello, Luis A. Salas F., S. Horovitz, P. Obregón y Dora M. de Zerpa.

EDITOR: Milagros Fernández

EDITOR ASISTENTE: Mónica González

COMITÉ EDITORIAL

Milagros Fernández
María González

Félix San Vicente
Klaus Jaffé

CONSEJO DE REDACCIÓN

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

Yolanda Guevara. INIA. CENIAP. Maracay
Raúl Mosqueda Vásquez. INIFAP. México
Alfredo Layrisse. UCV. Fac. de Agronomía
Juan Comerma. PALMAVEN. Carabobo
David Beck. CIMMYT. México
Zaida Lentini. CIAT. Colombia
Graciano Elizalde. UCV. Fac. de Agronomía
Marisol Castrillo. USB. Caracas
José Barreiro Méndez. USB. Caracas
Juan Blanquer. Univ. Politec. Valencia. España
Ramón Rossel. Univ. Nac. del Sur. Argentina
Lelys Bravo. USB. Caracas
Berto Arias. INIA. CIAE Monagas
María Juana Pérez. INIA. CENIAP. Maracay Inés
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. 56-2006

Abril-Junio

No. 3

ISSN 0002-192X

Depósito Legal pp 195102AR73

ÍNDICE

Trabajo Especial

Pág.

- DELGADO, E. Consideraciones para el desarrollo de un sistema integral de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo y aplicación de fertilizantes para una agricultura sustentable en Venezuela..... 289
Considerations for the development of an integral evaluation and management system of soil fertility and fertilizer applications for sustainable agriculture in Venezuela.

Artículos:

- CASANOVA O., E. y C. RIVERO. Efecto de fuentes alternativas de fertilizantes con el método de la fertirrigación sobre la nutrición mineral y rendimientos de bananos en una finca del estado Aragua, Venezuela..... 325
Effect of alternative fertilizer sources with fertirrigation on mineral nutrition and yield of bananas in a farm in Aragua State, Venezuela.
- ORTIZ DOMÍNGUEZ, A. y M. OJEDA MUÑOZ. Evaluación de la calidad molinera y dimensiones de los granos de dos variedades de arroz y sus variedades de arroz maleza..... 345
Evaluation of milling quality and grain dimensions of two rice varieties and their weedy rice variety types.
- ALEJOS, G., P. MONASTERIO y R. REA. Análisis de la interacción genotipo - ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela..... 369
Evaluation of the genotype-environment interaction for maize yield in Yaracuy State, Venezuela.

Artículos:	Pág.
PINEDA, C., D. MACHADO, E. CASANOVA y J. VILORIA. Evaluación física de tierras de la cuenca alta del Río Guárico con fines de producción sustentable de agua.....	385
Land physics evaluation of the high Guarico river basin with sustainable water production purposes.	
RUSSIÁN L., T. Calidad del fruto en accesiones de naranja 'Criolla' y 'Valencia' en el sector Macanillas-Curimagua, estado Falcón.....	415
Fruit quality of 'Criolla' and 'Valencia' orange accessions in Macanillas-Curimagua, Falcon State.	
PIÑA-DUMOULÍN, G. J., E. GASTÓN LABOREM, E. E. MONTEVERDE, S. MAGAÑA-LEMUS, M. ESPINOZA y L. A. RANGEL. Crecimiento, producción y calidad de frutos en limeros 'Persa' sobre 11 portainjertos.....	433
Growth, production and fruit quality of Persian lime on 11 rootstocks.	

Intrucciones a los Autores

TRABAJO ESPECIAL

CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA INTEGRAL DE EVALUACIÓN Y MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO Y APLICACIÓN DE FERTILIZANTES PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE EN VENEZUELA

Rodolfo Delgado* y Ana Mireya Salas**

RESUMEN

El desarrollo de una agricultura sustentable requiere mecanismos integrales para evaluar y manejar la fertilidad del suelo, y recomendar fertilizantes orgánicos o minerales, que cumplan con requerimientos ambientales, económicos, capacidades de los productores, y calidad de las cosechas. En este trabajo se propone una estrategia para desarrollar un sistema integral basado en: 1) el ciclaje de nutrimentos, y otros elementos minerales, de importancia en el sistema suelo-agua-cultivo-atmósfera (ejemplo CO₂-C), 2) impulsado por características bio-físicas del suelo y clima de la unidad de producción, 3) impacto de prácticas de manejo en características específicas del suelo, 4) expectativas del productor sobre calidad y cantidad de producción, 5) capacidades técnicas, tecnológicas y económicas del productor, 6) requerimientos nutricionales y características de crecimiento de los materiales genéticos, 7) características de las fuentes de nutrimentos, 8) límites aceptables de emisión de gases y nutrimentos a la atmósfera y fuentes de agua, y disposición de subproductos de las actividades agrícolas. En esta propuesta, se sugiere la utilización de mecanismos que integren los principales procesos del sistema suelo-cultivo-clima para simular crecimiento de cultivos, propiedades o características del suelo asociada a la fertilidad y calidad del suelo, y el destino de nutrimentos en el sistema, y que permitan la caracterización cuantitativa de la disponibilidad y accesibilidad de nutrimentos en el perfil del suelo. El mecanismo integral propuesto puede ser útil, para el estudio y enseñanza de sustentabilidad, y fertilidad del suelo, y para detectar necesidades de investigación.

Palabras Clave: Fertilidad del suelo; sustentabilidad; fertilización; ciclo de nutrimentos.

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

** Profesora. UCV. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Av. Universidad. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: agosto 30, 2006.

SPECIAL WORK**CONSIDERATIONS FOR THE DEVELOPMENT
OF AN INTEGRAL EVALUATION AND MANAGEMENT
SYSTEM OF SOIL FERTILITY AND FERTILIZER
APPLICATIONS FOR SUSTAINABLE
AGRICULTURE IN VENEZUELA****Rodolfo Delgado* y Ana Salas******SUMMARY**

The development of a sustainable agriculture would require integral mechanisms to evaluate and to manage soil fertility, and to recommend mineral or organic fertilizer rates in accordance with environmental, economical, and harvest quality requirements as well as with farmer capabilities. In this paper we proposed a strategy to develop an integral system, based on 1) fate of nutrients, and other important elements, in the soil-water-crop-atmosphere system (i.e. C-CO₂), 2) most important bio-physical characteristics of the soil and climate, at homogeneous units of land, 3) effect of management practices on specific soil properties, 4) farmer expectations in relation to yield quantity and quality, 5) technical and economical capabilities of the farmer, 6) nutritional requirements and crop growth characteristics of specific varieties or hybrids, 7) characteristics of traditional and alternative nutrient sources, 8) acceptable limits of emissions of gasses and nutrients to the atmosphere and water, and disposal of agricultural bio-products. In this proposal we suggest the use of mechanisms able to integrate the main processes of the soil-crop-climate system to simulate crop growth, soil properties related to soil fertility and soil quality, and the fate of nutrients in the system, in addition of allowing the prediction of nutrient availability in the soil profile. Also, the proposed integral mechanism could be useful to teach and to study sustainability issues and soil processes associate with soil fertility, and to detect research needs.

Key Words: Soil fertility; sustainability; fertilization; nutrient cycling.

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

** Profesora. UCV. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Av. Universidad. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: agosto 30, 2006.

JUSTIFICACIÓN

“El enfoque integral del manejo de la fertilidad del suelo, y aplicación de fertilizantes, debe estar asociado al ciclaje de elementos directamente relacionados con la nutrición de los cultivos, y con aquellos elementos que causan impacto directo o indirecto, en el corto, mediano, y largo plazo, en las características y funciones del medioambiente suelo-agua-atmósfera”

El desarrollo de una agricultura sustentable, basado en la preservación y/o mejoramiento de la calidad de suelo, agua, y atmósfera, lo cual contribuye al desarrollo de un medio ambiente saludable y hospitalario para el ser humano (Delgado y Cabrera de Bisbal, 2005), demanda un nuevo enfoque para el diagnóstico del estado actual y futuro, además del manejo de la fertilidad del suelo mediante la dosificación y empleo de enmiendas orgánicas naturales o químicas utilizadas para suplir los requerimientos de los cultivos.

La contaminación de aguas de consumo humano y animal, el desbalance nutricional en los suelos, la emisión de gases asociados al efecto invernadero, entre otros aspectos, están asociados, en parte, a una baja eficiencia de utilización, y dosificación inapropiada de fertilizantes. Como ejemplos, Craswell y Godwin (1984) señalan eficiencias de recuperación aparente entre 14,2 y 62%, y 22,5 y 61% para maíz y sorgo en el trópico húmedo, también para sorgo y trigo en el trópico semiárido, respectivamente. En Venezuela, Delgado *et al.* (2001) en evaluación de eficiencia de utilización de N por maíz, bajo diferentes formas de colocación del fertilizante, consiguieron eficiencias entre 18,8 y 23,7%.

En este sentido, Matson *et al.* (1997), analizando la relación entre algunas propiedades de los ecosistemas y la intensificación de las prácticas en la agricultura, sugirieron la necesidad de incrementar la eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados para evitar la degradación ambiental que acompaña la aplicación de fertilizantes, y la implementación de tecnologías que permitan la aplicación específica para el sitio y cultivo de fertilizantes a través de los campos de producción para cubrir la demanda del cultivo.

Así mismo, Martens (2001) sugirió, debido a la existencia de diferencias entre sistemas agrícolas, la necesidad de establecer sistemas de reco-

mendación de dosis y manejo particularizados o específicos. Este autor, analizando el ciclo de N en diferentes sistemas de manejo, destaca diferencias notables entre labranza conservacionistas (ejemplo mínima labranza), y labranza convencional en la cantidad y distribución de formas orgánicas (ejemplo biomasa microbiana), transformaciones del N en el suelo, y en el destino del N aplicado como fertilizante, además de diferencias en otros parámetros del suelo (ejemplo densidad aparente), que afectan la disponibilidad del elemento en el suelo.

El establecimiento de prácticas de manejo diversas y de manera conjunta ha sido señalado por Mosier *et al.* (2002) como una alternativa necesaria para incrementar la eficiencia de utilización de fuentes N y disminución de emisiones de gases a la atmósfera. Sin embargo, y posiblemente debido a la diversidad de condiciones de suelo, clima, manejo, y sistemas de producción, es necesario integrar funciones que permitan evaluar los diferentes escenarios.

En Venezuela, los sistemas de recomendación de dosis de fertilizantes, están basados en estudios de correlación y calibración, y en estudios de evaluación de dosis de fertilizantes (González *et al.*, 1977; González y Vonasek, 1974). En los estudios de correlación y calibración, se categorizaron los contenidos de nutrientes del suelo (desde muy bajo hasta alto) extraídos por una solución extractora (ejemplo solución Olsen para P), utilizando la respuesta del cultivo a la aplicación de dosis crecientes del elemento y la capacidad natural del suelo a suplir el elemento.

En este caso se utiliza el rendimiento relativo del cultivo (%RR), el cual es una medida de la capacidad natural del suelo para suplir nutrientes al cultivo en relación a la dosis de fertilizante que provee todos los requerimientos del cultivo. Aunque algunos adelantos se han realizado en la actualización de las bases de recomendación de fertilizantes en Venezuela, mediante la utilización de variables adicionales del suelo, características específicas de cultivares y manejo, mejoran las recomendaciones de fertilizantes (INIA, 2004), las mismas aún se basan en los procesos de correlación y calibración de métodos, y evaluación de respuesta de los cultivos a la aplicación de dosis de nutrientes.

Algunas de las limitaciones del sistema de recomendación de fertilizantes basado en el proceso de calibración y correlación, para ser utilizada como base de una agricultura sustentable, donde se requiere recomendar

dosis de fertilizantes más individualizadas que considere las condiciones propias de suelo, clima, manejo de las unidades de producción, y las condiciones socio-económicas de los productores, se pueden resumir en:

1. Cambio de la capacidad de suministro y accesibilidad de nutrientes iniciales, sobre la cual se realizó la calibración, a causa de la variación en las propiedades físicas, químicas, y biológicas del suelo, debido a condiciones de manejo.
2. Cambio en las características y requerimientos nutricionales de los cultivos actuales, debido a la introducción de nuevos materiales genéticos, posiblemente con diferentes capacidades de absorción de nutrientes del suelo o eficiencia de utilización (Ma y Dwyer, 1998). La determinación de niveles de suficiencia de elementos en el suelo se basa en la respuesta del cultivo a la aplicación del compuesto, y ello obviamente dependerá de los requerimientos, y eficiencia de utilización por el cultivo o variedad específica.
3. No se cuantifica la cantidad real de nutriente disponible en el suelo, lo cual no permite relacionar su disponibilidad de un nutriente, o el nutriente aplicado como fertilizante, con la producción real o incremento de la producción del cultivo.
4. Debido a que no evalúa la fuente u origen de los nutrientes en el suelo, no permite la predicción y/o evaluación del impacto de prácticas de manejo y sistemas de producción en la disponibilidad de nutrientes.
5. Expresa una condición instantánea de la disponibilidad de nutrientes, y no permite hacer ajustes en la dosis o manejo del fertilizante durante el ciclo del cultivo para manejar variaciones en las condiciones del suelo (ejemplo contenidos de humedad), clima (ejemplo patrón de precipitación), u otros factores que afectan el cultivo (ejemplo incidencia de plagas, enfermedades, malezas, etc.).
6. En el proceso de calibración normalmente se evalúa la disponibilidad de nutrientes en la capa superior del suelo, y se considera que la disponibilidad de nutrientes y características físicas que afectan la accesibilidad de nutrientes en el perfil del suelo permanecen inalterables en el tiempo.

En este estudio se analizarán los aspectos necesarios a considerar para el desarrollo de un Sistema Integral de Evaluación y Manejo de la Fertilidad del Suelo, y de recomendación de Fertilizantes (**SIEMFRF**) como base de una agricultura sustentable, y que permita, además, la predicción de la evolución de la capacidad de suministro de nutrimentos

El sistema propuesto **SIEMFRF** debe estar basado, y considerar: 1) el ciclaje de nutrimentos en el sistema suelo-agua-planta-atmósfera, 2) la variabilidad espacial y temporal de las principales características de suelo y clima a nivel de unidades homogéneas dentro de fincas de producción, 3) interactivamente, el impacto de prácticas de manejo y sistemas de producción en las propiedades del suelo que afectan la suplencia y accesibilidad de los nutrimentos por el cultivo, y el impacto de estos cambios en el desempeño de los sistemas de producción, 4) las necesidades, expectativas, disponibilidad de equipos, accesibilidad a tecnologías, y capacidades económicas de los productores, y 5) la integración de procesos de diferente intensidad o tiempo promedio de residencia entre, y dentro, de los componentes del sistema suelo-agua-planta-clima.

Aspectos a considerar para el desarrollo e implementación de un mecanismo para el diagnóstico y manejo de la fertilidad del suelo, y de la fertilización para una agricultura sustentable: Propuesta de un modelo Integral.

Algunas de las características o bondades deseables que debe presentar el **SIEMFRF**, y que definen el alcance del mismo, y permiten identificar, establecer, o definir los componentes del sistema suelo-agua-cultivo-atmósfera-hombre que lo conforman, se pueden resumir en:

1. Capacidad de predecir la disponibilidad y accesibilidad de nutrimentos en el corto, mediano y largo plazo.
2. Capacidad de predecir el destino de los nutrimentos en el sistema suelo-agua-cultivo-atmósfera, sometido a diferentes condiciones de manejo y/o sistemas de producción.
3. Capacidad y sensibilidad para evaluar el impacto, en el corto, mediano y largo plazo, de prácticas de manejo y de sistemas de producción, en la disponibilidad y accesibilidad de nutrimentos en el sistema.

4. Capacidad de considerar capacidades técnicas y el acceso a tecnológicas, capacidades económicas, y disponibilidad de insumos o capacidades locales de los productores.
5. Capacidad de recomendar sistemas de manejo, y fertilización para las diferentes unidades edafo-climáticas homogéneas dentro de las fincas de los productores.
6. Capacidad de predecir la cantidad y calidad de cosecha.
7. Capacidad de evaluar estrategias de manejo para a) incrementar la eficiencia de uso de nutrimentos, aplicados como fertilizantes, por el cultivo, b) prolongar la permanencia de nutrimentos en el sistema suelo-cultivo, c) disminuir las emisiones de gases invernadero hacia la atmósfera, y d) disminuir el flujo de nutrimentos hacia fuentes de agua en el suelo.
8. Capacidad de evaluar la sustentabilidad de sistemas de producción y/o prácticas de manejo, mediante la utilización de índices integrales que considere los aspectos socio-económicos particulares de los productores, las condiciones biofísicas y climáticas dentro de las unidades de producción y la utilización de recursos o alternativas locales.

Además, los nuevos mecanismos de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo, y fertilización, centrados en el ciclaje de nutrimentos en el sistema suelo-agua-cultivo-atmósfera, deben considerar los principales procesos y variables del suelo que son sensibles a condiciones de manejo o sistemas de producción que, a su vez, crean una condición diferente durante el proceso de evaluación de esa práctica o sistema que afecta el desempeño futuro del sistema. Un ejemplo de este caso es la estratificación de procesos, y algunas características físicas del suelo que se crean con la implementación de sistemas de labranza como es la labranza mínima (Doran *et al.*, 1987), y que en el corto, mediano, o largo plazo afectan el desempeño de los cultivos que conforman el sistema de producción evaluado.

La consideración de aspectos de esta naturaleza son necesarios para la evaluación, en diferentes períodos de tiempo, del impacto de prácticas de manejo o sistemas de producción en la evaluación de fertilidad del suelo, ciclaje de nutrimentos, y determinación de requerimientos de

fertilizantes. Mecanismos como los modelos de simulación, como los indicados por Delgado y Núñez (2004) podrían ser de utilidad en la integración de procesos como los indicados anteriormente.

Los principales componentes operativos y de mantenimiento, así como los usos y/o productos que se puede obtener con el uso del **SIEMFRF**, donde se considera algunos de las características deseables o bondades indicados previamente, son indicados en la Figura 1. El sistema propuesto pretende ser suficientemente sensible para que permita la recomendación individualizada de planes de fertilización, según las condiciones bio-físico-climáticas dentro de las unidades de producción, y las características socio-económicas de los productores, además de la calidad y cantidad de productos para la alimentación y sustento del núcleo humano, la preservación del medio ambiente y del suelo.

Algunas consideraciones sobre expectativas y capacidades de los productores: En el sistema propuesto **SIEMFRF**, como un componente importante que permitirá evaluar y considerar características propias y la variabilidad y/o diversidad en capacidades y expectativas del productor agropecuario, y hacer recomendaciones individuales, se debe considerar: 1) Expectativas en calidad y cantidad de cosecha, y 2) capacidades económicas y tecnológicas, y 3) capacidad y/o requerimiento de mecanismos para la evaluación ex-ante de prácticas y/o sistemas de producción y de evaluación de escenarios probables. La consideración sobre calidad de la cosecha se podría orientar hacia los aspectos de salud pública (ejemplo niveles de elementos perjudiciales como nitrato), calidad alimentaria (ejemplo niveles deseables de nutrimentos, vitaminas, proteínas), y calidad para procesamiento industrial (ejemplo calidad molinera).

Destacó McMichael (2005), en un análisis de estrategias para asociar el alcance de los estudios de nutrición con los aspectos sociales y ambientales, el reto de las ciencias de la nutrición para lograr, de manera equitativa, la salud humana mientras se mantiene la salud de la biosfera. En otros trabajos Hornick (1992) presentó la importancia de los factores suelo, cultivo, clima, manejo poscosecha, fertilización, y prácticas de manejo en el contenido nutricional de los cultivos. En este caso, será necesaria la determinación de índices de suficiencia, o de tolerancia de elementos nutritivos o tóxicos, y de índices de calidad de la producción para el procesamiento industrial.

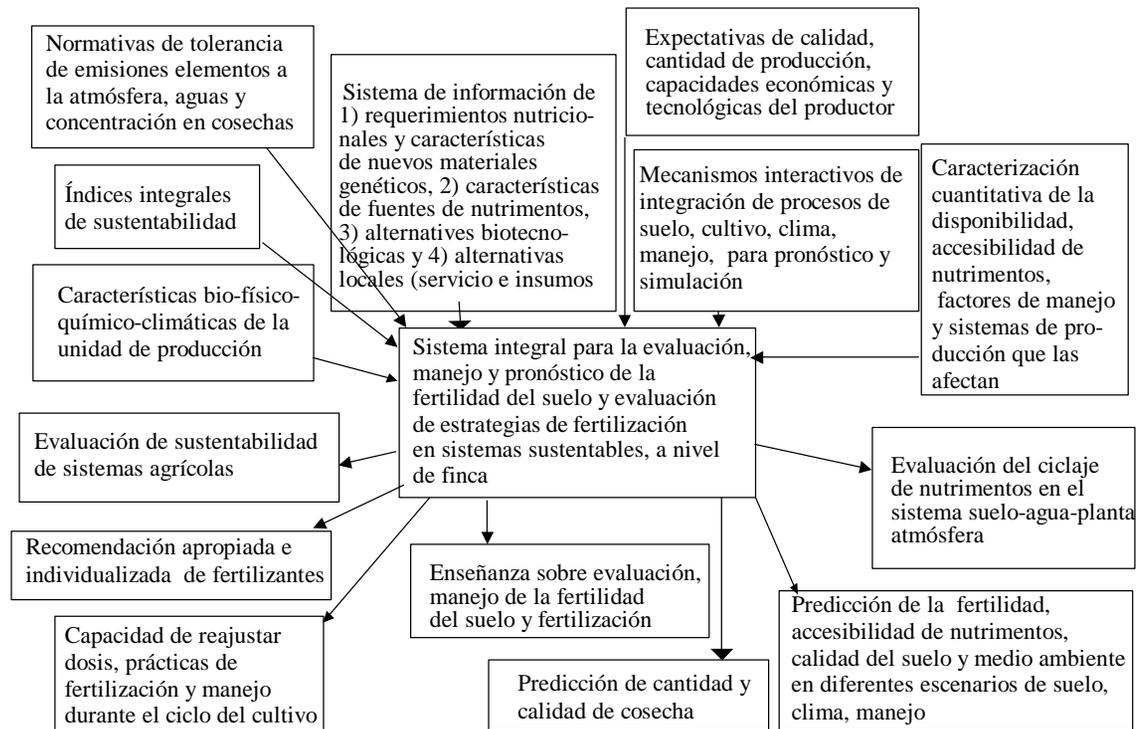


FIGURA 1. Sistema integral para la evaluación y manejo de la fertilidad, y manejo de la fertilización, en una agricultura sustentable.

El aspecto relacionado con cantidad deseable de cosecha, o producción objetivo, basado en la suficiencia para cubrir los requerimientos del núcleo familiar del productor agropecuario, se podría evaluar de la relación entre ingreso total o beneficio por unidad de producción, el cual se deriva de la producción por unidades de superficie homogéneas, la superficie de la unidad de producción, y el costo por unidad de producto, y el ingreso requerido por el productor para suplir los requerimientos en el corto plazo del núcleo familiar (ejemplo alimentación, vivienda, salud, educación), y los requerimientos para el mediano y largo plazo (ejemplo mantenimiento, educación, jubilación, seguridad de descendencia). Foster (1992) destacó a nivel de unidad de producción, la importancia de considerar, además del beneficio en el corto plazo, el beneficio en el largo plazo para asegurar la sobrevivencia año a año, y la transferencia intergeneracional.

Otras características deseables del sistema, y que cubriría las expectativas de los productores de disminuir los riesgos de adoptar tecnologías y/o establecer sistemas de producción poco apropiados para su condición medio-ambiental específica, relacionada con la capacidad de evaluación ex-ante de prácticas de manejo (ejemplo formas de aplicación y tipo de fertilizantes, aplicación de riego, incorporación o no de residuos de cosecha, tipo de labranza, disponibilidad de abonos orgánicos), se pueden incluir o abordar mediante la consideración del efecto o impacto de estos factores en procesos importantes en el suelo relacionados con la disponibilidad y accesibilidad de nutrientes, y mediante la integración de estos procesos en mecanismos interactivos de simulación que consideran las relaciones suelo-planta-manejo-clima.

Como ejemplo de la consideración de estas prácticas de manejo en procesos importantes del suelo, e integración en mecanismos interactivos e integrales, se puede señalar las consideraciones de aplicación de fertilizantes nitrogenados, y la intensidad de incorporación de residuos orgánicos debido al tipo de labranza realizado por Delgado y Núñez (2004), en un modelo de simulación de procesos en el suelo, integrado al desarrollo del cultivo de maíz. El desarrollo e implementación de estos mecanismos integrales permitirán, además, cubrir otro tipo de expectativas como es la necesidad de disponer mecanismos que podrían incrementar la eficiencia de utilización de los recursos, y preservación de la calidad ambiental, mediante la evaluación conjunta de prácticas de manejo (ejemplo riego, labranza, fechas de siembra), y escenarios

climáticos probables (ejemplo períodos de sequía, inundaciones, etc.,) y/o ocurrencia de plagas y enfermedades, que afectarían el desempeño de los cultivos y eficiencia de utilización de nutrimentos y agua.

Algunas consideraciones sobre límites o niveles tolerables de emisiones de elementos a la atmósfera y agua, y de contenidos de nutrimentos en las cosechas, y/o disposición de subproductos de la actividad agrícola: El enfoque integral del manejo de la fertilidad del suelo, y aplicación de fertilizantes debe estar asociado al ciclaje de elementos directamente relacionados con la nutrición de los cultivos, y con aquellos elementos que causan impacto directo o indirecto (en el corto, mediano, y largo plazo), en las características y funciones del sistema suelo-agua-atmósfera.

Aunque ha sido ampliamente reseñado el impacto de la acción de gases invernadero (CO_2 , NO , N_2O , CH_4) en las características, componentes, y funciones de la atmósfera y el riesgo sobre la vida en el planeta (Smith, 2003), y el impacto de algunas prácticas de manejo agrícolas para mitigar las mismas, aún no existen normativas locales, regionales, o globales de niveles de emisión tolerables o aceptables. Sin embargo, es necesario y/o apropiado: 1) establecer prácticas de manejo y sistemas de producción que, de manera relativa, presenten menor riesgo de emisión de gases, a la vez que permitan suplir los requerimientos de los productores, y mantener las propiedades beneficiosas del suelo y agua (ejemplo de estudios de evaluación de prácticas de manejo las señala Matson *et al.*, 1998), y 2) avanzar en la determinación de niveles tolerables o aceptables de emisiones basados en las condiciones de suelo y clima de las unidades de producción, la disponibilidad de equipos y tecnologías, y capacidades económicas de los productores, y 3) avanzar en la determinación y establecimiento de lineamientos locales, nacionales, regionales o internacionales que regulen las emisiones.

Medidas o estrategias similares a las indicadas previamente para la mitigación de emisiones de gases invernadero y el efecto sobre el medio ambiente, deben ser consideradas para la disposición y manejo de residuos o subproductos de las actividades agrícolas (ejemplo estiércoles de animales, o subproductos de proceso de caña de azúcar), que de no ser manejados adecuadamente podrían tener efectos nocivos sobre el agua, atmósfera, suelo, cultivo y aún sobre la salud humana.

Caracterización cuantitativa y modelización dinámica de mecanismos y/o procesos que intervienen en la disponibilidad y accesibilidad de nutrimentos, y factores de manejo, sistemas de producción y clima que las afectan: En la propuesta, debido a que se desea un sistema que pueda ser empleado en diferentes condiciones de suelo, clima, y condiciones de manejo, y que permite diagnosticar la fertilidad del suelo (en el corto y mediano plazo), y la evaluación del impacto de la fertilización, prácticas de manejo, y sistemas de producción, desde períodos cortos de tiempo (ejemplo etapas durante el ciclo del cultivo), hasta períodos prolongados (años), se hace necesario la integración cuantitativa de los principales y/o más importantes procesos involucrados que afectan tanto los contenidos de nutrimentos realmente disponibles, así como a las fuentes orgánicas de diferente calidad y accesibilidad a los descomponedores del suelo.

En esta propuesta la caracterización cuantitativa de la disponibilidad y accesibilidad de nutrimentos, a diferencia de la caracterización descriptiva que sólo se basa en la medición de los cambios de algunas propiedades de los suelos (Carter, 2002), considera los diferentes compartimientos orgánicos, minerales de nutrimentos, los principales procesos y características biológicas, químicas, y físicas del suelo, que varían naturalmente en el espacio o perfil del suelo, o que son alterables por prácticas de manejo, sistemas de producción, y parámetros climáticos.

Esta estrategia de investigación, orientada hacia la determinación cuantitativa de los diferentes compartimientos orgánicos y minerales de nutrimentos en el suelo relacionados con su disponibilidad de nutrimentos, y la susceptibilidad de alteración de los mismos debido a condiciones de manejo, sistemas de producción implementados que alteran procesos y/o características del suelo donde estos compartimientos están involucrados, o por condiciones propias o naturales de los suelo, permitirá la determinación de la disponibilidad inmediata o futura de los nutrimentos, y del efecto de sistemas de producción o prácticas de manejo en la misma.

Un ejemplo de la relación entre los contenidos de N en diferentes compartimientos físicos (agregados del suelo de diferente tamaño), fracciones orgánicas específicas (macro materia orgánica, MO), y fracción mineral del suelo (contenido de nitrógeno mineral en las formas de nitrato y amonio), con el N disponible medido mediante el N extraído por un

cultivo indicador es presentado por Delgado (2003), quien encontró relación significativa entre estas fracciones y el N disponible para un grupo de suelos con alta capacidad de suplencia del elemento, donde la formación de agregados parece seguir el modelo propuesto por Tisdall y Oades (1982), lo cual sugiere una relación entre la MO del suelo y la agregación (la MO actúa como agente enlazante en la formación de agregados), lo cual afecta su descomposición y la liberación de N para la nutrición de las plantas.

Otros intentos de integración cuantitativa de factores y procesos en el suelo que afectan la disponibilidad de N, mediante el establecimiento de compartimientos de diferente calidad, es presentado por Van Veen *et al.* (1985), y Molina y Smith (1998). Delgado y Núñez (2004), considerando e integrando algunos de los elementos indicados por Van Veen *et al.* (1985), presentan un modelo más general para predecir la disponibilidad de N (Figura 2). Por otro lado, Salas (2001) presenta un modelo para predecir la disponibilidad de P a partir de las fracciones orgánicas y minerales del elemento en el suelo.

Debido a que se desea desarrollar un sistema capaz de evaluar tanto la evolución de la fertilidad del suelo en el corto plazo, para establecer sistemas de manejo y fertilización adecuada durante el ciclo del cultivo, y en un mediano plazo y corto plazo para evaluar la sustentabilidad de los sistemas de producción y prácticas de manejo, es necesario integrar cuantitativamente procesos de diferentes intensidades y duración que afectan tanto los compartimientos minerales realmente disponibles (ejemplo contenidos de nitrato y amonio, y especies de fósforo, los cuales están sujetos a pérdidas por desnitrificación, lixiviación en el primer caso, o precipitación en el segundo), así como los compartimientos orgánicos y minerales que también están involucrados en la disponibilidad de nutrimentos, y que son alterables por condiciones de manejo y/o sistemas de producción.

Como ejemplo de estos procesos de menor velocidad (años) que afectan la disponibilidad de nutrimentos, se puede señalar el proceso de agregación del suelo el cual está asociado al ciclaje de la MO en el suelo y condiciones de manejo.

Aunque en el ciclaje de la MO ocurre un proceso de descomposición a corto plazo, la estabilización de parte de ella en los agregados impactará su descomposición y la disponibilidad de nutrimentos en el largo plazo.

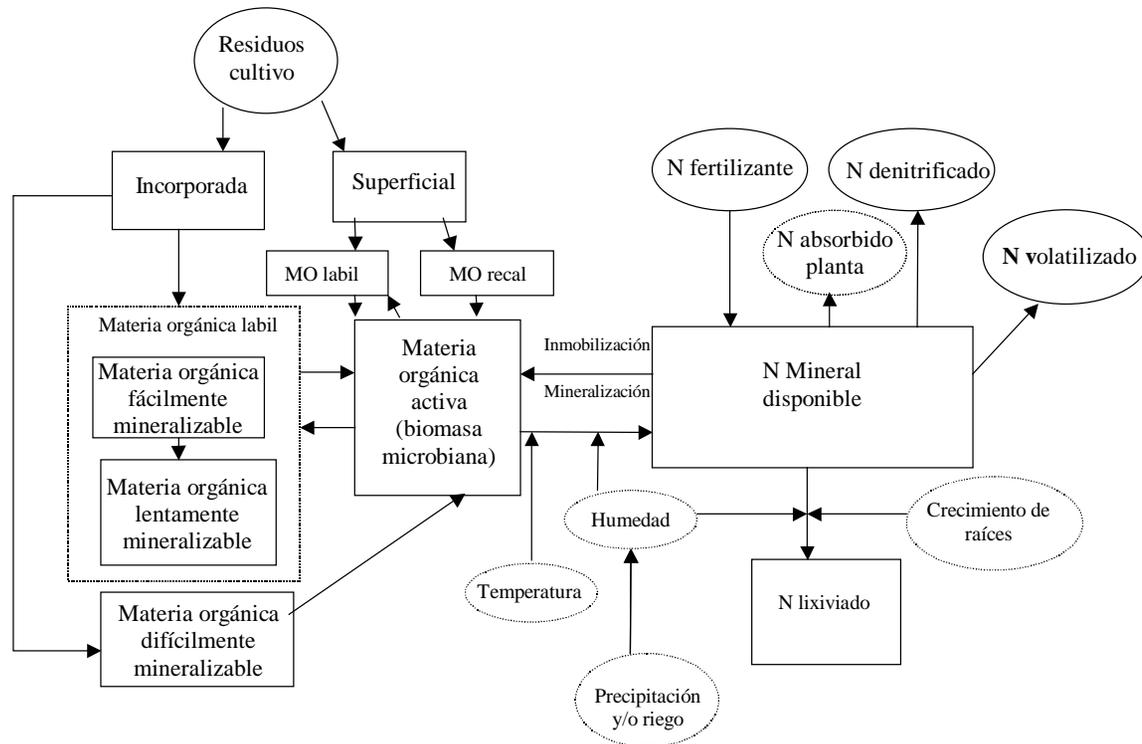


FIGURA 2. Factores y procesos considerados en la determinación de N disponible en el suelo (Delgado y Núñez, 2004).

Six *et al.* (1998 y 2000), destacaron el rol de la agregación bajo diferentes sistemas de labranza en el ciclaje de la MO y de las fracciones orgánicas más labiles del suelo. El tiempo de residencia fue normalmente mayor, y la cantidad de carbono orgánico en las diferentes fracciones menor, en sistemas bajo labranza convencional que en sistemas no disturbados.

El tiempo de residencia media del carbono bajo labranza convencional fue de 44 años *versus* 73 años bajo labranza mínima. Según Paúl y Clark (1996), el tiempo de vida media de MO protegida es de aproximadamente 9,1 años ($0,0003 \text{ d}^{-1}$).

Como ejemplo de procesos de mayor intensidad o velocidad que también impactan la disponibilidad de nutrimentos es la descomposición de residuos de orgánicos o residuos de cosecha agregados al suelo, que no son protegidos o estabilizados en estructuras del suelo como se indicó previamente. Las tasas de descomposición y tiempo promedio de residencia para residuos orgánicos de diferente calidad y/o tipo han sido presentados por Paúl y Clark (1996): así para paja de centeno la tasa de descomposición es de $0,03 \text{ d}^{-1}$ la cual, asumiendo tasa de descomposición de primer orden, tendría un tiempo reposición promedio de 33 días.

Otros procesos de (mayor intensidad) y/o menor duración que afectan la disponibilidad de nutrimentos, en este caso afectando el compartimiento mineral de fácil disponibilidad para el cultivo, por ejemplo, es el proceso de desnitrificación de $\text{NO}_3\text{-N}$ en el suelo. Así Sexstone *et al.* (1985) relacionaron la tasa de desnitrificación y la ocurrencia de períodos de lluvia y riego, lo que denota que se trata de procesos de corta duración y que dependen de circunstancias de suelo, clima, y manejo (ejemplo disponibilidad de $\text{NO}_3\text{-N}$ y carbono de fácil descomposición) que pueden variar en cortos períodos de tiempo durante el ciclo del cultivo.

Otro aspecto que es considerado en esta propuesta, y ello permite la aplicación del sistema de evaluación y manejo de la fertilidad en diferentes condiciones de suelo y manejo, es la evaluación de la accesibilidad de los nutrimentos asociada a las características del perfil del suelo, y al desarrollo del sistema radical de los cultivos. Debido a que el sistema radical es afectado por las propiedades del suelo, especial atención debe tomarse en la selección de parámetros de suelo que permitan expresar y hacer efectiva la normal variación espacial de características del suelo, lo que permitirá realizar análisis a nivel de unidades homogéneas dentro

de las fincas de producción, variables que denoten la estratificación de propiedades y procesos dentro del perfil del suelo, y variables que sean alterables por condiciones de manejo y de los sistemas de producción (ejemplo densidad aparente, agregación del suelo, concentración de nutrimentos (Miller, 1986)). Un ejemplo de la alteración en la absorción de N disponible debido al efecto de algunas de las propiedades del suelo es observado en los estudios de García *et al.* (1988), quienes encontraron que la compactación y la colocación del N afecta el desarrollo radical.

Es importante considerar las características morfológicas del sistema radical asociada a la absorción de nutrimentos, y las principales características de suelo que afectan el desarrollo del mismo, y el efecto de prácticas de manejo o sistemas de producción en algunas de estas propiedades y/o características. Un ejemplo de las principales características de suelo (ejemplo contenido de arena, densidad aparente, parámetros de humedad en el suelo, contenido de N), cultivo (ejemplo número de raíces primarias, máximo desarrollo vertical observado, estadio de crecimiento de máximo desarrollo vertical), clima (ejemplo temperatura mínima y máxima del aire) que afectan el desarrollo radical, e integrados en un modelo de simulación es presentado por Delgado (2003).

Los mecanismos de evaluación de disponibilidad de nutrimentos, según se sugiere de los aspectos indicados previamente, deberían considerar:

1. Los compartimientos orgánicos e inorgánicos de nutrimentos en el suelo sensibles a condiciones de manejo.
2. Los procesos que motorizan o retardan el flujo de nutrimentos entre los compartimientos en el corto, mediano, y largo plazo.
3. La caracterización cuantitativa de la acción de prácticas de manejo (ejemplo fertilización, y labranza), y sistemas de producción (ejemplo rotación de cultivos, tipo de cultivo) de manera directa en los compartimientos de elementos en el suelo, o mediante su acción en propiedades del suelo que afectan el flujo de nutrimentos entre compartimientos en el suelo.
4. La estratificación física de los compartimientos de nutrimentos, y procesos en el perfil del suelo motorizadas por la acción de los sistemas de producción y prácticas de manejo.

5. Integración de procesos de diferente intensidad con diferente tiempo de vida media. Los tiempos establecidos para evaluación de sustentabilidad dependerá de la velocidad o rapidez con la cual los procesos o cualidades claves del suelo, clima, agua y ambiente sean afectados.

Modelos de simulación dinámicos: El uso de modelos integrales e interactivos permitirán hacer un seguimiento del destino de nutrientes en el sistema suelo-agua-planta-atmósfera, y la evaluación del impacto de prácticas de manejo y sistemas de producción en ello, y su utilización para la evaluación de sustentabilidad de esas prácticas. Por otra parte, la evaluación cuantitativa de la capacidad de suplir nutrientes por el suelo permitirá, asociado a un desarrollo cuantitativo similar de desarrollo del cultivo e impulsado por la cantidad de nutrientes absorbidos desde el suelo y elementos removilizados dentro de la planta, la evaluación de producción y calidad de la cosecha. Ejemplos de la utilidad de modelos de simulación en la evaluación de sustentabilidad de sistemas de producción o prácticas de manejo en diferentes escenarios de clima, suelo, o manejo, y de la evolución de aspectos específicos como la MO del suelo en condiciones de aplicación de enmiendas orgánicas o fertilizantes nitrogenados son presentados por Thornton (1992), y Paustian *et al.* (1992), respectivamente.

Un aspecto o característica fundamental que debe presentar los modelos de simulación, para la evaluación de la evolución de la fertilidad del suelo, y para el manejo de la fertilización, es la capacidad para pronosticar: 1) en el corto plazo (días) los requerimientos de fertilización y evaluación de escenarios de manejo que permitan la optimización de uso de los mismos, mientras se mantiene la calidad del suelo y medioambiente, y la producción y calidad de las cosechas, y 2) en el mediano y largo plazo (meses, años, décadas) los cambios en propiedades y/o cualidades del suelo que son alteradas por las condiciones de manejo, y por los sistemas de producción implementados. Un ejemplo de un modelo integral con estas características es el modelo CENTURY (Metherell *et al.*, 1993), y el modelo DAYCENT el cual es la versión modificada del CENTURY, para simulación en base diaria con énfasis en la evaluación de emisión de gases (Parton *et al.*, 1998).

Debido a la necesidad de dar una recomendación de fertilizantes, y prácticas de manejo de manera individualizada, según las características bio-físicas (suelo, clima) específicas de las unidades de producción, los

modelos deben estar basados en los principales procesos bio-físico-químicos del suelo, y estar impulsado por las principales variables o propiedades de suelo que varían espacialmente o en el perfil del suelo de manera natural, o que son normalmente alterables por condiciones de manejo de los sistemas agrícolas.

En la Figura 2 se presenta, a manera de ejemplo, los principales componentes y procesos considerados para predecir la disponibilidad de N en el suelo (Delgado y Núñez, 2004), donde se considera procesos como la mineralización e inmovilización microbiana, lixiviación, absorción de N por el cultivo, que afectan directamente la disponibilidad de N, así como la incorporación de MO que afectan indirectamente la disponibilidad de N mediante la alteración de los compartimientos orgánicos del elemento en el suelo que están o son sujetos al proceso de mineralización. A su vez, los procesos de mineralización son afectados por la temperatura y humedad del suelo, las cuales a su vez son variables que cambian según las características ambientales o climáticas del sitio.

Mediante el uso de los modelos de simulación integrales e interactivos, se podría evaluar tanto el impacto de prácticas de manejo o sistemas de producción (ejemplo fertilización, labranza, sistemas de producción) en características individuales o específicas de suelo (ejemplo capacidad de campo, disponibilidad de N), y en cualidades del suelo (ejemplo volumen de suelo explorable, accesibilidad de nutrientes en el perfil del suelo, y capacidad de suministro de nutrientes), así como el efecto de estos cambios en el desempeño actual y futuro de los cultivos que conforman los sistemas de producción.

Un buen ejemplo del uso de los modelos de simulación para la evaluación de la producción de caña de azúcar sometida por períodos prolongados a diferentes sistemas de manejo de residuos y fertilización nitrogenada, y su efecto en los contenidos de MO del suelo y en la lixiviación de N, es presentado por Vallis *et al.* (1996) en un suelo de Australia. Este aspecto es de gran relevancia dado que la evaluación de sustentabilidad es un proceso integral que requiere la consideración de los diferentes componentes (suelo-agua-cultivo-clima-productor). Otro aspecto relevante de la utilización de modelos de simulación basados en procesos, y de carácter integral e interactivo, lo constituye la capacidad de realizar evaluaciones ex-ante de la sustentabilidad de prácticas de manejo y sistemas de producción, debido a la lentitud con la cual se podrían manifestar cambios en las propiedades importantes e impactantes del

suelo, por la acción de las prácticas de manejo y/o sistemas de producción, y el efecto de estos cambios en la cantidad y calidad de las cosechas.

Sistema de información de requerimientos nutricionales y características de crecimiento de nuevos materiales genéticos, y de las principales características de las fuentes nutricionales orgánicas y minerales alternativas: El desarrollo de nuevos materiales genéticos, normalmente conlleva requerimientos nutricionales, o características morfo-fisiológicas adaptativas diferentes. Eghball y Maranville (1993), evaluando desarrollo de raíces de diferentes genotipos de maíz bajo estrés de nitrógeno y agua, observaron diferencias en peso y longitud radical entre genotipos, y de manera similar destacan que todos los parámetros evaluados, con excepción del radio radical y el flujo de N, era superior en los híbridos que en los genotipos consanguíneos, y Costa *et al.* (2002), comparando materiales genéticos con rasgos frondosos y materiales normales, encontró que los primeros presentaban mayor longitud radical total y superficie radical. Otras diferencias entre híbridos, como la distribución de fotosintetizados entre la parte aérea y la parte subterránea, han sido observados por Xu y Juma (1993), quienes encontraron en evaluaciones de cebada, que la distribución de C es controlada por el cultivar.

Otros estudios señalaron diferencias entre genotipos en la eficiencia de utilización del N aplicado como fertilizante, y en la eficiencia de reutilización (removilización) de N entre tejidos de la planta. Así, Halitligil *et al.* (2000) y Ma y Dwyer (1998) presentaron diferencias de variedades de trigo en la eficiencia de utilización de N y de agua del suelo, y en la eficiencia de utilización del N aplicado como fertilizante por maíz, respectivamente, y Tsai *et al.* (1991) observaron diferencias en la eficiencia de redistribución de N desde tejidos vegetales hacia el grano.

En relación a nuevos materiales fertilizantes minerales u orgánicos, y/o alternativas biotecnológicas, es importante caracterizar sus propiedades o características, para ser considerados en los planes de fertilización. Así, Espinoza y Gutiérrez (2003) destacan el potencial de algunos ecotipos de *Azolla filiculoides*, debido a su alta tasa de fijación de N, y otros a causa de su más elevada tasa de crecimiento, para ser empleados en el suministro de N o como cobertura en cultivos de arroz. Otros ejemplos de alternativas biotecnológicas, y que presentan potencialidades para ser empleados en el manejo de la nutrición de los cultivos son el

empleo de microorganismos solubilizadores de P de la roca fosfórica (Reyes, 1991), y el empleo de hongos micorrizicos.

Los aspectos señalados destacan la importancia de asociar e integrar los programas de desarrollo de nuevos materiales genéticos (ejemplo variedades e híbridos) con los programas de evaluación y manejo de la fertilidad de suelo para el desarrollo de materiales acorde con la filosofía de desarrollo de agricultura sustentable, para garantizar el desarrollo de materiales productivos y con bajos requerimientos de insumos, más eficientes en la utilización de los nutrimentos asimilados, y capaces de utilizar más eficientemente las fuentes naturales de nutrimentos del suelo.

Además, los programas de mejoramiento, y de desarrollo biotecnológico podrían utilizar algunas propiedades reconocidas de algunos materiales genéticos, como ejemplo la más elevada capacidad de las leguminosas para solubilizar P del suelo (Li y Barber, 1991; Pérez y Smyth, 2005), y desarrollar materiales más productivos, pero con menor requerimientos de insumos. Estratégicamente, los programas de mejoramiento genético, una vez identificado materiales promisorios para una agricultura sustentable, deberían incluir en la evaluación final de estos materiales, además de aspectos relacionados con productividad, parámetros de cultivo asociada a la eficiencia de utilización y uso de nutrimentos (ejemplo patrón de crecimiento del sistema radical, eficiencia de utilización de nutrimentos), que complementen la selección final de los mismos.

Otros aspectos que deben ser caracterizados y cuantificados, es el aporte de nutrimentos por la incorporación de abonos orgánicos, o cultivos de cobertura como leguminosas, los fertilizantes minerales tradicionales o modificados, y de nuevos materiales fertilizantes minerales. Estos aspectos, aunque en algunos casos han sido ampliamente estudiados en el aporte de nutrimentos a los cultivos, en el país poco se ha incorporado en los sistemas de recomendación de fertilizantes.

Lo antes analizado (desarrollo y caracterización de nuevos materiales genéticos, caracterización cuantitativa de la capacidad y patrón de suministro de nutrimentos por nuevos fertilizantes orgánicos o minerales, etc.), sugiere la necesidad de establecer un conjunto mínimo de datos o información que debe ser recopilada por los evaluadores, para ser empleada en los mecanismos integrales de evaluación (Modelos de simulación), que permitirá la evaluación integral de prácticas de manejo y sistemas de producción.

Como ejemplo, del cultivo sería necesario caracterizar el patrón de acumulación de materia seca, y nutrimentos, distribución de fotosintetizados entre diferentes partes de la planta, patrón de crecimiento y distribución del sistema radical, y en todos los casos relacionar estos patrones con otras variables del cultivo y ambiente durante el ciclo del cultivo. En el caso de los fertilizantes minerales, y nuevas fuentes orgánicas de nutrimentos, se requeriría la determinación de características intrínsecas de los materiales (ejemplo relación C:N, contenido de lignina, proporción de fracción labil y recalcitrante, contenido de polifenoles) que de manera conjunta con características propias del suelo (ejemplo textura, contenido de humedad, grado de contacto suelo / residuo), permitirá la determinación de las tasas de mineralización.

Para los fertilizantes minerales sería necesario determinar propiedades o características intrínsecas de estos (ejemplo pH de la solución producto de la hidrólisis del fertilizante, concentración del elemento, especie química dominante del nutrimento y iones acompañantes, potencial de acidificación, solubilidad), que asociada a otras características del suelo (ejemplo pH, contenido de humedad, temperatura, capacidad buffer del suelo), y a condiciones de manejo que afectaran la disponibilidad del nutrimento, permitiría determinar los más apropiados para una condición específica.

Índices integrales de sustentabilidad: La evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas y/o prácticas de manejo, como se ha considerado en esta propuesta, requiere el desarrollo de índices integrales que consideren: 1) los aspectos más importantes dentro de cada uno de los componentes del sistema, 2) el establecimiento de límites aceptables de referencia para comparar y evaluar esos factores (Carter, 2002), y 3) la ponderación de la contribución de cada uno de esos componentes en la conformación del índice integral (Morse *et al.*, 2001).

Lo antes indicado destaca la naturaleza compleja de estos índices y la subjetividad en el peso o importancia que se le confiere a cada componente o factor en la conformación del índice integral, tal como lo destaca Morse *et al.* (2001).

Algunos elementos relacionados a: 1) expectativas del productor, 2) utilización de insumos y servicios del área agrícola o localidad donde se ubica la unidad de producción, y cumplimiento de expectativas de demanda local por productos específicos, 3) calidad del medio ambiente

y 4) evolución de cualidades del suelo como la fertilidad y/o otras funciones del suelo, que pueden emplearse para el diseño de un índice integral de evaluación de la sustentabilidad de la fertilidad del suelo, a manera de ejemplo, se indican el Cuadro.

Algunos de los elementos que conforman el índice integral, como ejemplo, se colocaron en el Cuadro. Como se observa, existen elementos que permiten evaluar el impacto de los sistemas de producción y/o prácticas de manejo a diferentes niveles o escalas. A nivel de unidades homogéneas de suelo dentro de la finca de producción, se evalúa el impacto en características, propiedades y/o cualidades importantes del suelo, como es la capacidad del suelo para suplir nutrientes y agua, en unidades homogéneas de suelo. Las evaluaciones a este nivel de unidades homogéneas dentro de las fincas de producción, constituyen el nivel de mayor detalle.

A nivel de finca de producción, se considera elementos que permiten evaluar el logro de las expectativas del productor en cubrir la demanda inmediata y futura del núcleo familiar (ejemplo ingreso neto), a nivel local o regional se utiliza elementos que permite evaluar la utilización de insumos y servicios ofrecidos a nivel local, y la producción de productos para cubrir la demanda local, y para evaluar el impacto a nivel global, se emplea elementos que permiten evaluar la preservación al mejoramiento o preservación de propiedades beneficiosas del planeta (ejemplo la evaluación de la emisión de gases invernadero a la atmósfera).

Asociado a los elementos que se considera para la conformación del índice integral (ver Cuadro), se sugiere, a manera de ejemplo, algunos parámetros que pueden ser utilizados para el establecimiento de límites de referencia y/o para la categorización del grado de sustentabilidad de un sistema de producción o práctica de manejo determinado. Así, para la evaluación del cumplimiento de las expectativas del productor, en cuanto a ingreso requerido para suplir las necesidades del núcleo familiar y en cuanto a calidad y cantidad del producto o cosecha, el ingreso neto del productor y calidad de cosecha obtenidos, se podrían confrontar contra el ingreso neto esperado para cubrir las expectativas y contra los niveles de proteínas, vitaminas (relacionados a la calidad nutricional) o contenidos de almidón (relacionados a la calidad molinera) deseados. En cada caso sería necesario evaluar el grado de desviación entre los valores obtenidos debido a un manejo determinado, y los límites de referencia y categorizar esas desviaciones.

CUADRO. Elementos a considerar, en algunos de los componentes del sistema suelo-agua-planta-hombre-medioambiente, para la evaluación de sustentabilidad.

Componente del sistema	Elemento para evaluación de Sustentabilidad	Nivel de dominio o impacto	Límites de referencia para la evaluación
	Ingreso neto en la Finca	Finca	- Ingreso esperado o aceptable para cubrir requerimientos productor.
Cumplimiento de expectativas del productor	Calidad de cosecha	Unidad homogénea específica de suelo	- Nivel de Proteínas, vitaminas, concentración de nutrimento. - Contenido de compuestos que afectan la calidad para procesamiento industrial (ejemplo contenido de almidón).
Empleo de alternativas y servicios locales y satisfacción de demandas locales.	Utilización de Insumos y/o alternativas, y servicios locales.	Local	- Proporción de insumos no locales aceptables en la explotación. - Proporción aceptable de costos en insumos no locales, <i>versus</i> costos en insumos locales.
	Producción de cosecha y/o subproductos para satisfacer demanda local.	Local / Regional	- Proporción de mercado local satisfecha.
Calidad del medio ambiente.	Emisión de gases a la atmósfera Lixiviación y escorrentía de N hacia aguas profundas y reservorios.	Global Local / Regional	- Límites aceptables a nivel regional o global. - Límites aceptables a nivel local o regional.

... continúa

.../... continuación CUADRO.

Componente del sistema	Elemento para evaluación de Sustentabilidad	Nivel de dominio o impacto	Límites de referencia para la evaluación
Calidad del medio ambiente	Disposición de sub-productos de la actividad Agroindustrial.	Local / Regional	<ul style="list-style-type: none"> - Normativas locales y regionales.
Fertilidad del suelo (suplencia y accesibilidad) y otras funciones del suelo	Capacidad de suplencia de nutrientes.	Unidad homogénea específica de suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad inicial o natural de suplencia de nutrimento de los suelos. - Variación relativa de la capacidad de suplencia entre sistemas de producción o prácticas de manejo. - Cantidad de nutrimentos en comportamientos del suelo asociados a la capacidad de suplencia. - Volumen de suelo explorable por el sistema radical.
	Conservación de materia orgánica y ciclaje de nutrientes.	Unidad homogénea específica de suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Variación relativa de la diversidad biótica entre sistemas de producción y/o en relación a la condición inicial o natural del sistema. - Variación relativa del contenido de materia orgánica del suelo. - Variación en la cantidad de materia orgánica en agregados del suelo.
	Capacidad de almacenaje y suplencia de agua, y propiedades hidráulicas del suelo.	Unidad homogénea específica de suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Variación de la capacidad de suplencia de agua en relación a la condición natural o inicial de los suelos, y/o entre sistemas de producción o prácticas de manejo.

Para el caso de la fertilidad del suelo, se podría considerar aspectos como capacidad de suplencia y accesibilidad de nutrimentos, y otras funciones del suelo como conservación y ciclaje de la MO, y la capacidad de almacenaje y suplencia de agua, y para la evaluación de la calidad del medio ambiente, la emisión de gases a la atmósfera y la lixiviación de nutrimentos a las fuentes de agua, y la disposición de subproductos de la actividad agrícola. En cada caso los parámetros utilizados para evaluar cada aspecto se comparan contra el valor límite o de referencia, y se determinara y categorizara el grado de desviación relativo a la condición sustentable.

Para la determinación del índice integral se considerara todos los aspectos evaluados, previa ponderación del peso que cada uno de ellos tendrá en la conformación del mismo, similar a lo sugerido por Comerma *et al.* (1992), quienes utilizaron un procedimiento similar para la valoración de la aptitud física de la tierra para diferentes sistemas de producción. El índice integral a su vez tendrá una categorización, la cual evaluara el grado de sustentabilidad final.

Características bio-físico-climáticas de áreas homogéneas dentro de la unidad de producción y desarrollo de sistemas de información geográfica: La selección de planes de fertilización, prácticas de manejo y sistemas de producción para una agricultura sustentables debe estar basado, entre otros aspectos como se ha indicado previamente, en su impacto en el mantenimiento, mejoramiento o deterioro de los atributos del suelo relacionados con la suplencia y accesibilidad de nutrimentos y agua para las plantas y/o otras funciones del suelo (ejemplo conservación de MO y ciclaje de nutrimentos, y propiedades hidráulicas del suelo), en la cantidad y calidad de la cosecha, calidad del medio ambiente (ejemplo emisión de gases a la atmósfera, lixiviación, escorrentía), y capacidades técnico-económicas y expectativas de los productores, como se indicó en el Cuadro.

La evaluación de los aspectos indicados previamente, y que debido a su importancia son considerados en los mecanismos integrales e interactivos discutidos previamente (Modelos de simulación dinámicos), son impulsados por propiedades del suelo que varían naturalmente espacialmente y en el perfil del suelo, aún dentro de áreas que conforman unidades de producción o fincas, o que son alterables (en el corto, mediano o largo plazo) por condiciones de manejo y/o de los sistemas de producción establecidos.

La importancia de considerar las especificidades (mediante el establecimiento de unidades o áreas de suelo homogéneas), y con ello reducir las desventajas de las generalizaciones, es analizada por Buol y Smith (1988), quienes, como ejemplo, destacaron las ventajas y desventajas económicas en la aplicación de una práctica de labranza profunda dependiendo de la textura y espesor de la capa superficial del suelo, y textura del horizonte subsuperficial, y la utilización de otras variables (ejemplo capacidad de fijación o de liberación de nutrimentos, la CIC, textura y profundidad de ocurrencia de horizontes con ciertas propiedades), adicionales a las cantidades de nutrimentos obtenida por soluciones extractoras, para mejorar la interpretación de los análisis de suelos.

Otras variables del suelo (ejemplo rugosidad superficial, micro relieve, forma del terreno, pendiente, espesor de un horizonte, profundidad de ocurrencia de un horizonte determinado), que afectan directa o indirectamente procesos importantes del suelo (ejemplo infiltración, drenaje) deben ser consideradas. Ejemplos de diferencias en propiedades del suelo, mediante la utilización de técnicas geo estadísticas, que podrían afectar la capacidad de suplencia, o destino de nutrimento aplicado como fertilizante, y con ello la eficiencia de utilización de los mismos, aún en pequeñas áreas o superficies, se sugiere de Ovalles y Rey (1995), quienes en mapas de fertilidad de suelos a escala 1:25.000 detectaron diferencias en características como contenidos de arena, arcilla, limo y MO entre unidades de suelo, y dentro de esas unidades de suelo.

En esas unidades evaluadas, el área dentro de la cual se podría conseguir la máxima homogeneidad en algunas de las variables estudiadas es entre 3,1 y 1,2 has, lo cual es, normalmente, inferior a las superficies de las fincas de producción en el área de estudio: esto destaca la necesidad de establecer áreas homogéneas dentro de las fincas de los productores y para el establecimiento de prácticas de manejo apropiadas en cada una de ellas. La determinación de áreas homogéneas debe considerar parámetros o propiedades del suelo que estén asociadas con el desempeño de los cultivos de manera de hacer consideraciones prácticas de las mismas.

De lo discutido se destacan dos aspectos: la necesidad de establecer áreas mínimas homogéneas de manejo, y la determinación de variables y parámetros de suelo que intervienen en procesos relevantes. En relación al establecimiento de superficies mínimas homogéneas de manejo, se

creo necesario integrar y ponderar aspectos como 1) la homogeneidad de características relevantes del suelo, 2) prácticos como disponibilidad tecnologías (ejemplo equipos de labranza), 3) técnico-científicos como los límites o rangos aceptables de desuniformidad de características espaciales y del perfil del suelo que estén involucradas o impulsen de manera impactante procesos importantes del suelo, y/o que afecten significativamente el desempeño de los cultivos, y 4) significancia del beneficio ecológico-económico-ambiental percibido debido al establecimiento de superficies mínimas de manejo.

En esta propuesta, debido a que se considera los principales procesos involucrados en la evaluación dinámica de la disponibilidad y accesibilidad de nutrientes (procesos impulsados por características climáticas, y por variables de suelo naturalmente variables o alteradas por prácticas de manejo y sistemas agrícolas), calidad del suelo y medio ambiente, etc., es necesario evaluar tanto las variables de suelo que ejercen una acción directa o son incluidas en los procesos evaluados (ejemplo cantidad de nutrientes en compartimientos orgánicos y minerales del suelo), así como aquellos parámetros o variables de suelo que de manera integrada con otras impulsan o intervienen en los procesos (ejemplo parámetros de retención de humedad del suelo, las cuales definen el agua disponible en el suelo que es empleada, de manera directa o relativa, en las funciones donde el efecto de humedad del suelo es considerada).

Un ejemplo de la integración de parámetros de suelo en factores que afectan el crecimiento vertical, y proliferación de raíces en el suelo, lo cual está asociado a la accesibilidad de nutrientes en el perfil del suelo es tomado de Delgado (2003), como se observa en la Figura 3, quien estima los efectos de humedad, resistencia a la penetración, temperatura, y disponibilidad de N en el suelo, en función de los contenidos de arena, densidad aparente, humedad, capacidad de campo y punto de marchites permanente, temperatura, y concentración mínima de N en la solución del suelo bajo la cual no se absorbe N por el cultivo en una base de horizonte por horizonte. Los efectos así calculados, son integrados multiplicativamente para estimar su efecto en el desarrollo vertical (efectos resistencia a la penetración, y temperatura) y proliferación de raíces en los horizontes del suelo (efectos resistencia a la penetración, temperatura, humedad, y disponibilidad de N).

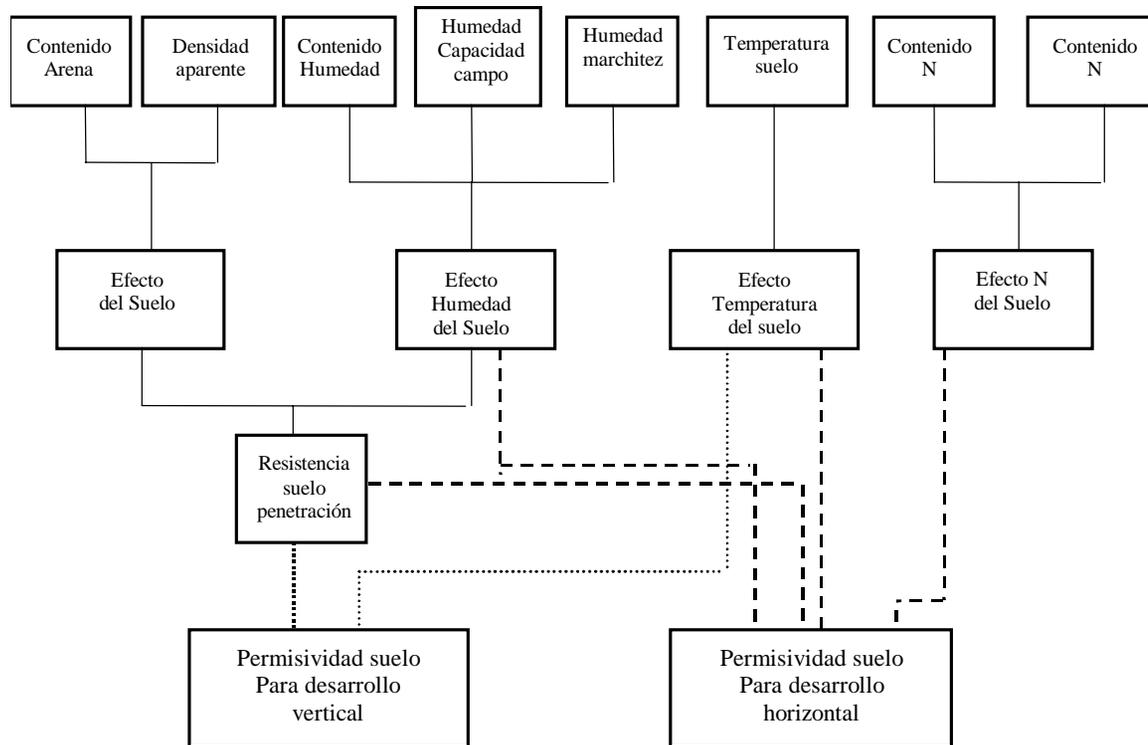


FIGURA 3. Factores o parámetros de suelo que afectan el desarrollo vertical y proliferación de raíces en las diferentes capas del suelo.

Finalmente, debido a 1) la necesidad de caracterización a nivel de finca o unidad homogénea dentro de la finca, 2) el suministro de información para los mecanismos integrales de simulación y evaluación (Modelos de simulación), 3) el almacenaje de información generada por los modelos de simulación, y 4) integración de información real y simulada, es necesario desarrollar Sistemas de información Geográfica (SIG) que permita esas funciones. Ejemplos de la utilidad del uso de SIG y mecanismos de predicción para el manejo y entendimiento de sistemas dinámicos como sistemas pastoriles es presentado por Coughenour (1991).

Usos potenciales del desarrollo e implementación de la propuesta de evaluación, manejo de la fertilidad del suelo, y fertilización para una agricultura sustentable

El desarrollo de un sistema integral para la evaluación y manejo de la fertilidad del suelo, y aplicación de fertilizantes bajo un enfoque de manejo integral del ciclaje de nutrientes, podría permitir entre otros aspectos, como se indica en la Figura 1: 1) la recomendación de dosis y época de aplicación de fertilizantes, y fuentes alternativas de nutrientes como residuos orgánicos, apropiadas para las condiciones específicas de suelo, clima, cultivo, manejo, condiciones económicas, y disponibilidad de recursos técnicos del productor, 2) reajustar las dosis y prácticas de fertilización y manejo durante el ciclo del cultivo, basado en las características reales del suelo, planta, y clima, 3) predicción de cantidad y calidad de cosecha, 4) predicción de la fertilidad del suelo, y características del suelo asociadas a la capacidad de suministro y accesibilidad de nutrientes al cultivo, en diferentes escenarios de suelo, y clima, y condiciones de manejo y sistemas de producción, 5) predicción y evaluación del ciclaje de nutrientes en los diferentes componentes del sistema suelo-agua-planta-atmósfera.

Además, el **SIEMFRF** podría ser útil para la enseñanza, a diferentes niveles desde agricultores hasta investigadores, de los aspectos relacionados con la evaluación y manejo de la fertilidad del suelo, y el manejo de la fertilización para una agricultura sustentable. Más aun, el proceso de desarrollo de un sistema como el **SIEMFRF**, permitirá 1) la determinación de vacíos de información necesaria que pueden constituirse en líneas de investigación, y 2) garantizaría la integración del conocimiento generado en las investigaciones, debido a que aún desde el inicio de esas investigaciones se visualizaría los puntos de enlace y procesos que

permiten la interacción entre los factores dentro de cada componente (ejemplo la relación entre dinámica del N y agua en el suelo) y entre los componentes (ejemplo relación entre crecimiento potencial diario de raíces de un cultivo, y características del suelo que afectan el mismo).

La implementación de un sistema integral como el sugerido requiere, además del desarrollo de cada uno de los componentes individuales (ejemplo modelos de simulación, índices integrales de sustentabilidad, información específica de las características bio-físicas de las unidades homogéneas, entre otros), el desarrollo de un módulo que permita la integración interactiva de los diferentes componentes. Mediante este modulo se podrá, entre otros aspectos, originar y ajustar recomendaciones de fertilizantes, predecir calidad y cantidad de cosechas, para las condiciones específicas de suelo, clima y manejo, así como evaluar interactivamente el efecto de diferentes escenarios de clima y manejo en el desempeño de los sistemas de producción, y la sustentabilidad de los sistemas de producción en las diferentes condiciones de suelo, clima, y condiciones de manejo. La plataforma o programa de programación debe permitir la evaluación interactiva entre componentes, y el almacenaje y procesamiento de información en base diaria.

BIBLIOGRAFÍA

BUOL, S. W. and C. W. SMITH. 1988. Data collection and presentation for improving interpretations for agriculture. **In:** Proceedings of the International interactive workshop on soil resources: Their Inventory, analysis and interpretation for use in the 1990' s. March 22-24, 1988. Sheraton Airport Inn. Minneapolis, Minnesota. Educational development System, Minnesota Extension Service, University of Minnesota. St. Paul, Minnesota.

CARTER, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94:38-47.

COMERMA, J., S. TORRES, D. LOBO, N. FERNÁNDEZ, R. DELGADO y L. MADERO. 1992. Aplicación del sistema de evaluación de tierras de la F.A.O. 1985 en la zona de Turén, Venezuela. Cuadernos de Agronomía Nº 1. Instituto de Edafología. FAGRO, UCV.

COSTA, C., L. M. DWYER, X. ZHOU, P. DUTILLEUL, C. HAMEL, L. M. REID and D. L. SMITH. 2002. Root morphology of contrasting maize genotypes. *Agron. J.* 94:96-101.

COUGHENOUR, M. 1991. A GIS/RS based modeling approach for a pastoral ecosystem in Kenya. **In:** Second international symposium on Advanced technology in natural resources management. Proc. American Society for Photogrammetry and remote sensing. Bethesda, MD., WI. USA.

CRASWELL, E. T. and D. C. GODWIN. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. *Adv. Plant Nutrition.* 1:1-55.

DELGADO, R. 2003. Soil-plant dynamics related to N uptake and soil N availability. Ph.D. diss. Fort Collins, Colorado. Colorado State University.

DELGADO, R. y E. CABRERA de BISBAL. 2005. Un sistema integral de enseñanza, evaluación, y transferencia de tecnologías para una agricultura sustentable en Venezuela. *Agronomía Trop. (Trabajo especial).* 55(2):163-181.

DELGADO, R., R. RAMÍREZ y S. URQUIAGA. 2001. Colocación del nitrógeno en el suelo y la eficiencia de uso por el maíz. *Agronomía Trop.* 51 (3):337-350.

DELGADO, R. y M. C. NÚÑEZ U. 2004. La modelización interactiva en la evaluación de sustentabilidad de sistemas de producción y prácticas de manejo, y en la transferencia de tecnología. *CENIAP Hoy. Revista Digital CENIAPHOY # 6, septiembre-diciembre 2004.* Maracay, Aragua, Venezuela. URL: www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n6/art/delgado_r/arti/delgado_r.htm.

DORAN, J. W., D. G. FRASER, M. N. CULIK and W. C. LIEBHARDT. 1987. Influence of alternative and conventional agricultural management on soil microbial processes and nitrogen availability. *American Journal of alternative agriculture.* 2:99-106.

EGHBALL, B. and J. W. MARANVILLE. 1993. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. *Agron. J.* 85:147-152.

ESPINOZA, Y. y R. GUTIÉRREZ. 2003. Caracterización agronómica de accesiones de Azolla de Venezuela. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 23(3): En prensa.

FOSTER, T. H. 1992. Fostering awareness and facilitating change: Toward increased sustainability. Resource Material for the Training program on Plant Nutrient Management for Sustainable Agriculture. Sep. 14-25, 1992. IFDC, Muscle Shoals, Alabama. USA.

GARCÍA, F., R. M. Cruse and A. M. Blackmer. 1988. Compaction and nitrogen placement effects on root growth, water depletion, and nitrogen uptake. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:792-798.

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

GONZÁLEZ, R. y VONASEK. 1974. Fertilización con N, P, K en campos de maíz del valle medio del Río Yaracuy. 24:365-390.

HALITLIGIL, M. B., A. AKIN and N. BILGIN. 2000. Effect of nitrogen fertilization on yield and nitrogen and water use efficiencies of winter wheat (durum and bread) varieties grown under conditions found in Central Anatolia. Biol. Fertil. Soils. 31:175-182.

HORNICK, S. B. 1992. Factors affecting the nutritional quality of crops. Am. J. Alternative Agric. 7:63-68.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS (INIA). 2004. Manual de alternativas de recomendación de fertilizantes para cultivos prioritarios en Venezuela. INIA. p. 248.

LI, Y. and S. A. BARBER. 1991. Calculating changes of legume rhizosphere soil pH and soil solution phosphorus from uptake. Commun. Soil. Sci. Plant anal. 22(9-10):955-973.

MA, B. L. and L. M. DWYER. 1998. Nitrogen uptake and use of two contrasting maize hybrids differing in leaf senescence. Plant and soil. 199:283-291.

MARTENS, D. A. 2001. Nitrogen cycling under different soil management systems. Adv. in Agron. 70:143-192.

MATSON, P. A., R. NAYLOR and I. ORTIZ-MONASTERIO. 1998. Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. *Science*. 280:112-115.

MATSON, P. A., W. J. PARTON, A. G. POWER and M. J. SWIFT. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*. 277:504-509.

McMICHAEL, A. J. 2005. Integrating nutrition with ecology: balancing the health of humans and biosphere. *Public Health Nutrition*. 8(6A):706-715.

METHERELL, A. K., L. A. HARDING, C. V. COLE and W. J. PARTON. 1993. CENTURY soil organic matter model environment. Technical documentation agroecosystem Version 4.0. Great Plains. System Research Unit Technical report # 4. USDA-ARS, Fort Collins, CO.

MILLER, D. E. 1986. Root systems in relation to stress tolerance. *HortScience*. 21:963-970.

MOLINA, J. A. and P. SMITH. 1998. Modeling carbon and nitrogen processes in soils. *Adv. Agron.*62:253-298.

MORSE, S., N. MCNAMARA, M. ACHOLO and B. OKWOLI. 2001. Sustainability indicators: The problem of integration. *Sustainable Development*. 9:1-15.

MOSIER, A. R., J. W. DORAN and J. R. FRENEY. 2002. Managing soil denitrification. *Journal of soil and water conservation*. 57:505-513.

OVALLES, F. y J. C. REY. 1995. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del lago de Valencia. *Agronomía Trop.* 44(1):41-65.

PARTON, W. J., M. HARTMAN, D. OJIMA and D. SCHIMEL. 1998. DAYCENT and its land surface sub model: description and testing. *Global and planetary Change*. 19:35-48.

PAUL, E. A. and F. E. CLARK. 1996. *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press. Inc. San Diego, Ca. USA. 340 p.

PAUSTIAN, K., W. J. PARTON and J. PERSSON. 1992. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long term plots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:476-488.

PÉREZ, M. J. y T. J. SMYTH. 2005. Comparación del efecto de dos especies forrajeras sobre el pH de la rizosfera y la disolución de rocas fosfóricas de diferente reactividad. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 22:143-156.

REYES, I. 1991. Cuantificación de microorganismos solubilizadores de fosfatos en suelos del yacimiento de roca fosfórica de Monte Fresco. *Rev. Fac. Agron.* 17:373-379.

SALAS, A. 2001. Phosphorus cycling during decomposition of plant residues in weathered soils from the tropics: Influence of plant factors. Ph.D. Diss. Colorado State University, Fort Collins, CO. USA.

SEXSTONE, A. J., T. B. PARKIN and J. M. TIEDJE. 1985. Temporal response of soil denitrification rates to rainfall and irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:99-103.

SIX J., E. T. ELLIOTT and K. PAUSTIAN. 2000. Soil microaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil. Sci. Biol. Biochem.* 32:2 099-2 103.

SIX J., E. T. ELLIOTT, K. PAUSTIAN and J. W. DORAN. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1367-1377.

SMITH, K. A. 2003. Soil-Atmosphere Interactions. **In:** D.K. Benbi, and R. Nieder (de.) *Handbook of processes and modeling in the Soil-Plant System.* Food Products Press. N.Y. USA. p. 311-341.

TISDALL, J. M. and J. M. OADES. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. of Soil Science.* 33:141-163.

THORNTON, 1992. Application of computer modeling to evaluate sustainability. Resource Material for the Training program on Plant Nutrient Management for Sustainable Agriculture. Sep. 14-25, 1992. IFDC, Muscle Shoals, Alabama. USA.

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.

VALLIS, I., W. J. PARTON, B. A. KEATING and A. W. WOOD. 1996. Simulation of the effects of trash and N fertilizer management on soil organic matter levels and yields of sugarcane. *Soil and Tillage Research.* 38:115-132.

VAN VEEN, J. A., J. N. LADD and M. AMATO. 1985. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and clay soil incubated with $[^{15}\text{N}](\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ under different moisture regimes. *Soil Biol. Biochem.* 17:747-756.

XU, J. G. and N. G. JUMA. 1993. Above- and below-ground transformation of photosynthetically fixed carbon by two barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in a typical Cryoboroll. *Soil Biol. Biochem.* 25:1 263-1 272.

**EFEECTO DE FUENTES ALTERNATIVAS
DE FERTILIZANTES CON EL MÉTODO
DE LA FERTIRRIGACIÓN SOBRE LA NUTRICIÓN
MINERAL Y RENDIMIENTOS DE BANANOS
EN UNA FINCA DEL ESTADO ARAGUA, VENEZUELA¹**

Eduardo Casanova O.* y Carmen Rivero*

RESUMEN

Para conocer el efecto de los fertilizantes líquidos Tiosulfato de Amonio (TSA) y Tiosulfato de Potasio (TSK) sobre la nutrición mineral y rendimientos del banano, *Musa paradisiaca* L., se condujo un experimento durante dos años consecutivos en una finca en Santa Cruz, estado Aragua, dotada de un sistema de riego microjet. El área experimental fue de 1,7 ha, en un diseño de bloques al azar con 6 repeticiones y 4 tratamientos. Se usó la variedad Giant Cavendish (*Musa* sp. (L.) AAA) en una población equivalente a 2 100 plantas ha⁻¹. El suelo presentó antes del experimento 76 mg kg⁻¹ de fósforo aprovechable, 139 mg kg⁻¹ de potasio aprovechable, pH 7,5, contenido de materia orgánica de 2,13% y textura franca. Los tratamientos aplicados fueron Sulfato de Amonio granulado (SA, 21-0-0-24S), TSA (12-0-0-26S), TSK (0-0-25-17S) y el manejo tradicional del productor (PROD., 250 kg⁻¹ Urea ha⁻¹ los 5 meses después del trasplante, 420 kg ha⁻¹ de 12-12-17/2 a los 3 meses después del trasplante y 10 l ha⁻¹ de humus líquido fraccionado a los 3 meses después del trasplante y a la floración). Las dosis de N, P y K fueron 150, 20 y 250 kg ha⁻¹ cuando se aplicaron como fertilizantes sólidos. Las dosis de TSA y TSK fueron de 150 l ha⁻¹ aplicadas a través del sistema de riego. Los resultados indicaron que en el promedio de los 2 años el TSK produjo diferencias estadísticas significativas en 10 días de precocidad a la floración en comparación al PROD., mayor perímetro de tallo (58 cm), adecuadas concentraciones de N y K en hojas (2,8% N y 3,1% K), mayor número de bananos por mano (22), mayor número de manos por racimo (12), mayor peso por racimo (41 kg), mayor rendimiento (86 t ha⁻¹), mayor eficiencia agronómica (163 kg fruto kg⁻¹ de fertilizante aplicado) y mayor eficiencia económica (56 Bs ganados / Bs invertido en fertilizante), en relación al tratamiento del productor (PROD).

Palabras Clave: Bananos; *Musa paradisiaca* L.; fertirrigación; tiosulfato de amonio; tiosulfato de potasio; Aragua; Venezuela.

1 Trabajo financiado por PEQUIVEN.

* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Maracay AP 4579, estado Aragua. Venezuela.

E-Mail: casanovaen@cantv.net, criver@cantv.net

RECIBIDO: marzo 03, 2006.

**EFFECT OF ALTERNATIVE FERTILIZER SOURCES
WITH FERTIRRIGATION ON MINERAL NUTRITION
AND YIELD OF BANANAS IN A FARM
IN ARAGUA STATE, VENEZUELA¹**

Eduardo Casanova O.* y Carmen Rivero*

SUMMARY

In this paper an agronomic evaluation of potassium thiosulphate (TSK) and ammonium thiosulphate (TSA) applications during 2 consecutive years on bananas *Musa paradisiaca* L., production, in Aragua State, Venezuela is presented. The experimental area was 1.7 ha using the banana variety Giant Cavendish (*Musa* sp. (L.) AAA) in an equivalent plant density of 2.100 plants ha⁻¹. Soil presented high contents of available P (76 mg kg⁻¹), medium of available K (139 mg kg⁻¹), pH: 7.5, 2.1% organic matter, and loam texture. Four treatments were applied: granulated ammonium sulphate SA (21-0-0-24S), liquid TSA (12-0-0-26S), liquid TSK (0-0-25-17S) and the farmer's usual management PROD (urea, 12-12-17-2Mg and liquid humus). The rates of N, P, K were 150, 20 and 250 kg ha⁻¹ when applied as solid fertilizers. The rates of TSA or TSK applied were 150 l ha⁻¹ using the irrigation system. Results indicated that TSK produced 10 days of earlier flowering, higher stem perimeter (58 cm), the best N concentration in leaf (2.8%), adequate levels of K concentration in leaf (3.1%), and higher fruits/hand (26), hands/bunch (12), bunch weight (41 kg), and yields (86 t ha⁻¹) than the farmer's treatment. Efficiency parameters measured indicated that TSK produced 163 kg of fruits / kg of fertilizer applied and 56 Bs / Bs of fertilizer applied compared to 98 kg fruit/kg fertilizer applied and 31 Bs / Bs of fertilizer applied obtained with the farmer's treatment (PROD).

Key Words: Banana; *Musa paradisiaca* L.; fertirrigation; ammonium thiosulphate; potassium thiosulphate; Aragua; Venezuela.

1 Trabajo financiado por PEQUIVEN.

* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Maracay AP 4579, estado Aragua. Venezuela.

E-Mail: casanovaen@cantv.net, criver@cantv.net

RECIBIDO: marzo 03, 2006.

INTRODUCCIÓN

Venezuela para comercializar y exportar el petróleo pesado que se producirá en la faja petrolífera del Orinoco requiere transformarlo en petróleo liviano. En este proceso de transformación se producirá en el corto y mediano plazo, el subproducto líquido tiosulfato de amonio (TSA), el cual es usado ampliamente en Estados Unidos y México como fertilizante líquido, a través de la fertirrigación. Adicionalmente, se puede producir TSA con el uso de TSA como materia prima, a través de una tecnología sugerida por INTEVEP.

En ese sentido, se han iniciado en el país una serie de evaluaciones en cultivos (caña de azúcar, uvas, mango, bananos) que se riegan con sistemas de presión como el riego por goteo y el microjet, a los fines de generar la tecnología de uso de esos fertilizantes una vez que entren el mercado nacional y así evitar que estos representen un pasivo ambiental para el país. Por otro lado, Ramírez *et al.* (1992) y Sequera (2001) han demostrado el potencial solubilizador del TSA de fuentes de fertilizantes de baja solubilidad (rocas fosfóricas) en suelos de mediana a baja disponibilidad de P y con valores de pH próximos a la neutralidad.

En el año 2005 (datos de la Gerencia de Mercadeo PEQUIVEN – Servifertil) se consumieron en Venezuela 760,000 t de fertilizantes vendidos por PEQUIVEN, más 160,000 t vendidas por otras empresas, para un total de 920,000 t, las cuales fueron usadas en una superficie aproximada de 1,100,000 ha de cultivos anuales (maíz, arroz, sorgo, hortalizas, caraota, frijol, soya, ajonjolí, maní, girasol, algodón y raíces y tubérculos) y 6,100,000 ha de cultivos permanentes (caña de azúcar, café, cacao, tabaco, frutales, palma aceitera, plátano, yuca, pastos y especies forestales).

Casanova y Castillo (2002) señalaron que en el caso de los cultivos anuales, el arroz, las hortalizas, las raíces y tubérculos y casi todos los cultivos permanentes cuentan con una infraestructura de riego, bien porque se siembran en la época seca o porque requieren riego complementario.

Por otro lado, casi todo el fertilizante consumido en Venezuela es aplicado en forma sólida al suelo y son pocos los productores que usan el fertilizante en el agua de riego (fertirrigación) y que se puede manejar en los

diversos sistemas de riego existentes en el país: aspersión, pivote central, goteo, microjets y microaspersores (Ludwick, 1997).

También se ha señalado las ventajas que tiene la fertirrigación (Casanova y Castillo, 2002) las cuales se resumirían en:

1. Soluciones fáciles de aplicar y manejar.
2. Aplicaciones más uniformes y precisas.
3. Compatibles en su aplicación con otros insumos agrícolas.
4. Almacenamiento de bajo costo.
5. Menor costo de producción.
6. Sin problemas de higroscopicidad y endurecimiento.
7. Fácil manejo y aplicación en el campo.
8. Alta solubilidad en agua y no bloquea las boquillas de irrigación.
9. Se reducen las pérdidas de nutrimentos.
10. Reducción del impacto ambiental.
11. Minimiza los trabajos de labranza.

Todas las ventajas mencionadas resultan en mejores cosechas, menores costos y mayor rentabilidad para los productores.

En sus trabajos, Casanova y Castillo (2002) indicaron que en Venezuela existen 68,770 ha bajo riego a presión (Cuadro 1) y en parte de ellas se usa la fertirrigación, especialmente en la caña de azúcar, bananos y uvas bajo el sistema de riego por goteo y microjet.

CUADRO 1. Superficie (ha) bajo riego a presión en Venezuela (Fuente: Casanova y Castillo, 2002).

Zona	Microaspersión	Goteo	Aspersión normal	Total
Occidental	12 150	17 800	22 300	52 250
Central	4 000	5 700	1 500	11 200
Oriental	700	2 200	2 420	5 320
Total	16 850	25 700	26 220	68 770

Por otro lado, en Venezuela se sembraron 52,908 ha de bananos en el año 1988 con una productividad de 20,785 kg ha⁻¹ y estos valores han disminuido para el año 2005 a 34,000 ha y 15,294 kg ha⁻¹ (FAO, 2006; Figura 1), de las cuales 3,000 ha están ubicadas en el estado Aragua, cuya producción es consumida en el país o exportada. Hay además 75,000 ha de plátanos que conjuntamente con la superficie de bananos representan aproximadamente el 7% de la superficie total sembrada en América Latina.

El consumo de bananos y plátanos es de aproximadamente 23 y 50 kg/persona/año, respectivamente, indicador que coloca a Venezuela como el cuarto país en consumo después de Ecuador, Bolivia y Saint Lucía (INIBAP, 2006).

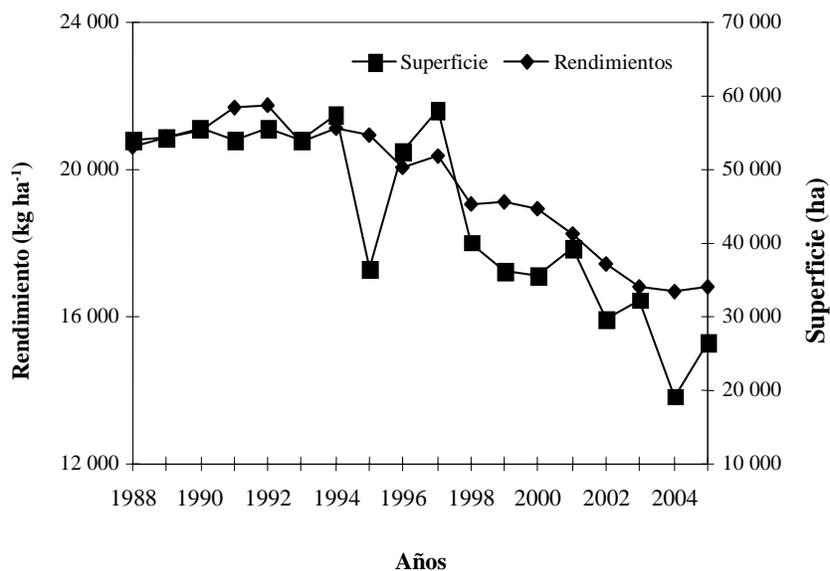


FIGURA 1. Productividad y superficie sembrada de bananos en Venezuela desde 1988 hasta el 2005 (Fuente: FAO, 2006).

La productividad de las bananeras depende de varios factores de suelo, de la planta, del ambiente y el nivel de manejo del productor. Los análisis de suelo y planta son las herramientas más usadas para definir las dosis de fertilizante a aplicar en un área sembrada con bananeras (Martínez *et al.*, 1997; Haddad, 1994) lo cual se realiza por aplicación fraccionada del fertilizante en varios estados de crecimiento del cultivo (Martin-Prevel, 1978,1987; Turner y Barkus, 1981).

Además las bananeras requieren de una adecuada humedad en el suelo, por lo que es necesario, en buena parte del año, usar riego generalmente por surco o a presión por microjet representando éste último la ventaja de poder aplicar los fertilizantes por ese medio.

En México, Pérez (2002) evaluó el TSA y el tiosulfato de potasio (TSK) como mejoradores de suelos calcimórficos en el cultivo del Limón y encontró un aumento en los rendimientos de 41% y 34%, respectivamente, en comparación al testigo. Este autor también encontró incrementos en la altura del árbol, diámetro del tronco, calidad de la fruta, número de frutos producidos, eficiencia de producción del árbol y mayor relación beneficio/costo.

En los Estados Unidos, además de la información señalada por Ludwick, (1997); Goos y Jhonson (2001) realizaron experiencias en suelos alcalinos de Dakota del Norte en Trigo para ver si el P aprovechable proveniente de polifosfato de amonio líquido podría ser mejorado cuando ese producto era mezclado con fertilizantes líquidos a base de azufre con diferentes potenciales de acidificación, entre los cuales estaban el TSA y TSK. Los autores encontraron que la absorción de P por el trigo en su estado de crecimiento de 4-5 hojas fue aumentado cuando las fuentes azufradas se mezclaron con el polifosfato de amonio.

También mencionan que el TSA puede desacelerar la acción de la ureasa que es una enzima que se encuentra en el suelo y convierte la urea y agua en amonio y CO₂, de manera que si la urea se aplica muy superficialmente, ésta se hidroliza demasiado rápido y parte del amonio producido se puede perder hacia la atmósfera.

Adicionalmente, Espinosa y Mite (2002) en su trabajo sobre el estado actual y futuro de la fertilización del banano mencionan que Ecuador, Costa Rica y Colombia representan el 11% del mercado mundial de

bananos y que los aumentos en productividad se pueden conseguir aplicando los fertilizantes a través del sistema de riego con productos como TSA y TSK ya comercializados en México y Estados Unidos, con las ventajas que estos tienen y enumeradas por Ludwick (1997).

Los objetivos de este trabajo son evaluar la respuesta del banano en rendimientos y estatus nutricional mineral a la aplicación de los fertilizantes líquidos TSA y TSK en el estado Aragua, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en una finca de Santa Cruz, del estado Aragua para evaluar el efecto de los fertilizantes líquidos TSA (0-0-25-17S) y TSK en la nutrición mineral y rendimientos de bananos (variedad Giant Cavendish (*Musa sp. (L.) AAA*) bajo el sistema de riego microjet, durante dos años consecutivos.

El área experimental fue de 1,7 ha en un diseño de bloques al azar con 6 repeticiones y 4 tratamientos en una población equivalente a 2,100 plantas ha⁻¹.

El suelo presentó antes del experimento altos niveles de de fósforo aprovechable (76 mg kg⁻¹), altos de potasio aprovechable (139 mg kg⁻¹), sin embargo, en la zona se realiza fertilización con N, P, K y microelementos debido a las altas exigencias del cultivo por esos nutrimentos; pH 7;5; 2,13%, contenido de materia orgánica, de textura franca y sin problemas de salinidad (Cuadro 2).

Los tratamientos aplicados fueron Sulfato de Amonio granulado (SA, 21-0-0-24S), TSA (12-0-0-26S), TSK (0-0-25-17S) y el manejo tradicional del productor (PROD) el cual consiste en aplicar 250 kg urea ha⁻¹ a los 5 meses después del trasplante, 420 kg ha⁻¹ de 12-12-17/2 a los 3 meses después del trasplante y 10 l ha⁻¹ de humus líquido fraccionado a los 3 meses después del trasplante y a la floración. Los tratamientos con SA, TSA y TSK fueron aplicados en el momento del trasplante y a los dos y cuatro meses después del trasplante y se realizaron aplicaciones básicas de fósforo (fosfato diamónico) y potasio (cloruro de potasio) cuando TSK no se aplicó o urea cuando TSA no se aplicó.

CUADRO 2. Caracterización inicial del suelo de la finca bananera de Santa Cruz, estado Aragua, donde se realizó el experimento.

Variable	Valor
P Aprovechable mg kg ⁻¹	76
K aprovechable mg kg ⁻¹	139
Materia Orgánica (%)	2,13
pH relación 1 suelo: 2 agua	7,49
Textura	Franco
Conductividad Eléctrica s/m	0,35

Las dosis de N, P y K fueron 150, 20 y 250 kg ha⁻¹ cuando se aplicaron como fertilizantes sólidos, fraccionando las dosis de N y K al transplante, a los 2 y 4 meses mientras que el P se aplicó todo al transplante. Las dosis de TSA y TSK fueron de 150 l ha⁻¹ aplicados a través del sistema de riego (sin fraccionar) al transplante, a los 2 y 4 meses, equivalentes a 54 kg N ha⁻¹ y 117 kg S ha⁻¹ para el TSA y 112 kg K ha⁻¹ y 77 kg S ha⁻¹ para el TSK. Se marcaron 10 plantas de cada tratamiento en cada repetición y en ellas se determinaron las variables a la floración y a la cosecha.

Las variables medidas fueron: en plena floración (considerada cuando el 75% de las plantas de cada tratamiento están en floración): perímetro del tallo medido a 1,2 m de altura medido desde el suelo, análisis foliar (N, P, K, S) usando la metodología para la toma de muestra descrita por INPOFOS (2003) obteniendo secciones de la lámina foliar de la hoja 3 y comparando los valores con los niveles críticos observados por INPOFOS (2003), la precocidad a la floración se midió basados en el número de días en que la plantación de un tratamiento llega más temprano a la floración en comparación al resto de los tratamientos. A la cosecha se midieron las siguientes variables: peso de racimos, manos por racimo, bananos por mano, rendimientos/ha, eficiencia agronómica (kg de fruto kg⁻¹ de fertilizante aplicado) y eficiencia económica (B^s de ingreso por venta del producto / Bs invertidos en fertilizante).

Los datos fueron analizados estadísticamente usando análisis de varianza y la prueba de medias del rango múltiple de Duncan. Las metodologías seguidas para el análisis de rutina de suelos fueron: para P aprovechable con extracción con solución Bray I y determinación colorimétrica con vanadato-molibdato, K aprovechable con extracción con solución Bray I y determinación por absorción atómica, materia orgánica con el método de combustión húmeda de Walkley y Black, pH por el método potenciométrico con electrodo de vidrio en suspensión suelo:agua de 1:2,5, conductividad eléctrica por el método conductimétrico y el análisis de tamaño de partículas por el método de Bouyoucos, citados en el Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia de Gilabert *et al.* (1990).

En el caso de las concentraciones de elementos nutritivos en tejido foliar las muestras se secaron en estufa a temperatura promedio de 70 °C durante 48 h, se molieron y tamizaron a 40 mallas, realizándose una digestión con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno determinándose la concentración de P por colorimetría con vanadato-molibdato, K por absorción atómica, N por el método de micro-kjeldahl y estimación por destilación y titulación. En el caso del S se realizó una digestión nítrico-perclórica y se determinó por absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros medidos al momento de la floración

Perímetro del Tallo

Hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los valores promedios de dos años de evaluación en cuanto al perímetro del tallo del banano, debido a los tratamientos aplicados. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos SA (75 cm) y TSK (58 cm), sin embargo, estos fueron superiores a los tratamientos con TSA (55 cm) y el del productor (53 cm; Figura 2).

Precocidad a la Floración

La Figura 3 muestra que el tratamiento de TSK tiene una precocidad de 10 días en comparación al tratamiento del productor. Esto es importante ya que estas plantas llegarán a producción más temprano y pueden aprovechar precios más ventajosos para el productor.

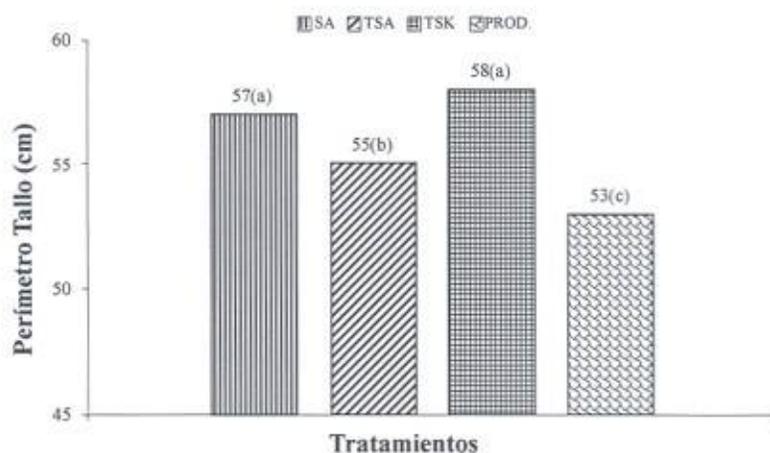


FIGURA 2. Efecto de los tratamientos sobre el perímetro del tallo de banano. Valores promedio de dos años de observación (Columnas con letras diferentes en esta y siguientes Figuras son estadísticamente diferentes al 5% de probabilidad).



FIGURA 3. Efecto de los tratamientos sobre la precocidad a la floración de banano. Valores promedio de dos años de observación.

Análisis Foliar

En la Figura 4 se observa que a excepción del tratamiento del productor (PROD), la concentración de N foliar estuvo por encima de los niveles críticos establecidos para banano. No hubo diferencias significativas en la concentración de N foliar entre los tratamientos TSK, TSA y SA. Valores menores a 2,2 % de N en tejido foliar causa limitaciones en la nutrición del banano y afecta su rendimiento.

Concentración de Fósforo

Dado que los niveles de P disponible en el suelo 76 mg kg^{-1} eran altos, la concentración de P tejido estuvieron por arriba de los niveles críticos (Figura 4) para todos los tratamientos. Se observan además diferencias significativas entre el tratamiento con TSA y el resto de los tratamientos. Aunque en esta investigación no se midió las características del suelo al finalizar los dos años de experimentación, se ha señalado que el TSA posee S en forma de sulfato, el cual está inmediatamente disponible para la planta y en forma de S elemental de lenta disponibilidad pero que puede actuar como mejorador al acidificar el suelo (se producen 4H^+ por cada mol de TSA) y disminuir el pH (valor de 7,4 al iniciar el experimento, Cuadro 2) lo cual puede haber tenido influencia sobre una mejor aprovechabilidad del P natural del suelo y del aplicado en forma de fertilizante sólido.

Concentración de Potasio

A excepción del tratamiento con SA, la concentración de K en tejido foliar de K estuvo por encima del nivel crítico establecido para banano (Figura 5). Se puede observar que los mayores valores en concentración de K lo presentó el tratamiento TSK seguido por una respuesta similar entre los tratamientos TSA y PROD. Es posible que la aplicación líquida del TSK haya tenido una mayor eficiencia de distribución en el suelo y por consiguiente las raíces del banano pudieron tener un mayor volumen de absorción de este elemento nutritivo en comparación con los fertilizantes sólidos aplicados en los tratamientos de TSA y PROD que requieren reaccionar con la humedad del suelo para pasar a la solución del suelo y luego hacer disponible el K para las plantas.

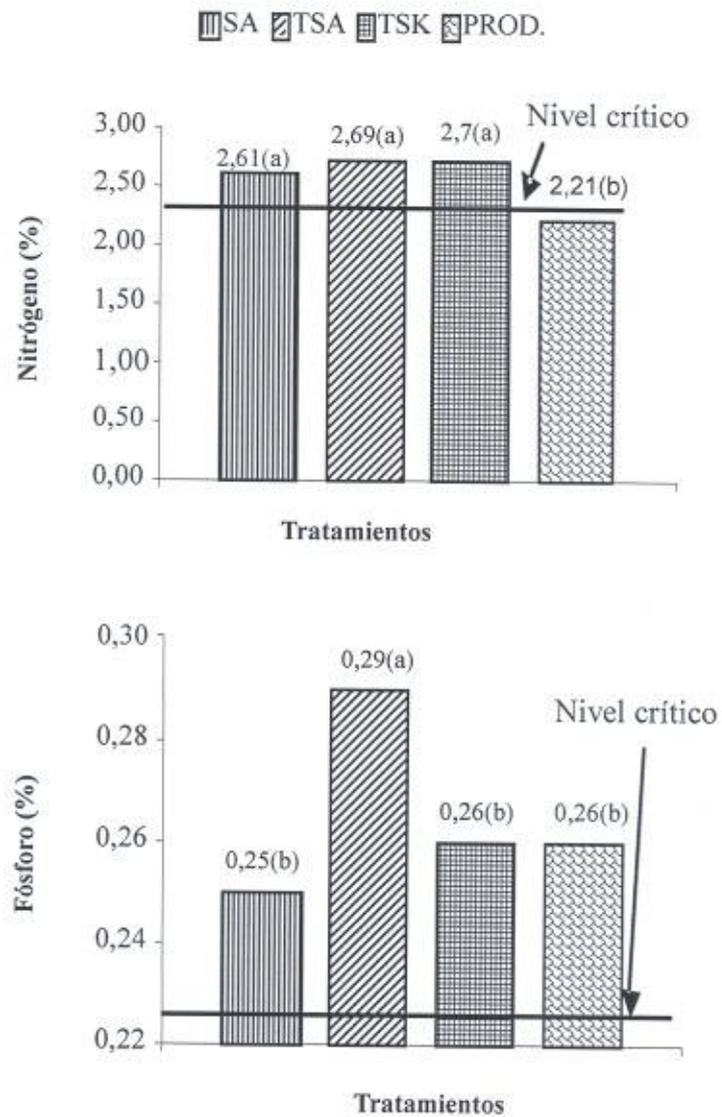


FIGURA 4. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de nitrógeno y fósforo foliar de banano. Valores promedio de dos años de observación.

Concentración de azufre

La concentración foliar de S fue significativamente mayor en los tratamientos aplicados por fertirrigación (TSA y TSK) y por arriba del nivel crítico (Figura 5) que el aplicado en forma granulada y sólida en los tratamientos SA y PROD, los cuales presentaron valores por debajo del nivel crítico. Esto refleja una mejor eficiencia de absorción de este elemento nutritivo cuando es aplicado en forma líquida que en forma sólida.

Parámetros medidos a la cosecha

Los mayores pesos de racimo se obtuvieron con el tratamiento TSK (40,7 kg) tal como se observa en la Figura 6 los cuales fueron significativamente superiores a los valores obtenidos con los tratamientos TSA (35,3 kg) y SA (35,3 kg) con valores significativamente similares y finalmente el tratamiento del productor con los menores pesos de racimo (31,5 kg).

Número de manos por Racimo

Para esta variable los tratamientos TSK (11,3), TSA (10,3) y SA (10,0) fueron significativamente superiores (Figura 7) al tratamiento del PROD. (7,7), el cual presentó los menores valores de esta variable con sólo el 68 % del número de manos obtenida con el tratamiento TSK.

Número de bananos por mano

Una respuesta similar a la encontrada en la variable número de manos por racimo se encontró en la variable número de bananos por mano ya que los tres tratamientos TSK (25,7), TSA (24,2) y SA (24,2) fueron estadísticamente iguales (Figura 8) y diferentes del tratamiento PROD (19,5) el cual presentó los menores valores.

Rendimientos por hectárea

Los mayores rendimientos significativos por hectárea se dieron en el tratamiento TSK (85 t ha⁻¹) seguido por valores estadísticamente similares de los tratamientos TSA (74 t ha⁻¹) y SA (74 t ha⁻¹) y finalmente los menores rendimiento con el tratamiento del PROD (67 t ha⁻¹), que produjo 33% menos que el TSK (Figura 9). Es importante destacar dos aspectos en estos resultados: los rendimientos obtenidos están muy por arriba del promedio nacional para el año 2005 reflejado en la Figura 1 (15,3 t ha⁻¹)

y superiores al promedio de los productores de Santa Cruz de Aragua (45 t ha^{-1}) y que a pesar de que el suelo tiene inicialmente altos y medios contenidos de P y K respectivamente, (Cuadro 1) hubo respuesta del cultivo a los diferentes tratamientos siendo más eficiente la absorción con la fertirrigación y teniendo esto los efectos mostrados en los rendimientos.

La Eficiencia Agronómica y Económica

Eficiencia Agronómica

Esta variable se determinó dividiendo los kg de fruto producido entre los kg de fertilizante aplicado y el tratamiento TSK presentó la mayor eficiencia agronómica ($163 \text{ kg fruto/kg fertilizante}$, Figura 10) seguida por el tratamiento TSA (106), PROD (98) y SA (88). Esta variable es una consecuencia del mayor rendimiento producido por el tratamiento TSK.

Eficiencia Económica

Esta variable se calcula dividiendo los bolívares recibidos por la venta del producto entre los bolívares invertidos en el costo del fertilizante. El tratamiento TSK produjo una eficiencia económica de 56 significativamente mayor que los tratamientos TSA (41) y SA (40) y estos a su vez significativamente mayor que el tratamiento PROD (31), tal como se observa en la Figura 11. De esta manera el productor con su manejo tradicional de la fertilización de bananos deja de ganar 25 bolívares por bolívar invertido en fertilizante en comparación con el tratamiento TSK.

Todos los resultados y tecnología presentadas en este trabajo fueron transferidos a los productores de banano que siembran más de 3,000 ha, en todo el estado Aragua. Las mejores respuestas del banano al tratamiento TSK también demostraron las ventajas de la fertirrigación mencionadas en este trabajo. La función del K en las plantas de banana tales como frutos más pesados, mayor retención de humedad, translocación de carbohidratos dentro de la planta, mejor metabolismo y transpiración debido a la regulación de la apertura y cerrado de los estomas, son algunas de las razones de la mejor respuesta del tratamiento con TSK. Así mismo, las funciones del azufre en las plantas de bananos tales como la velocidad de formación de las hojas, tamaño de los frutos, formación de aminoácidos y proteínas, también están a favor de la mejor respuesta al TSK.

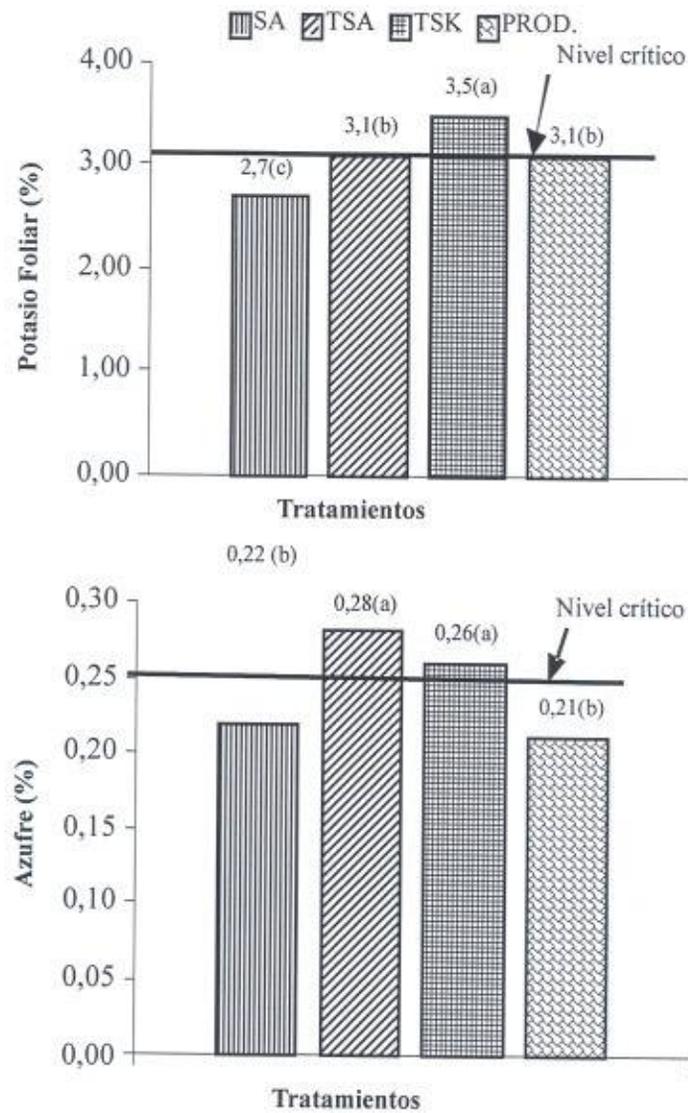


FIGURA 5. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de potasio y azufre foliar en banano. Valores promedio de dos años de observación.

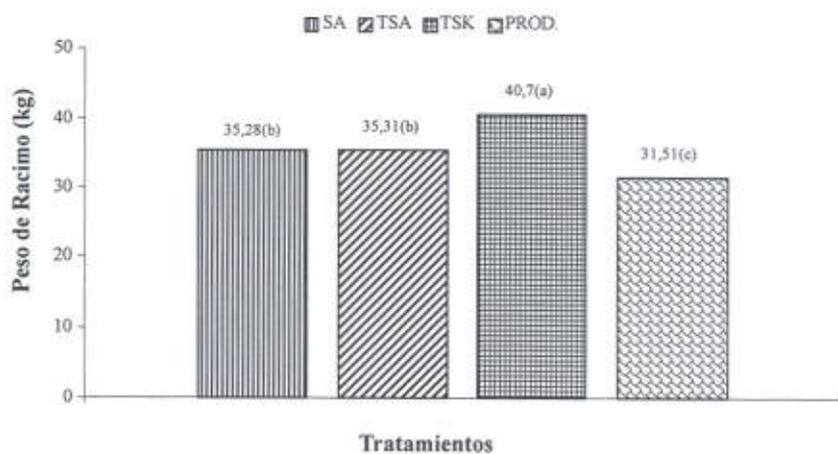


FIGURA 6. Efecto de los tratamientos sobre el peso de racimo de banano. Valores promedio de dos años de observación.

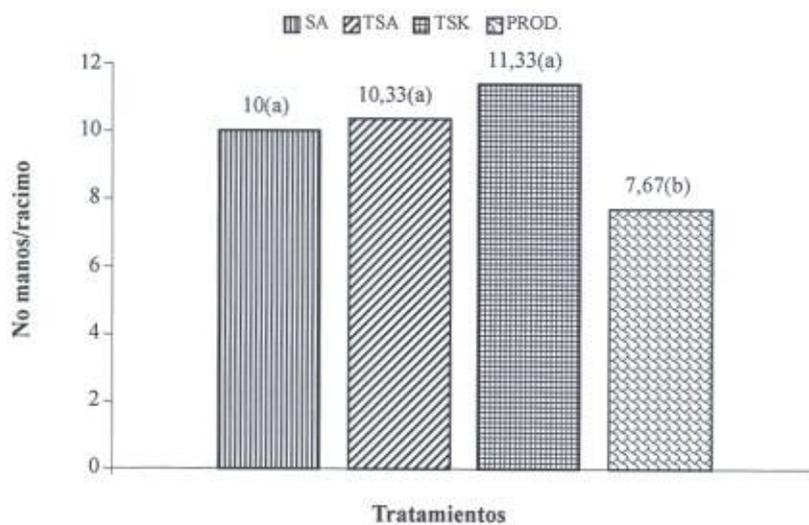


FIGURA 7. Efecto de los tratamientos sobre el número de manos por racimo de banano. Valores promedio de dos años de observación.

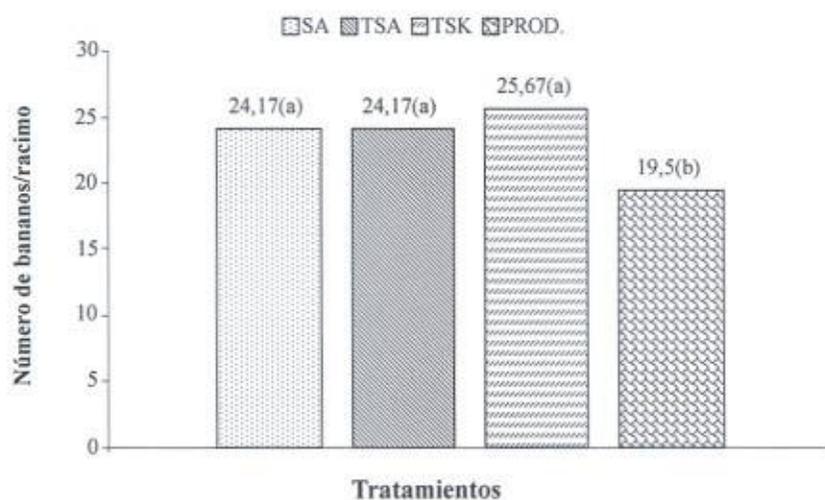


FIGURA 8. Efecto de los tratamientos sobre el número de bananos por mano. Valores promedio de dos años de observación.

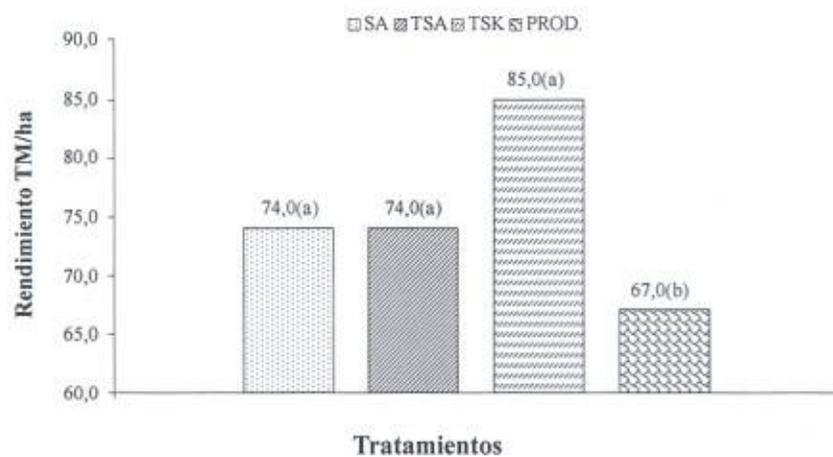


FIGURA 9. Efecto de los tratamientos sobre los rendimientos de banano. Valores promedio de dos años de observación.

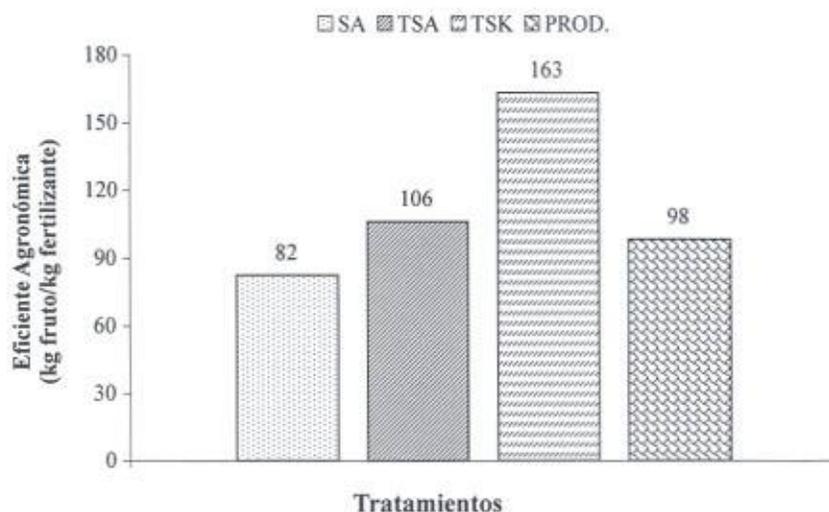


FIGURA 10. Eficiencia agronómica de los tratamientos expresada en kg de fruto por kg de fertilizante aplicado. Valores promedio de dos años de observación.

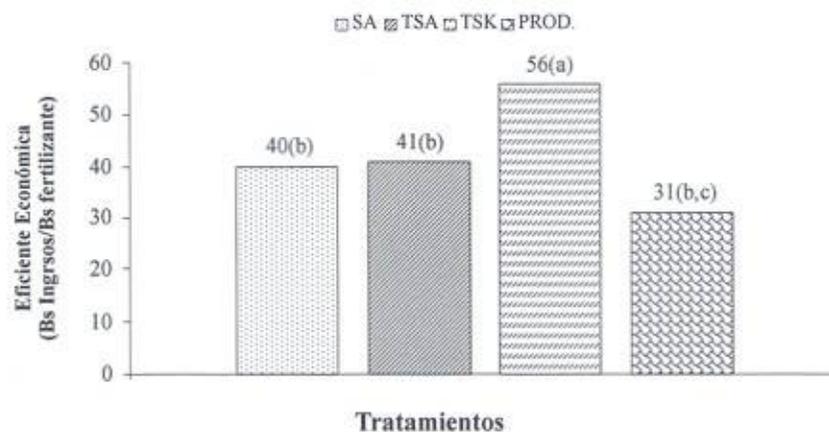


FIGURA 11. Eficiencia económica de los tratamientos expresada en bolívares de ingreso por bolívar invertido en fertilizante. Valores promedio de dos años de observación.

Adicionalmente, la superficie bajo riego en Venezuela señalada en el Cuadro 1 de 68,000 ha es relativamente pequeña para la disponibilidad de TSA y TSK que habrá en Venezuela cuando se explote la faja de petróleo pesado de la Cuenca del Orinoco, por lo que hay que pensar en la exportación a países como Colombia, Costa Rica y Ecuador con alta producción de bananos bajo riego.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este trabajo quieren expresar su agradecimiento a PEQUIVEN por el suministro de los fertilizantes líquidos TSA y TSK.

BIBLIOGRAFÍA

CASANOVA, E. y J. R. CASTILLO. 2002. Potencial petroquímico para la producción de fertilizantes de uso en sistemas de riego. *Visión Tecnológica* 9(2):151-158.

ESPINOSA, J. y F. MITE. 2002. Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano. **In:** Memoria de la XV Reunión de ACORBAT, Cartagena de Indias, Asociación de Bananeros de Colombia, 11p.

FAO. 2006. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Base de datos estadística integrada on-line. <http://faostat.fao.org>.

GILABERT de BRITO, J., I. LÓPEZ y R. PÉREZ. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia, MAC-FONAIAP-CENIAP, 39 pp. (Serie D, N° 26).

GOOS R., J. A. and B. E. JOHNSON. 2001. Response of spring wheat to phosphorus and sulphur starter fertilizers of differing acidification potential. *The Journal of Agricultural Science, Cambridge University Press, Department of Soil Science, North Dakota State University, Fargo, ND, USA.* 136:283-289.

HADDAD, O. 1994. Nutrición y predicción en cultivos intensivos de bananos en los Valles de Aragua. *Apuntes Técnicos Palmaven, Caracas, Venezuela.* 61p.

INIBAP. 2006. International Network for the Improvement of Banana and Plantain. www.inibap.org

INPOFOS. 2003. Manual de Nutrición y Fertilización del Banano. Instituto Nacional del Potasio y el Fósforo, Quito, Ecuador. 64 p.

LUDWICK, A. 1997. El manejo de los fertilizantes a través de los sistemas de riego (fertigación). Revista Informaciones Agronómicas, INPOFOS, No. 27: 5-9.

MARTINEZ, E., A. SÁNCHEZ, C. COLMENARES y E. CASANOVA. 1997. Respuesta del Banano cv. Giant Cavendish (*Musa* sp. (L.) AAA) a la Fertilización con Nitrógeno, Fósforo y Potasio en un Suelo Typic Ustropepts del Sureste del Lago de Maracaibo. Rev. Fac. Agronon. (LUZ) 14:181-190.

MARTIN-PREVEL, P. 1978. Effects of magnesium and potassium nutrition on phosphorus uptake and redistribution in a cultivated plant *Musa* sp. **In:** Plant Nutrition. Proceedings of the 8th Colloq. Plant Anal. And Fertil. Problems. Auckland. pp. 329-338.

MARTÍN-PREVEL, P. 1987. Banana. **In:** Plant análisis as a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. Lavoisier Public. New York, USA. pp. 637-670.

PÉREZ, O. 2002. Evaluación de mejoradores del suelo en Limón Mexicano. TERRA Latinoamericana, Universidad Autónoma de Chapingo, México. 20 (3):337-346.

RAMÍREZ, R., M. MONTILLA y J. ZAMORA. 1992. Roca fosfórica tratada con tiosulfato de amonio como fuente de fósforo y azufre disponibles para la planta. XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México.

SEQUERA, O. 2001. Liberación de fósforo de la roca fosfórica tratada con tiosulfato de amonio y su disponibilidad en el suelo. Tesis de Maestría, Postgrado en Agronomía, Comisión de Estudios de Postgrado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 77 pp.

TURNER, D. and B. BARKUS. 1981. Nutrient concentrations in a range of bananas varieties grown in the subtropics. *Fruits* 36:217-222.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MOLINERA Y DIMENSIONES DE LOS GRANOS DE DOS VARIETALES DE ARROZ Y SUS VARIETALES DE ARROZ MALEZA¹

Aída Ortiz Domínguez *y Marjorien Ojeda Muñoz**

RESUMEN

En este estudio se planteó conocer la calidad molinera de varietales de arroz maleza (VAM) provenientes de campos de semilla (D-Sativa y Fedearroz 50). Los tratamientos fueron: D-Sativa, DS-B, DS-R, Fedearroz 50, FD-B y FD-R. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cinco repeticiones. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza y la prueba de media de Tukey. Se midieron algunos atributos asociados a la calidad molinera. Las variedades de arroz, *Oryza sativa* L., mostraron mayor porcentaje de granos enteros (%GE) que los VAM entre 70,2 a 68,12% para Fedearroz 50 y D-Sativa, respectivamente. Los VAM con pericarpio rojo (FD-R y DS-R) presentaron aproximadamente 10% menos en el %GE que D-Sativa y Fedearroz-50, mientras que los beige mostraron una diferencia menor (2%), con respecto a sus variedades de origen. Sin embargo, los VAM tuvieron más granos yesosos+panza blanca (4,29% y 8,82%) que las variedades (3,35 y 3,68%) y a su vez los rojos (5,46% FD-R y 8,82% DS-R) más que los beige (4,28% FD-B y 5,34% DS-B). Sólo los VAM rojos resultaron con granos rojos (GRP) en el arroz pulido, y de éstos el DS-R (21,31%) tuvo 4,6 veces más GRP que el FD-R (4,64%). FD-R; FD-B y DS-B mostraron la longitud granos parecido a las variedades (>9mm), mientras que DS-R tuvo los granos más cortos (8,58 mm) y más anchos en paddy. Estos resultados reflejan que la calidad molinera del arroz pudiera afectarse con la presencia de VAM en el paddy.

Palabras Clave: *Oryza sativa* L.; varietales arroz maleza; Fedearroz 50; D-Sativa; calidad molinera.

1 Trabajo financiado por FUNDACITE Aragua y Vicerrectorado Académico de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

* Profesora Agregada. UCV. Facultad de Agronomía. Maracay, estado Aragua. Venezuela. E-mail: ortiza@agr.ucv.ve

** Ingeniero Agrónomo. E-mail: marorienpaola@gmail.com

RECIBIDO: septiembre 06, 2006.

EVALUATION OF MILLING QUALITY AND GRAIN DIMENSIONS OF TWO RICE VARIETIES AND THEIR WEEDY RICE VARIETY TYPES¹

Aída Ortiz Domínguez *y Marjorien Ojeda Muñoz**

SUMMARY

In this study the milling quality of Weedy rice-variety types (WRVT) originated from seed fields planted with D-Sativa and Fedearroz 50 was considered. Treatments were: D-Sativa, DS-B, DS-R, Fedearroz 50, FD-B and FD-R. A completely randomized experimental design with five replicas was used. Data were subjected to analysis of variance using SAS Software and mean Tukey at the 5% level of probability. Attributes associated with milling quality were measured. Rice varieties, *Oryza sativa* L., showed higher % of head rice (HR) than WRVT. The WRVT with red pericarp (FD-R y DS-R) showed approximately 10% less in HR than D-Sativa and Fedearroz 50, while the beige types showed a lesser difference (2%) with respect to their varieties of origin. However, the WRVT had more chalky+white belly grains (4,29% y 8,82%) than the varieties (3,35 y 3,68%), and the red types (5,46% FD-R y 8,82% DS-R) more than the beige ones (4,28% FD-B y 5,34% DS-B). Only the red WRVT showed red grains in polished rice (GRP), and of these, DS-R (21,31%) had 4,6 times more GRP than FD-R (4,64%). FD-R, FD-B and DS-B showed similar grain length as the varieties (>9mm), while DS-R had the shortest (8,58 mm) and widest (3,20 mm) grains in paddy. These results suggest that rice milling quality maybe affected by the presence of WRVT in rice paddy.

Key Words: *Oryza sativa* L.; weedy rice-variety types; Fedearroz 50; D-Sativa; milling quality.

1 Trabajo financiado por FUNDACITE Aragua y Vicerrectorado Académico de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

* Profesora Agregada. UCV. Facultad de Agronomía. Maracay, estado Aragua. Venezuela. E-mail: ortiza@agr.ucv.ve

** Ingeniero Agrónomo. E-mail: marorienpaola@gmail.com

RECIBIDO: septiembre 06, 2006.

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores que afectan el rendimiento paddy y la calidad molinera del arroz, *Oryza sativa* L., es la interferencia que produce el arroz maleza/rojo, influyendo negativamente en el porcentaje de grano entero (%GE) y rendimiento en molino de las variedades de arroz, así como también contaminando el producto final, disminuyendo su valor comercial.

Los varietales de arroz maleza (VAM), llamados así por su gran similitud con la variedad de la cual se ha originado, son las poblaciones de arroz rojo (AR) más difíciles de diferenciar en los análisis cualitativos de arroz tanto en la producción de semilla como en la agroindustria de arroz de mesa.

Aunque la problemática actual de varietales se siente mayormente en la producción de semilla certificada, también la agroindustria de arroz de mesa se pudiera ver afectada negativamente por las disminuciones de la calidad molinera que ocasione la presencia de VAM en mezcla con el arroz paddy.

El AR debe su nombre a la coloración rojiza que presenta su pericarpio (Diarra *et al.*, 1985), el cual es difícil de remover en el proceso de pulido de los granos y ocasiona su quebramiento (Jaramillo, 1987), sin embargo, hay AM que muestran el pericarpio de color beige o blanco parecido a las variedades (Arrieta-Espinoza *et al.*, 2005; Castillo, 2006), por tal razón el término correcto que debería utilizarse es arroz maleza para agrupar a todas las accesiones de este complejo *Oryza sativa*.

El color rojo del pericarpio se adhiere al grano pulido, y por lo tanto es muy notable y objetable en el arroz blanco, por lo que el precio de paddy en la planta receptora disminuye a medida que aumenta el grado de contaminación, llegando inclusive a su total descalificación (COVENIN, 1986). Mientras mayor es el porcentaje de AR mayor es el tiempo de molienda, lo que trae como consecuencia un arroz de bajo valor nutricional y comercial, y un mayor consumo de energía en el proceso (Soliman *et al.*, 1992).

En estudios usando mapeo genético se han identificado 33 QTLs para calidad del grano en arroz en un cruce de la línea IR64 y *O. rufipogon* (IRGC 10591) de los cuales dos estuvieron asociados con el porcentaje de AR, uno para blanco total, tres para granos enteros y cuatro para granos partidos. La mayoría de los QTLs identificados derivados de

O. rufipogon contribuyeron con efectos indeseables, por ello los mejoradores deben ser cuidadosos con las regiones asociadas con efectos negativos para evitar seleccionar individuos con características de baja calidad de granos cuando hacen introgresiones con *O. rufipogon* (Septiningsih *et al.*, 2003).

Hasta el presente se desconoce como la presencia de VAM en el paddy afecta la calidad molinera de las variedades arroz cultivado en el país, por tal motivo el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar la calidad molinera de las variedades D-Sativa y Fedearroz 50 y de sus VAM, así como determinar las dimensiones de los granos de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas de los cultivares D-Sativa y Fedearroz 50, categoría Genética, fueron suministradas por las empresas Fundación DANAC (San Javier- Yaracuy, Venezuela) y FEDEARROZ (Bogotá, Colombia), respectivamente. Las accesiones de los VAM fueron recolectadas en campos de producción de semilla de las variedades Fedearroz 50 y D-Sativa en el año 2004.

Se hizo una multiplicación de estas variedades de arroz y accesiones de los VAM para realizar el experimento sobre calidad molinera, la cual se realizó durante los meses de mayo a septiembre del año 2005, en el Campo Experimental del Instituto de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, municipio Girardot, Maracay, estado Aragua, con una latitud 10° 11" N y una longitud 67° 30" O, a una altitud de 442 m.s.n.m, precipitación media anual 953 mm y una temperatura media anual de 24 °C.

El suelo utilizado para la siembra pertenece a la serie Maracay, Fluventic Haplustolf, Francosa gruesa isohipertermica, donde la textura del terreno es Franca, con bajo contenido de Materia Orgánica (1,32%) y altos contenidos de fósforo y calcio y bajo potasio; pH 7,2 y una conductividad eléctrica de 0,200 (ds/m).

Los tratamientos se establecieron con las variedades D-Sativa y Fedearroz 50 y sus respectivos dos VAM por cada una. Cada varietal se nombró con las dos primeras palabras de las variedades y una letra indicando el color del pericarpio, los cuales fueron: DS-R de pericarpio rojo y DS-B de pericarpio beige, FD-R de pericarpio rojo y FD-B de pericarpio beige.

Se sembraron parcelas con las variedades de arroz y sus VAM, separadas a 50 metros cada una de la otra, con el fin de evitar cruzamientos entre ellas y obtener la cantidad de arroz paddy necesario para realizar el experimento sobre calidad de molinera. Se utilizó el método de siembra por trasplante donde hubo una distancia de 30 cm entre hileras y 25 cm entre plantas.

Posteriormente, los tratamientos se cosecharon cuando los granos de las variedades y sus VAM tuvieron un contenido de humedad entre 21,00 a 25,11 %. Estos granos cosechados en los tratamientos fueron secados de manera natural en el Laboratorio de Semilla del Instituto de Agronomía de la UCV-FAGRO hasta que alcanzaron un contenido de humedad entre $12 \pm 1\%$, entonces se estableció el experimento de molinería, bajo un diseño experimental completamente aleatorizado con 5 repeticiones. En el Cuadro 1 se muestra los tratamientos evaluados en este estudio.

Los análisis de calidad molinera fueron realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa ASOPORTUGUESA, ubicada en Araure, estado Portuguesa, siguiendo la metodología descrita en su protocolo².

CUADRO 1. Tratamientos utilizados en el experimento sobre la calidad molinera de las variedades de arroz D-Sativa y Fedearroz 50 y sus varietales DS-B; DS-R; FD-B y FD-R solas.

Tratamientos	Descripción
T1	D-Sativa
T2	DS-B
T3	DS-R
T4	Fedearroz 50
T5	FD-R
T6	FD-B

Se determinaron las siguientes variables:

- 1. Porcentaje de humedad del arroz paddy:** se determinó con un equipo STEINLITE (Seeburo Equipment). C.O. Modelo 400, en arroz paddy inmediatamente después de la cosecha y antes de realizar las pruebas de molino.
- 2. Porcentaje de granos partidos descascarados a mano (GPDM):** para ello se utilizó el siguiente procedimiento, se descascararon con la mano 25 granos de cada una de las repeticiones, tomados al azar de la muestra limpia y seca con 12% de humedad y se cuantificaron los resultados de GPDM.
- 3. Granos enteros (GE):** la masa de granos blanco total se introdujo en la clasificadora cilíndrica del equipo Suzuki durante un minuto y esta operación separó los GE de los partidos, los primeros se pesaron y se relacionaron con el peso inicial de la muestra para determinar el %GE.
- 4. Rendimiento en molino (RM):** El RM se determinó a partir del %GE y porcentaje de blanco total, a través de la siguiente fórmula, considerando una muestra base de arroz paddy de 100g.

$$\text{Rendimiento en molino} = \frac{\text{Granos enteros} \times \text{Blanco Total}}{100}$$

- 5. Porcentaje de granos yesosos + panza blanca (GY+PB):** de la muestra de GE sobrante, se tomaron 25 gramos los cuales fueron colocados sobre las bandejas de contraste y con una pinza se separaron manualmente los GY y PB, estas fracciones se pesaron y se calculó el porcentaje según la siguiente fórmula: (COVENIN 3404-98).

$$\% \text{ de granos Y+PB} = \text{pgy+pb} / 25 \times 100$$

² Jajaira Peña. Asoportuguesa, 2006. Comunicación personal.

- 6. Granos rojos en el pulido (GRP):** de la muestra de GE sobrante se tomaron 25 gramos colocándose sobre las bandejas de contraste y con una pinza se separaron manualmente los granos rojos, en esta fracción fue pesado y calculado el porcentaje según la siguiente fórmula: (COVENIN 3404-98).

$$\% \text{ de granos rojos} = \text{pgr} / 25 \times 100$$

Donde = pgr (g) : peso de granos rojos

- 7. Determinación del largo, ancho y espesor de los granos:** Se midió con un vernier electrónico Marca Mitotuyo usando el siguiente procedimiento: para las dimensiones de paddy y cargo se tomaron 50 granos al azar por cada repetición para cada uno de los tratamientos; y para las dimensiones del grano pulido se tomaron 25 granos por repetición en cada tratamiento.

Análisis estadísticos

A los datos de las variables que cumplieron los supuestos estadísticos se les realizó un análisis de varianza y la prueba de media de Tukey al 5%, mediante el paquete estadístico SAS. Se realizó un análisis de correlación entre las variables evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de humedad

En la Figura 1 se observa que el porcentaje de contenido de humedad (CH), al momento de la cosecha, más alto lo mostró DS-R (25,11%), quizás debido a que se tuvo que cortar una semana antes que los otros por presentar alto porcentaje de desgrane. En los demás tratamientos los CH, se ubicaron entre 21,74% a 23%, situándose entre los rangos óptimos de humedad de cosecha (21% a 24%, según la agroindustria venezolana³.

³ Leina González. Asoportuguesa, 2006. Comunicación personal.

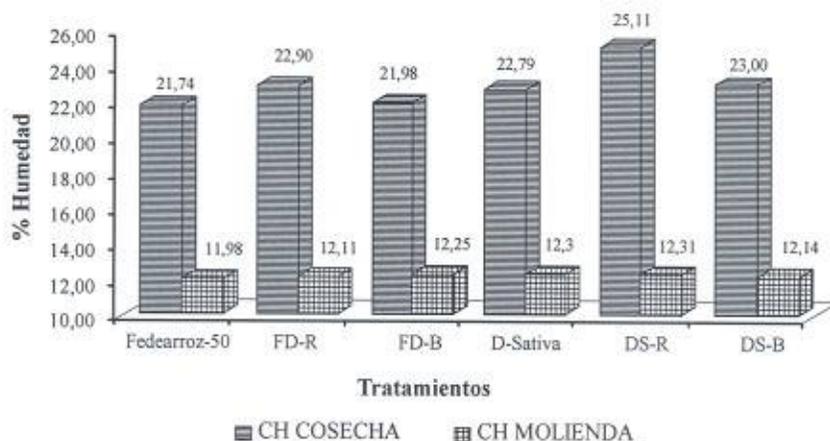


FIGURA 1. Porcentaje del contenido de humedad a la cosecha y al momento de evaluar la calidad de molino de las variedades de arroz D-Sativa y Fedearroz 50 y sus varietales de arroz maleza DS-B, DS-R, FD-R y FD-B.

En la Figura 1 se muestra que el CH de los granos al momento de realizar las pruebas de molino mostró un rango entre 11,98% y 12,31%, correspondiendo al CH óptimo para determinar los atributos asociados a la calidad molinera.

El CH a la cosecha aunado al potencial genético de la variedades son las variables que más afectan la expresión del %GE, de hecho las normas de recepción venezolanas establecen que por debajo de 20% de CH, el precio del arroz es disminuido en 0,5; 1; 2 y 4%, cuando los CH sean de 19; 18; 17 y 16%, respectivamente. Así mismo, el CH máximo permitido es de 24% (MPC y MAT, 2002).

Granos partidos descarados a mano (GPDM)

Aunque no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos para el porcentaje de GPDM, la Figura 2 muestra que el varietal rojo DS-R tuvo casi el doble del valor que exhibieron los varietales DS-B (beige) y FD-R (rojo) y 10 veces más que FD-B. Las variedades de arroz no mostraron quebramiento en los granos.

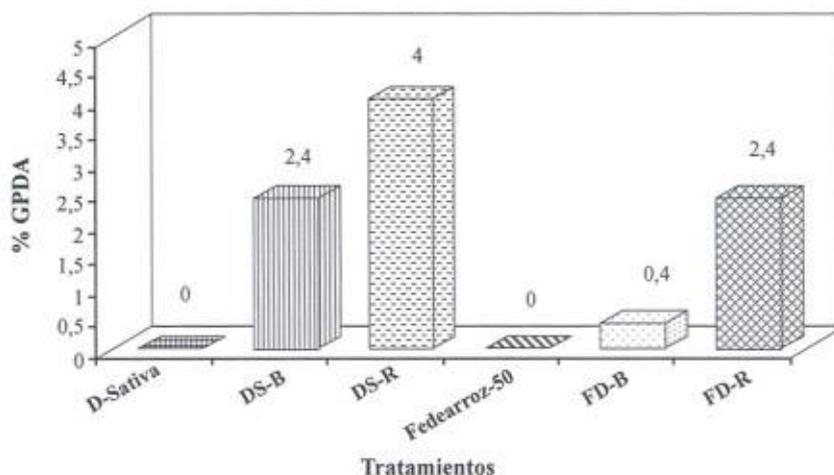


FIGURA 2. Porcentaje de granos partidos descascarados a mano las variedades de arroz D-Sativa y Fedearroz 50 y sus varietales de arroz maleza DS-B, DS-R, FD-R y FD-B.

Además, existió una alta asociación entre el CH de cosecha y el porcentaje de GPDM expresado por el coeficiente de correlación ($r = 0,55^{**}$, Cuadro 2).

Estos resultados parecen indicar dos cosas, la primera que los VAM naturalmente se parten y la segunda es que dentro de los varietales hay diferencias, así se encontró que los que tienen el pericarpio rojo (DS-R y FD-R) tienen mayor propensión al quebramiento natural de los granos que los beige (DS-B y FD-B).

Granos enteros

Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos para el %GE. En la Figura 3 se muestra que la prueba de medias formó 5 grupos en esta variable ($P < 0,01$), encontrándose un primer grupo con la variedad Fedearroz-50 la cual exhibió el mayor %GE (70,2%), un segundo grupo formado por D-Sativa (68,12%) y FD-B (67,69%); el tercero con DS-B (66,14%) y el último con DS-R (58,66).

CUADRO 2. Longitud (mm), ancho (mm), espesor (mm) y relación largo/ancho de los granos paddy y cargo de las variedades D-Sativa, Fedearroz-50 y sus varietales de arroz maleza DS-B, DS-R, FD-R y FD-B.

Tratamiento	Longitud paddy (mm)	Ancho paddy (mm)	Espesor paddy (mm)	Relación L.a ⁻¹ paddy (mm)	Longitud cargo (mm)	Ancho cargo (mm)	Espesor cargo (mm)	Relación L.a ⁻¹ cargo (mm)
D-Sativa	9,83 a	2,54 c	1,95 ab	3,87 a	7,08 a	2,27 b	1,75 b	3,12 a
DS-B	9,10 c	2,84 b	2,07 a	3,28 c	6,64 c	2,40 b	1,80 ab	2,72 c
DS-R	8,58 d	3,20 a	2,05 ab	2,68 d	6,32 d	2,76 a	1,85 a	2,29 d
Fedearroz-50	9,78 a	2,63 c	1,94 ab	3,72 b	7,01 ab	2,37 b	1,75 b	2,95 b
FD-R	9,41 b	2,57 c	1,91 b	3,66 b	6,76 bc	2,45 b	1,73 b	2,92 b
FD-B	9,55 b	2,63 c	1,93 ab	3,63 b	6,91 abc	2,36 b	1,74 b	2,93 b
CV (%)	1,19	2,62	3,71	1,53	2,21	4,47	1,88	2,64
CM	1,11**	0,31**	0,02*	0,94**	0,39**	0,14**	0,01**	0,42**

CV: Coeficiente de variación; CM: Cuadrado medio; **: altamente significativo; *: Significativo; ns: no significativo. Promedios en columnas con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

Se observa en la misma figura que Fedearroz-50 tuvo 2,51% más %GE que su varietal de pericarpio beige FD-B y 9,90% más que su varietal rojo FD-R. Así mismo, en el caso de D-Sativa se encontró que hubo una diferencia de 1,98% entre la variedad y el varietal DS-B (beige) y 9,46% entre D-Sativa y el varietal DS-R (rojo), coincidiendo con las mermas encontradas también para Fedearroz-50 y sus varietales.

Estos resultados indican que se encontraron mayores diferencias en el %GE entre la variedad y su varietal rojo que entre ella y su varietal beige, esto podría indicar que posiblemente el color rojo del pericarpio tenga una asociación genética con el quebramiento de los granos. También se detectó que las variedades mostraron mayor %GE que sus VAM. El varietal FD-B de Fedearroz 50 mostró similar potencial genético del %GE que la variedad D-Sativa.

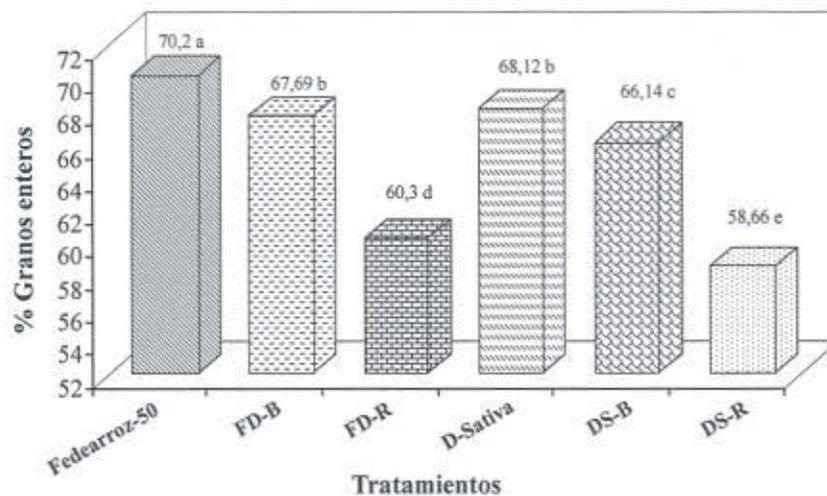


FIGURA 3. Porcentaje de granos enteros las variedades de arroz D-Sativa y Fedearroz 50 y sus varietales de arroz maleza DS-B, DS-R, FD-R y FD-B.

En el Cuadro 3 se muestra que existe una alta correlación negativa entre el CH de cosecha y el % GE ($r = -0,67^{**}$), lo que sugiere que a mayor CH en estos tratamientos evaluados menor fue su %GE, tomando en cuenta que el mínimo valor de CH fue 21,74% y el mayor 25,11%.

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con los señalados por Ortiz Domínguez (2000); Toro (2003); Torres (2003); Páez (1999), en donde las variedades de arroz mostraron mayor cantidad de GE que el AR. Torres (2003), encontró una diferencia del %GE entre la variedad ZETA 15® (70,33%) y el AR (51,47%), de glumas de color negro sin arista, de 18,86%, el doble de lo obtenido en este estudio; quizás esta diferencia sea debido a que el AR utilizado en el ensayo de Torres (2003) es un genotipo más silvestre que los varietales rojo, estos VAM quizás pudieran provenir de cruzamientos de esos AR con las variedades de arroz.

CUADRO 3. Matriz de correlación para las variables humedad de cosecha, humedad seco, granos partidos descascarados a mano, granos enteros, rendimiento en molino, granos yesosos+panza blanca y granos rojos en el pulido, de las variedades de arroz D-Sativa y Fedearroz-50 y sus varietales de arroz maleza DS-B, DS-R, FD-R y FD-B.

	HC	HS	GPDM	GE	RM	GY+PB	GRP
HC	1						
HS	0,24	1					
GPDM	0,56*	0,24	1				
GE	-0,67**	-0,19	-0,42*	1			
RM	-0,62**	-0,30	-0,40*	0,95**	1		
GY+PB	0,75**	0,25	0,47**	-0,85**	-0,74**	1	
GRP	0,76**	0,24	0,36**	-0,81**	-0,68**	-0,74**	1

Nivel de significación: ** ($P < 0,05$), * ($P < 0,10$). HC: humedad de cosecha; HS: humedad seco; GPDM: granos partidos descascarados a mano; GE: granos enteros; RM: rendimiento en molino; GY: granos yesosos; GRP: granos con estrías rojas en el pulido.

Otro factor que incide en el %GE es el manejo del cultivo y dentro de éste la fertilización nitrogenada juega un rol importante, Leesawatwong *et al.* (2005), encontraron que la aplicación de nitrógeno (N) en floración aumenta el contenido de N en el grano y la concentración de proteínas en el área periférica del endosperma, que a su vez en variedades con bajo contenido de proteínas (HKL1 y CN1), disminuyó significativamente el quebramiento de los granos en el pulido, sin embargo, en variedades con alto contenido de proteína laterales no se encontraron diferencias (KDML105 y HPTT1), por lo cual se podría decir que la abundancia de proteínas insolubles almacenadas en la periferia del endosperma esta estrechamente relacionada con un menor quebramiento de los granos durante el proceso de pulido.

Rendimiento en molino

Esta variable (RM) mostró diferencias estadísticas altamente significativas entre las variedades y sus varietales. El RM siguió el mismo patrón que el %GE siendo más alto ($P < 0,01$) para la variedad Fedearroz-50, seguida de la variedad D-Sativa, el tercer grupo lo ocuparon los varietales de pericarpio beige FD-B y DS-B y por último los varietales de pericarpio rojo FD-R y DS-R (Figura 4).

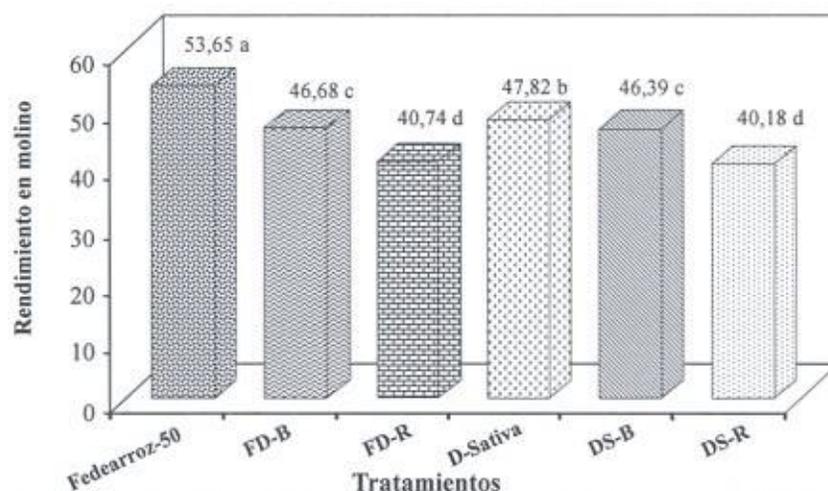


FIGURA 4. Rendimiento en molino las variedades de arroz D-Stiva y Fedearroz 50 y sus varietales de arroz maleza DS-B, DS-R, FD-R y FD-B.

Similar al caso del %GE, las variedades mostraron más RM que los varietales, a su vez los AM de pericarpio beige, mostraron mayor RM que los rojos. En este estudio se encontró una correlación negativa entre el CH de cosecha y el RM ($r = -0,62^{**}$), los tratamientos con mayor CH mostraron menor RM. Soliman *et al.* (1992), señalan que el AR necesita mayor tiempo de pulido razón por la cual se reduce su RM.

Granos yesosos + panza blanca

Hubo diferencias estadísticas altamente significativas para esta variable, generando 5 grupos de medias ($P < 0,01$), observándose que el varietal DS-R (8,82%) formó el primer grupo, un segundo conjunto formado por FD-R y DS-B; el tercero por FD-B (4,28%); el cuarto por Fedearroz 50 (3,68%) y el quinto por D-Sativa con 3,35% (Figura 5).

Estos resultados muestran que los VAM tuvieron mayor porcentaje de GY+PB que las variedades de arroz, y a su vez los VAM rojos tuvieron una tendencia a producir mayores valores que los beige. Así mismo, el VAM rojo DS-R produjo el doble de %GY+PB que el rojo FD-R.

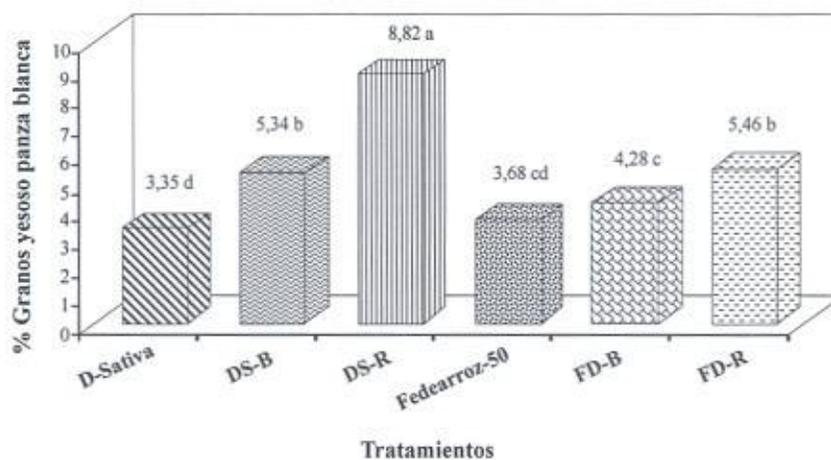


FIGURA 5. Porcentaje de granos yesosos+panza blanca de las variedades de arroz D-Sativa y Fedearroz 50 y sus varietales de arroz maleza DS-B, DS-R, FD-R y FD-B.

Así mismo, se encontró que hubo una alta correlación negativa entre el %GY+PB y el %GE ($r = -0,84^{**}$), lo que indica a mayor porcentaje de %GY+PB disminuyó el %GE. Esto se evidencia en el caso del varietal DS-R, el cual presentó el valor más alto de GY+PB y tuvo el porcentaje más bajo GE.

Granos de arroz rojo en el pulido

En la Figura 6, se muestra que DS-R tuvo 4,6 veces más porcentaje de granos rojos en el arroz pulido (GRP) que FD-R. Esto quizás pudiera explicarse debido a que el varietal DS-R es de grano de menor longitud y más ancho que el varietal FD-R, por lo que el proceso de pulido pudiera ser menos eficiente, quedando granos rojos o con estrías de este color en la masa de granos pulidos.

En el Cuadro 3, se muestra que existe una alta correlación negativa entre el %GRP y %GE ($r = -0,81^{**}$), lo que indica que los varietales que tuvieron menor %GE a su vez mostraron mayor %GRP. Esto se evidenció en los varietales de pericarpio rojo DS-R y FD-R que mostraron los valores más bajos de %GE y tuvieron más %GRP.

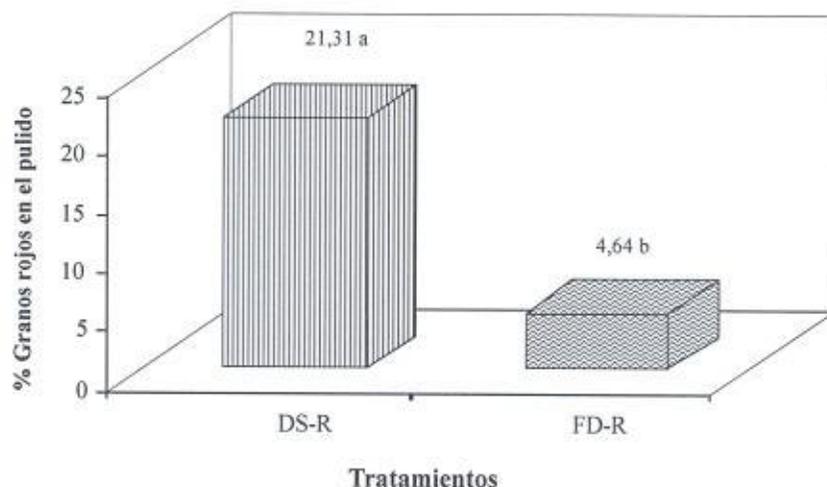


FIGURA 6. Porcentaje de granos rojos en el pulido de los varietales de arroz maleza DS-R y FD-R.

Torres (2003), encontró que el AR de glumas de color negro sin arista tuvo 20,38% de GRP, este resultado fue similar al obtenido por DS-R, lo que pudiera interpretarse como que DS-R es más parecido a un silvestre de AR que FD-R.

Dimensiones de los granos

Longitud de los granos paddy

En el Cuadro 2 se puede observar que hubo diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos para longitud de los granos paddy. En la separación de medias se encontraron cuatro grupos de los cuales el primero estuvo conformado por las variedades D-Sativa y Fedearroz-50, con valores de 9,83 mm y 9,78 mm de longitud de los granos respectivamente; otro grupo intermedio estuvo formado por los varietales FD-B (9,55 mm) y FD-R (9,41 mm), el grupo de DS-B (9,10 mm) y el último con la menor longitud lo presentó DS-R con un tamaño del grano de 8,58 mm ($P < 0,01$).

Así mismo se puede observar que la variedad D-Sativa mostró 0,73 mm más en longitud del grano que el varietal beige y 1,25 mm más que el rojo DS-R. Mientras que Fedearroz-50 tuvo 0,35 mm más que el beige y 0,23 mm más que el rojo (Figura 7). Estos resultados sugieren que hubo mayor diferencia entre los granos de D-Sativa y sus varietales que el caso de Fedearroz-50 y los suyos. En otras palabras los varietales de Fedearroz-50 tienen mayor similitud en dimensiones del grano con sus varietales.

Castillo (2006), bajo condiciones de invernadero encontró resultados similares a los hallados en este trabajo, en el cual se evidenció que la variedad Fedearroz-50 muestra menos diferencias de longitud del grano con respecto a sus varietales que D-Sativa.

En estudios con otros materiales genéticos, como el conducido por Ortiz Domínguez (2000), se evidenció que las variedades mostraron mayor longitud de los granos paddy y relación largo.ancho⁻¹ que los AR tradicionales recolectados en campos de producción de granos, mientras que en este estudio las dimensiones de los varietales FD-R y FD-B recolectados en campos de semillas resultaron similares a la variedad Fedearroz-50. En el caso de D-Sativa, sí se encontraron diferencias con sus varietales.

Ancho de los granos paddy

En el mismo Cuadro 2 se observa que se formaron tres grupos en la prueba de media para el ancho de los granos paddy (AGP); dentro de los cuales el varietal rojo DS-R (3,20 mm) se atribuyó el mayor valor, seguido por DS-B (2,84 mm) y un último grupo formado por las variedades de arroz y los varietales FD-R y FD-B ($P < 0,01$). Igual que en la variable longitud del grano los varietales de Fedearroz-50 mostraron mayor similitud en el ancho con sus varietales que la variedad D-Sativa (Figura 7).

Espesor de granos los paddy

El espesor de los granos paddy (EGP) mostraron mayor valor en DS-B (2,07 mm) y menor valor en FD-R (1,91 mm) tal como se observa en el Cuadro 2.

Relación largo.ancho⁻¹ de los granos paddy

Para esta variable (Cuadro 2), la variedad D-Sativa (3,87 mm) mostró mayor relación largo ancho⁻¹ ($P < 0,01$), seguida por el grupo conformado por Fedearroz-50, FD-R y FD-B, luego otro grupo estuvo formado por DS-B y por último el de menor valor largo.ancho⁻¹ fue observado en DS-R (2,68 mm). Estos resultados también reflejan el gran parecido de los granos de Fedearroz-50 y sus varietales mientras que la variedad D-Sativa si mantuvo diferencias en las dimensiones del grano con sus varietales.

Longitud de los granos cargo

Para la variable longitud de los granos cargos la prueba de media arrojó 6 grupos en donde cada genotipo representó un grupo diferente (Cuadro 2).

Ancho de los granos cargo

En cuanto al ancho de los granos cargo se encontraron sólo dos grupos ($P < 0,01$) en la prueba de medias (Cuadro 2), uno formado por el varietal DS-R que mostró mayor ancho del grano cargo y el segundo formado por los demás genotipos.

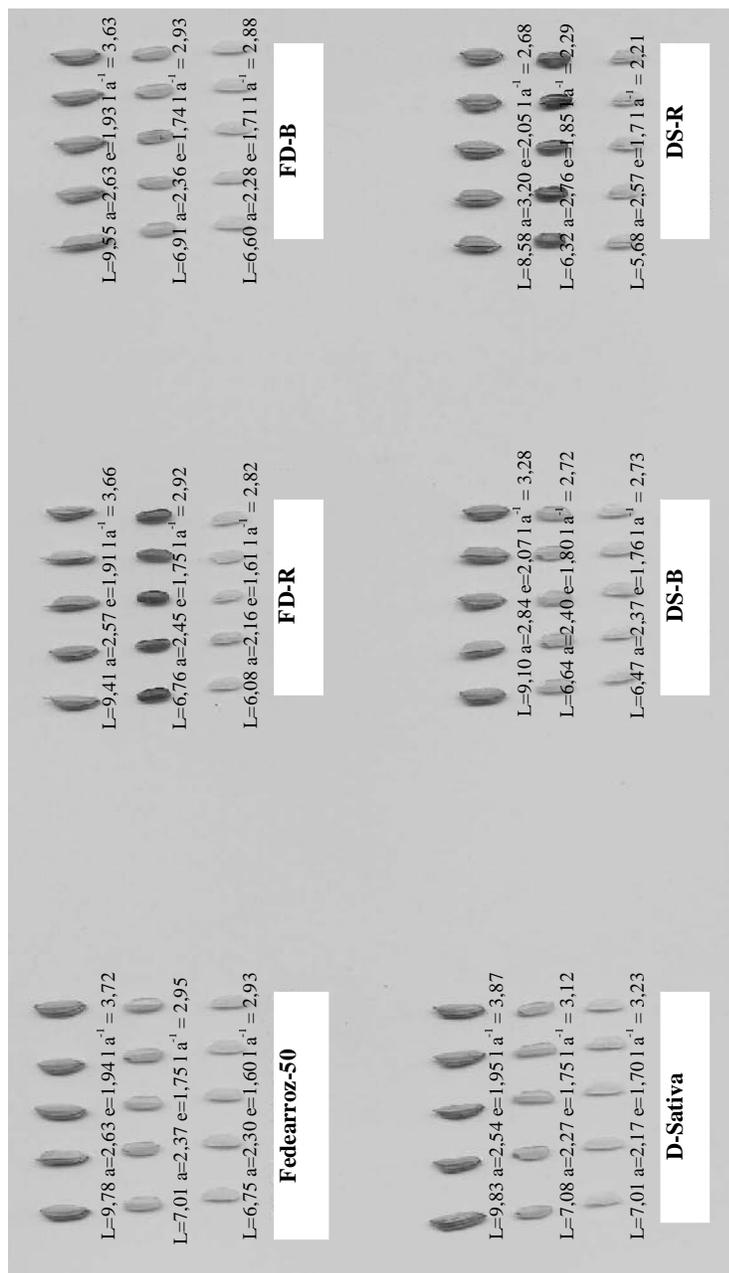


FIGURA 7. Muestreo de granos paddy, cargo y pulido de las variedades de arroz D-Sativa y Fedearroz 50 y sus varietales de arroz maleza DS-B, DS-R, FD-R y FD-B.
L: largo (mm); a: ancho (mm); e: espesor (mm).

Espesor de los granos cargos

El espesor del grano cargo fue mayor ($P < 0,01$) en DS-R (1,85 mm), le siguieron en orden de importancia DS-B (1,80 mm) y por último el grupo formado por Fedearroz-50 (1,75 mm), D-Sativa (1,75 mm), FD-R (1,73 mm) y FD-B (1,74 mm), Cuadro 2.

Relación largo.ancho⁻¹ de granos cargos

La relación largo.ancho⁻¹ del grano cargo fue similar a la observada en el grano paddy, donde D-Sativa tuvo la mayor relación (3,12 mm), luego Fedearroz-50 y sus varietales; el grupo de DS-B y por último el de menor valor DS-R (2,29 mm), Cuadro 2.

Ortiz Domínguez (1997); Ortiz Domínguez *et al.* (2000), encontraron que las variedades FONAIAP 1, Cimarrón, Araure 4, Araure 1 y ZETA 15[®] tuvieron mayor relación largo.ancho⁻¹ de los granos paddy que el AR, en donde estos últimos fueron más anchos y cortos que las variedades. Estos resultados coinciden con los encontrados entre D-Sativa y sus varietales, pero no con Fedearroz 50 y sus varietales, estos tienden a parecerse al cultivar, quizás debido a que se ha mimetizado más con el cultivo.

Longitud de los granos pulidos

En el Cuadro 4 se puede observar que la prueba de media de la longitud del grano entero pulido, arrojó 4 grupos donde se evidencia que D-Sativa mostró mayor valor (7,01 mm), seguido por la variedad Fedearroz-50, luego por el grupo conformado por DS-B y FD-B; un cuarto grupo con FD-R y en último lugar DS-R con 5,68 mm ($P < 0,01$). Estos resultados tuvieron una tendencia similar a los mostrados por la longitud de los granos paddy y cargo.

Ancho de los granos pulidos

El ancho de los GE fue mayor en DS-R, intermedios en el segundo grupo DS-B y Fedearroz-50 y FD-B, y un tercer grupo con D-Sativa y FD-R ($P < 0,01$). Coincidiendo estos valores con la tendencia observada en los granos paddy y cargo (Cuadro 4).

CUADRO 4. Longitud, ancho, espesor y relación largo/ancho del grano pulido de las variedades D-Sativa, Fedearroz-50 y sus varietales.

Tratamiento	Longitud pulido(mm)	Ancho (mm)	Espesor pulido(mm)	Relación L.a ⁻¹ pulido(mm)
D-Sativa	7,01 a	2,17 c	1,70	3,23 a
DS-B	6,47 b	2,37 b	1,76	2,73 c
DS-R	5,68 d	2,57 a	1,71	2,21 d
Fedearroz-50	6,75 ab	2,30 b	1,60	2,93 b
FD-R	6,08 c	2,16 c	1,61	2,82 bc
FD-B	6,60 b	2,28 b	1,71	2,88 bc
CV (%)	2,25	2,37	6,39	3,39
CM	1,15**	0,11**	0,019N.S.	0,56**

CV: Coeficiente de variación. CM: Cuadrado medio; **: altamente significativo; *: Significativo; N.S.: no significativo. Promedios en columnas con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

Espesor de los granos pulidos

En el espesor de los granos enteros no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Esta variable no mostró la tendencia encontrada entre los granos paddy y cargo (Cuadro 4).

Relación largo ancho⁻¹ de los granos pulidos

La relación largo ancho⁻¹ mostró la misma tendencia observada para los granos paddy y cargo. En tal sentido, la variedad D-Sativa mostró mayor valor que el segundo grupo formado por Fedearroz-50, el tercer grupo lo conformó FD-R y FD-B, el cuarto grupo DS-B y el grupo de menor relación largo.ancho⁻¹ fue el constituido por DS-R (P<0,01), ver Cuadro 4.

De acuerdo con estos resultados se pudiera tipificar a estos genotipos como: arroces largo (6,6 - 7,5 mm) a las variedades D-Sativa, Fedearroz-50 y el varietal FD-B, y medianos (5,6 – 6,5 mm) al resto de los materiales

evaluados, según la caracterización comercial de arroz (Montealegre, 1991, CIAT, 2001 y Normas mexicanas, 2005).

En la Figura 7 se observa las dimensiones de los granos de las variedades de arroz y sus VAM.

CONCLUSIONES

- Los VAM rojos produjeron mayor porcentaje GPDM que los beigeos, encontrándose que DS-R tuvo casi dos veces más granos quebrados que DS-B, mientras que FD-R mostró 6 veces más partidos que FD-B. Así mismo, el VAM rojo de D-Sativa (DS-R) tuvo casi el doble del porcentaje GPDM que el rojo FD-R. Las variedades mostraron granos quebrados al momento de descascararlos a mano.
- Los VAM con pericarpio rojo (FD-R y DS-R) mostraron aproximadamente 10% menos en el %GE que las variedades D-Sativa y Fedearroz-50, mientras que los varietales beige FD-B y DS-B mostraron una diferencia menor (2%), con respecto a sus variedades de origen.
- También se encontró que los VAM rojos (DS-R y FD-R) tuvieron 7% menos de GE que los beigeos (DS-B y FD-B). Sin embargo, la diferencia entre el DS-R y FD-R fue de 1,64% y entre DS-B y FD-B 1,55%.
- El RM siguió la misma tendencia que el %GE, encontrándose que los VAM rojos tuvieron menor %RM que las variedades y los VAM beigeos.
- Los VAM rojos produjeron entre 2 a 5% más porcentaje de GY + PB que las variedades de arroz y de 1 a 3% más que los VAM beigeos, adjudicándose las diferencias mayores entre los DS-R y DS-B. Así mismo, DS-R tuvo 3,36 % más %GY+PB que FD-R y DS-B 1,08% más que FD-B.
- DS-R tuvo 16,67% de granos rojos en el arroz pulido que FD-R, lo que significó 4,6 veces más. Este alto porcentaje GRP encontrado en DS-R quizás se deba a que sus granos conservan aún las características silvestres del AR como son dimensiones de longitud pequeña

y más ancho, lo que dificulta el proceso de pulido de los granos, quedando muchas estrías rojas sobre ellos.

- Las variedades de arroz tuvieron estadísticamente mayor longitud de los granos paddy, cargo y pulido que los VAM rojos y beige. Aunque en paddy las variedades mostraron similitud en la longitud de los granos, sin embargo, en cargo y pulido se observó mayor largo de los granos en D-Sativa.
- Solamente el varietal DS-R mostró valores menores de 9 mm, lo cual quiere decir que es el único VAM que aún conserva el largo del grano parecido a los AR encontrados en campos de arroz cultivado y los otros VAM (DS-B, FD-R y FD-B) se han mimetizado con las variedades, forzado por el proceso de depuración al cual son sometido los campos de producción de semilla, quizás para evitar su erradicación con el fin perpetuarse en el banco de semilla del suelo.
- El ancho de los granos paddy, cargo y pulido fue mayor en DS-R y D-Sativa fue la más delgada. DS-B mostró el mayor espesor del arroz paddy y cargo, sin embargo en el pulido todos fueron similares en este atributo. D-Sativa mostró la mayor relación largo ancho¹.
- Estos resultados muestran que la tendencia del AM en campos de semilla es parecerse a las variedades de arroz con el fin de pasar desapercibidos durante las depuraciones de campos para ello debe mimetizarse con el cultivo, pero en esta evolución la calidad molinera no es importante porque no establece una presión de selección como lo hace la erradicación de plantas fuera de tipo y AR, quizás por ello los VAM pudieran afectar negativamente la calidad molinera del arroz, sin embargo, pareciera que hay una asociación entre el pericarpio rojo y la baja calidad de los granos, ya que los VAM beige mostraron mejor calidad que los rojos.

BIBLIOGRAFÍA

ARRIETA-ESPINOZA, G., E. SÁNCHEZ, S. VARGAS, J. LOBO, T. QUESADA and A. M. ESPINOZA. 2005. The weedy rice complex in Costa Rica. I. Morphological study of relationships between commercial rice varieties, wild *Oryza* relatives and weedy types. *Genet. Resour. Crop Evo.* 52:575-587.

CASTILLO, J. 2006. Evaluación de la contaminación con arroz rojo en la producción de semillas y granos de arroz en el estado Portuguesa. Tesis de Grado. Maracay, Aragua. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 90 p.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRONOMÍA TROPICAL (CIAT) 2001. Mejoramiento de arroz. Análisis de molinería y apariencia del grano. [Documento en línea] Disponible: <http://www.ciat.cgiar.org.co> [Consulta: enero 20, 2006].

COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). 1986. Normas para la recepción de arroz. Caracas, Venezuela. Fondonorma. 4 p.

DIARRA, A., R. SMITH and R. TALBERT. 1985. Growth and Morphological Characterization of Red Rice (*Oryza sativa* L.) Biotypes. *Weed Sci.* 33:310-314.

JARAMILLO, A. 1987. Arroz rojo y nuevos métodos químicos para su control. *Revista Informativa.* 9(3):6.

MINISTERIO DE PRODUCCIÓN Y COMERCIO Y MINISTERIO DE AGRICULTURA Y TIERRAS (MPC y MAT). 2002. Gaceta Oficial N° 37 425. Resolución de fecha 17 de abril. Caracas, Venezuela. 5-6 p.

LEESAWATWONG, M., S. JAMJOD, J. KUO, B. DELL and B. RERKASEM. 2005. Nitrogen fertilizer increases seed protein and milling quality of rice. *Cereal Chemistry.* 82(5):588-593.

MONTEALEGRE, F. 1991. Caracterización morfofisiológica de algunos tipos de arroz rojo (*Oryza sativa* L.). Tesis de maestría. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 116 p.

NORMAS MEXICANAS. 2005. Productos alimenticios no industrializados para uso humano-cereales-arroz pulido (*Oryza sativa* L). Especificaciones y métodos de prueba. NMX-FF-035-SCFI-2005. 68 p.

ORTIZ DOMÍNGUEZ, A. 1997. Caracterización morfofisiológica y quimiotaxonómica de ecotipos de arroz rojo y variedades de arroz en Venezuela. Tesis de maestría. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay. 117 p.

ORTIZ DOMÍNGUEZ, A. 2000. Efecto de algunos ecotipos de arroz rojo sobre el rendimiento en molino y transparencia de los cultivares de arroz FONAIAP 1, CIMARRON y ZETA 15. *Agronomía Trop.* 50(4):633-649.

ORTIZ DOMÍNGUEZ, A., L. LÓPEZ y J. LIZASO. 2000. Comparación de algunos componentes del rendimiento, latencia de las semillas y dimensiones de los granos entre poblaciones de arroz rojo y variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en Venezuela, *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 26:15-25.

PÁEZ, G. 1999. Efecto de la hidracida Maleíca en la viabilidad de la semilla de arroz rojo (*Oryza sativa* L.) y sobre algunos componentes de rendimiento del arroz. Tesis de Grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 51 p.

SEPTININGSIH, E., K. TRIJATMIKO, S. MOELJOPAWIRO and S. MCCOUCH. 2003. Identification of quantitative trait loci for grain quality in an advanced backcross population derived from the *Oryza sativa* variety IR64 and the wild relative *O. rufipogon*. *Theor Appl Genet* 107:1.433-1.441.

SOLIMAN, N., M. FAYEZ and A. MEDHAT. 1992. Effect of red rice ratio on the milling quality and energy requirement. *Rice Technology Training Centre.* 6-7 p.

TORO, L. 2003. Efecto de algunos herbicidas sobre el arroz rojo. Tesis de Grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 64 p.

TORRES, S. 2003. Efecto de densidades de población de arroz rojo (*Oryza Sativa* L.) sobre el rendimiento y calidad molinera de la variedad de arroz ZETA 15. Tesis de Grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 65 p.

**ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO -
AMBIENTE PARA RENDIMIENTO
DE MAÍZ EN LA REGIÓN MAICERA
DEL ESTADO YARACUY, VENEZUELA**

Gleenys Alejos*, Pedro Monasterio* y Ramón Rea*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la adaptabilidad y estabilidad del rendimiento de granos de 16 híbridos de maíz, *Zea mays* L., blancos usando el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). Los ensayos fueron conducidos en seis ambientes durante el período 2000-2001 en el estado Yaracuy, Venezuela. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro (4) repeticiones. La parcela experimental fue de dos surcos de 5 m de largo x 0,70 m de ancho y 0,20 m entre plantas. El ambiente, genotipo y la interacción genotipo x ambiente explicaron el 36%, 22% y 42% del total de la suma de cuadrado, respectivamente. Los dos primeros componentes principales (CP) del análisis del modelo AMMI fueron significantes ($P < 0,001$), explicando un 37% y 27% de la suma de cuadrado de la interacción. Los híbridos Himeca-2020 y X-1409 BW mostraron ser de buen rendimiento y estable para todos los ambientes. El ambiente más eficiente en discriminar los genotipos fue Yaritagua 2001. El modelo AMMI fue una herramienta útil para identificar genotipos de maíces de altos rendimientos y con adaptabilidad específica y amplia.

Palabras Clave: *Zea mays* L.; Interacción G x A; modelos multiplicativos; AMMI; maíz; estabilidad.

* Investigadores. INIA. Centro de Investigaciones Agrícolas del Estado Yaracuy. Carretera vía Aeropuerto. Sector Las Flores. Apdo. 110. San Felipe, estado Yaracuy, Venezuela.

RECIBIDO: junio 01, 2006.

**EVALUATION OF THE GENOTYPE-ENVIRONMENT
INTERACTION FOR MAIZE YIELD
IN YARACUY STATE, VENEZUELA**

Gleenys Alejos*, Pedro Monasterio* y Ramón Rea*

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate adaptability and grain yield stability of 16 maize, *Zea mays* L., genotypes using the additive main effects and multiplicative interaction model (AMMI). Trials were carried out at six environments during the period from 2000 to 2001 in Yaracuy State, Venezuela. An experimental random block design with four replicates was used. Each experimental unit consisted of two 5 m-rows (0.70 m between rows and 0.20 m between plants). The environment (E), Genotype (G) and G x E interaction explained 36%, 22% and 42% of the total sum of squares, respectively. The first two principal components of the analysis were significant ($P < 0,001$), explaining 37% and 27% of the interaction sum of squares. Hybrids Himeca - 2020 and X-1409 BW showed good and stable yields in all environments. The most efficient environment in the discrimination of genotypes was Yaritagua 2001. It was possible to identify superior maize genotypes selected with specific or wide adaptation by using the AMMI model.

Key Words: *Zea mays* L.; G x E interaction; multiplicative models; AMMI; maize; stability.

* Investigadores. INIA. Centro de Investigaciones Agrícolas del Estado Yaracuy. Carretera vía Aeropuerto, Sector Las Flores. Apdo. 110. San Felipe, estado Yaracuy. Venezuela.

RECIBIDO: junio 01, 2006.

INTRODUCCIÓN

Para evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares, generados de los programas de mejoramiento genético de cualquier rubro agrícola, es necesario medir la estabilidad relativa de los genotipos sometidos a la totalidad de los ambientes predominantes en una región potencial de adaptación. Las etapas finales de estos programas incluyen experimentos de evaluación en diferentes localidades durante varios años.

La ocurrencia a menudo de interacción genotipo ambiente (G x A) en este tipo de ensayos exige la realización de estudios adicionales con el propósito de precisar la selección de individuos con adaptabilidad general y específica. La interacción G x A es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos desde un ambiente a otro, y cuando ésta ocurre en gran proporción reduce el progreso genético de la selección (Yang y Baker, 1991; Magari y Kang, 1993).

Varios procedimientos estadísticos han sido usados para el análisis de la interacción G x A, incluyendo métodos univariados y multivariados (Hill, 1975; Lin *et al.*, 1986; Wescott, 1986; Crossa *et al.*, 1990; Flores *et al.*, 1998; Rea y De Sousa, 2002). Entre las diversas técnicas disponibles para realizar este tipo de estudios se ha elegido el método AMMI (Efectos principales aditivos e interacción multiplicativa) propuesto por Zobel *et al.* (1988); Gauch y Zobel (1988 y 1996).

Hasta el presente, el método ha sido utilizado en muchos cultivos como cereales, oleaginosas, forrajeras, entre otros (Crossa *et al.*, 1990; Van Eeuwijk, 1995; Marín, 1995; Annicchiarico, 1997; Aulicini *et al.*, 2000, Medina *et al.*, 2002; Marín *et al.*, 2004).

El método AMMI no sólo permite estimar estabilidad, sino, también evaluar localidades y como consecuencia clasificar los ambientes (Crossa *et al.*, 1990). El procedimiento AMMI consiste en combinar las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (CP) en un solo modelo, donde el análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de los genotipos y ambientes y los análisis de CP la interacción G x A la cual es tratada de forma multivariada para su interpretación.

Este modelo ha demostrado ser más eficiente que otras técnicas tradicionales de análisis donde es imprescindible discernir en detalle sobre las características de la interacción G x A (Zobel *et al.*, 1988; Nachit *et al.*,

1992; Yan, 1995). Así mismo, el AMMI unido al uso del “biplot”, una técnica de representación gráfica, es una herramienta útil para la interpretación de patrones de respuesta de los genotipos, ambientes y de la interacción G x A (Kempton, 1984; Yan *et al.*, 2000).

Esta investigación tuvo como objeto determinar: a) la magnitud y naturaleza de la interacción G x A. y b) evaluar la estabilidad de 16 híbridos experimentales de maíz de grano blanco, evaluados en varios ambientes del estado Yaracuy, Venezuela, en el período 2000-2001.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se evaluaron 16 híbridos blancos: FONAIAP-104 (G1), FONAIAP-2002 (G2), FONAIAP-2004 (G3), MTC-93224 (G4), MTC-93225 (G5), HS-13 (G6), HS-3G (G7), HS-9 (G8), HS-11 (G9), D-2562 (G10), D-3160 (G11), HIMECA-3002 (G12), HIMECA-2020 (G13), X-1409 BW (G14), SK-202 (G15), TOCORÓN-370 (G16) en seis ambientes durante los años 2000 y 2001: Las Velas (A1), Yaritagua 2000 (A2), Camunare (A3), Yaritagua 2001 (A4), La Virgen (A5), Guarabao (A6). Más detalles sobre los ambientes son presentados en el Cuadro 1.

El diseño experimental usado en cada ambiente fue el de bloques completos al azar con cuatro (4) repeticiones. La parcela experimental fue de dos surcos de 5 m de largo x 0,70 m de ancho y 0,20 m entre plantas. El establecimiento de los ensayos en cada localidad coincidió con el inicio del período de lluvias en la región. La variable medida fue rendimiento de grano acondicionado a 12% de humedad, expresado en kg ha⁻¹.

Análisis estadísticos

Se realizó un análisis combinado de la varianza (ANOVA) para los efectos principales de genotipo (G) y ambiente (A) mediante el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + (GA)_{ij} + B_{k(j)} + E_{ijk}$$

CUADRO 1. Características climáticas y edáficas de los ambientes evaluados durante el período 2000-2001.

Localidades	Tipo de suelo	Altitud m.s.n.m.	Precipitación (mm)	pH	Coordenadas
Las Velas(A1)	Oxic Haplustalfs	450	900	5,6	Latitud: 10° 07-13 N Longitud: 68°-29-48W
Camunare(A3)	Oxic Haplustalfs	330	1 300	5,5	Latitud: 10° 07-13 N Longitud: 68° 56-45W
Yaritiagua(A2/A4)	Oxic Haplustalfs	325	960	7,5	Latitud: 10° 04 N Longitud: 69° 70W
La Virgen(A5)	Oxic Haplustalfs	329	1 300	7,4	Latitud: 10° 07-13N Longitud: 68° 56-40W
Guarabao(A6)	Typic Ustipsamments	300	1 400	5,6	Latitud: 10° 20-34 N Longitud: 68°-56-45W

Donde:

Y_{ijk} = Rendimiento promedio del i ésimo genotipo obtenido en el j ésimo ambiente y k ésima repetición,
 μ = Efecto de la media general,
 G_i = Efecto del i ésimo genotipo,
 A_j = Efecto del j ésimo ambiente,
 $(GA)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i ésimo genotipo y el j ésimo ambiente,
 $B_{k(j)}$ = Efecto de la k ésima repetición en el j ésimo ambiente,
 E_{ijk} = Efecto aleatorio del error experimental asociado al i ésimo genotipo en el j ésimo ambiente y k ésima repetición, según el modelo lineal aditivo.

Se realizó un análisis de CP para los efectos no aditivos de la interacción $G \times A$ (Gollob, 1968). Este modelo denominado AMMI por Gauch y Zobel (1988), está constituido por parámetros aditivos y multiplicativo. El modelo es:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum_{n=1}^N B_n \cdot t_{in} \cdot \delta_{jn} + E_{ij}$$

Y_{ij} = Rendimiento promedio del i ésimo genotipo en el j ésimo ambiente,
 μ = Efecto de la media general,
 G_i = efectos genotípicos, principales
 A_j = efectos ambientales principales,
 N = Corresponde al número de ejes CP retenidos en el modelo,
 B_n = es el valor singular para cada CP,
 t_{in} = valores de los vectores de los genotipos para cada CP,
 δ_{jn} = valores de los vectores de los ambientes para cada CP,
 E_{ij} = es el residuo que incluye el error experimental.

Previamente al análisis se ajustó el rendimiento con un análisis de covarianza y luego se realizó una prueba de Bartlett para comprobar la homogeneidad de varianza (Steel y Torrie, 1980). El número de ejes posibles (CP) que el modelo puede retener en AMMI es el mínimo $(G-1; E-1)$. Los ejes no significativos se incluyeron en el residual.

Se estimaron las coordenadas genotípicas y ambientales sobre los CPI y se construyó un gráfico bidimensional “Biplot” en el que se representó la variable medida en función de dichas coordenadas (Kempton, 1984; Zobel *et al.*, 1988). También se graficó el primer eje del CPI contra el segundo eje (CPI vs. CP2). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS (1999) y de acuerdo a los procedimientos establecidos para medias ajustadas por Vargas y Crossa (2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prueba de Bartlett resultó no significativa, por lo tanto se pasó al análisis combinado de la varianza para todos los genotipos y ambientes (Cuadro 2). Se detectó diferencias altamente significativas ($P < 0,001$) para los efectos principales de genotipos y ambientes, mientras que la interacción G x A fue significativa. Estos resultados demuestran que los genotipos tienen un comportamiento diferencial en los ambientes probados.

CUADRO 2. Análisis AMMI para el rendimiento de grano (kg ha^{-1}) de 16 híbridos de maíz evaluados en 6 ambientes del estado Yaracuy durante el período 2000-2001.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	% SC
Genotipos	15	48358092,44	3223872,83**	22
Ambientes	5	81842532,88	16368506,58**	36
Interacción G x A	75	94443592,44	1259247,90*	42
CP1	19	35138270,12	1849382,00*	37
CP2	17	25415691,82	1495040,70*	27
CP3	15	18542274,81	1236151,65	20
Residual	24	15347356,04	639473,16	16

CV = 19,3

* y ** indican diferencias significativas al 5% y 1%, respectivamente.

El análisis AMMI para rendimiento de los 16 genotipos evaluados en los seis ambientes determinó que el 22% de la suma de cuadrados totales fue atribuible a efectos genotípicos, mientras que los efectos ambientales y la interacción G x A representaron el 36% y 42%, respectivamente. Sólo los dos primeros componentes (CP1 y CP2) obtenidos a partir del efecto de la interacción fueron significativos (Cuadro 2).

El primer eje del análisis de componentes de la interacción CP1 explicó el 37% de la interacción, y el segundo eje el 27%. Estos resultados demuestran que el efecto de interacción G x A fue explicado en su totalidad por los dos primeros CP, dado que tanto el CP3 como el residual resultaron no significativos.

En el Cuadro 3 se muestra los rendimientos promedio por hectárea para cada genotipo en cada ambiente, las medias genotípicas y ambientales, promediada por fila y columna, y las coordenadas sobre el CP1 y el CP2 para genotipos y ambientes.

Los genotipos G13 y G14 fueron los de mayor rendimiento promedio a través de ambientes, mientras que G14 y G15 fueron los genotipos que presentaron los valores absolutos más bajos de CP, indicando pequeñas interacciones y por ende pueden ser considerados como los más estables a través de ambientes (Marín, 1995; Medina *et al.*, 2002).

En el biplot se representa el rendimiento promedio en función de las coordenadas del primer eje del CP1 de genotipos y ambientes (Figura 1). Los genotipos y ambientes con coordenadas elevadas sobre el CP1, consideradas en valor absoluto, contribuyeron en mayor medida a la interacción G x A, mientras que genotipos y ambientes con CP1 cercanos a cero tuvieron poca participación sobre este efecto (Crossa *et al.*, 1990, Medina *et al.*, 2002; Marín *et al.*, 2004). Los genotipos 13 y 14 muestran el mayor potencial de rendimiento y por el grado de asociación.

El ambiente A4 se infiere que es en este ambiente donde se expresa su máximo potencial. Por otro lado, los genotipos más estables, con valores de CP1 bajos o cercanos a cero, fueron los genotipos G2, G4, G5, G10, G14, G15 y G16. Los genotipos G3, G12, G11 y G8 junto con los ambientes A2 y A4 fueron los que más aportaron al primer eje de la interacción, siendo más inestables.

CUADRO 3. Rendimiento promedio en kg ha⁻¹ de 16 genotipos de maíz evaluados en seis ambientes y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales para genotipos y ambientes.

Genotipos	Ambientes											Media	CP1	CP2
	2000						2001							
	Las Velas A1	Yaritagua A2	Camunare A3	Yaritagua A4	La Virgen A5	Guarabao A6	Las Velas A1	Yaritagua A2	Camunare A3	Yaritagua A4	La Virgen A5			
G1) FONAIAP-104	4 670,3	4 295,5	4 704,5	5 854,8	5 316,3	4 021,8	4 810,0	9,702	-0,530					
G2) FONAIAP-2002	5 666,0	5 872,3	5 288,5	6 832,5	4 734,5	4 689,0	5 513,8	-6,587	-6,740					
G3) FONAIAP-2004	5 803,5	5 975,3	4 773,5	7 759,8	7 219,3	3 871,0	5 900,4	27,299	-31,702					
G4) MTC-93224	5 494,5	5 803,8	6 078,5	6 214,3	6 172,8	5 844,0	5 934,6	-6,925	7,010					
G5) MTC-93225	5 941,0	5 185,5	5 340,0	6 763,3	5 871,5	4 837,3	5 656,4	7,345	-1,066					
G6) HS-13	5 288,3	4 807,8	4 842,3	5 509,3	4 782,0	5 621,5	5 141,8	-11,296	17,825					
G7) HS-3G	5 322,8	6 730,8	5 219,8	6 472,3	5 281,8	5 194,0	5 703,5	-14,846	-12,139					
G8) HS-9	6 456,3	6 250,0	5 288,5	5 508,3	5 303,8	4 326,5	5 522,2	-19,053	-16,749					
G9) HS-11	4 910,8	5 014,0	4 670,3	7 286,5	4 900,5	4 764,8	5 257,8	10,651	0,925					
G10) D-2562	6 257,0	5 597,8	5 666,3	7 933,0	5 053,0	5 160,8	5 944,6	5,585	1,593					

... continúa

./... continuación CUADRO 3.

Genotipos	Ambientes						Media	CPI	CP2
	2000			2001					
	Las Velas A1	Yaritagua A2	Camunare A3	Yaritagua A4	La Virgen A5	Guarabao A6			
G11) D-3160	5 803,5	6 250,0	5 288,5	5 742,8	3 980,3	4 807,8	5 312,1	-28,386	-5,296
G12) HIMECA-3002	5 803,5	4 326,8	5 666,3	7 757,5	6 050,5	5 010,8	5 769,4	25,627	10,569
G13) HIMECA-2020	6 490,5	4 979,5	5 941,3	7 389,5	6 232,3	6 845,3	6 313,0	7,596	28,045
G14) X-1409 BW	5 357,0	6 559,3	7 211,5	7 201,3	6 431,3	5 814,5	6 429,1	-4,853	-0,461
G15) SK-202	5 837,8	5 254,3	4 773,5	7 083,3	4 763,5	4 621,3	5 389,0	3,508	-2,576
G16) TOCORÓN-370	6 112,5	4 910,8	5 151,0	6 407,5	4 598,3	5 154,8	5 389,1	-5,425	11,292
Media	5 700,9	5 488,1	5 369,0	6 732,2	5 418,2	5 036,6			
MDS 0,05	1 233,2	1 686,9	1 743,0	1 601,9	1 775,0	1 466,3			
CV	15,19	21,58	22,80	16,71	23,00	20,44			
CP1	-7,139	-32,124	-10,483	34,893	28,661	-13,807			
CP2	0,257	-34,030	10,049	-3,234	-11,796	38,755			

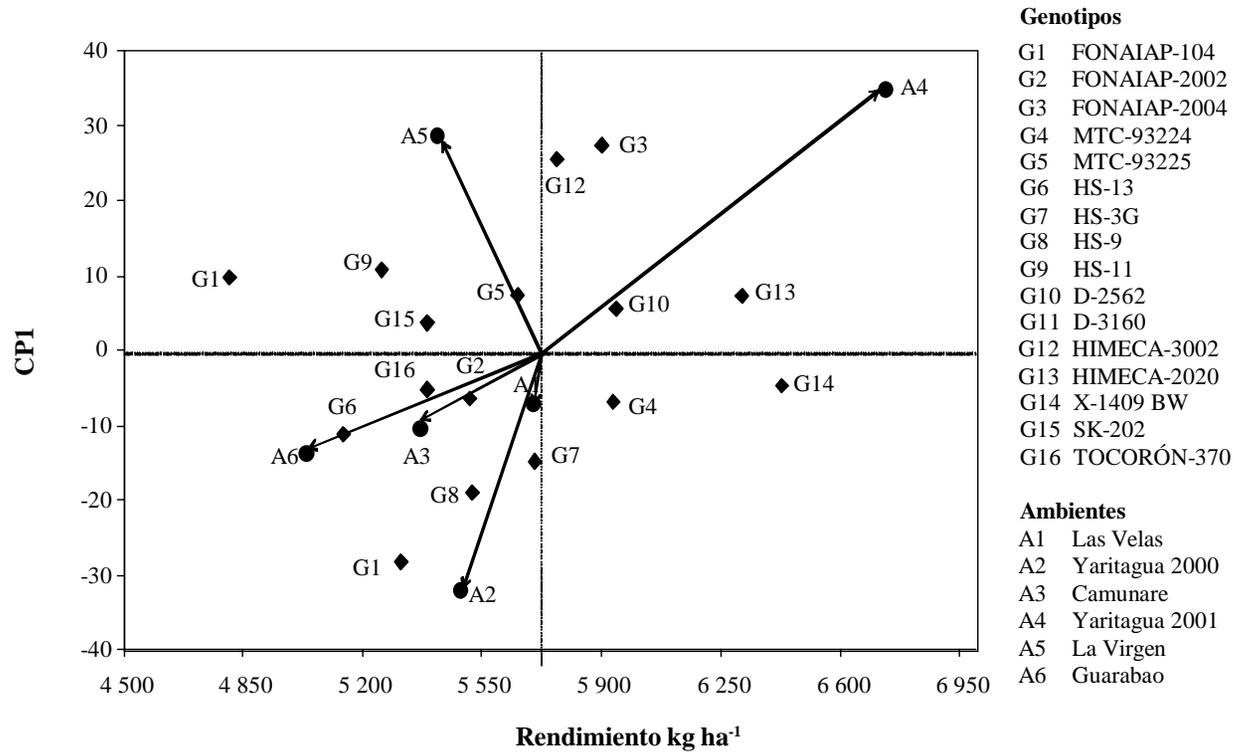


FIGURA 1. Doble representación gráfica del CPI en función del rendimiento promedio (kg ha^{-1}) de 16 híbridos evaluados en 6 ambientes del estado Yaracuy durante el período 200-2001.

Con relación a los ambientes, Yan *et al.* (2000) señala que aquellos que exhiben entre ellos un ángulo menor a los 90° tienen la cualidad de clasificar a los genotipos de una manera semejante, caso que se presentó entre los ambientes A2, A3 y A6 por lo que en un momento determinado se puede eliminar uno de ellos sin perder precisión en los resultados, contribuyendo a una disminución de costos y esfuerzos en la recolección de la información; sin embargo, los que forman un ángulo cercano a 90° no guardan relación en la forma de ordenar los genotipos, mientras los que tienen un ángulo cercano a los 180° tienden a ordenar de manera inversa los genotipos, dificultando la selección por ser tan contrastantes, caso que se observa en los ambientes A2, A3 y A6 contra el ambiente A4.

Por la longitud de los vectores el ambiente que mejor discrimina a los genotipos en la evaluación es el ambiente A4 correspondiente a Yaritagua 2001, esto de acuerdo por lo explicado por Kempton (1984) y Yan *et al.* (2000).

En la Figura 2 se presenta la doble representación gráfica (“biplot”), considerando los efectos de los dos primeros CP. En resumen, esta gráfica permite observar que los ambientes que tienden a jerarquizar de manera similar a los genotipos son los ambientes Yaritagua 2001 (A4) y La Virgen (A5), Camunare (A3) y Guarabao (A6), lo que indica que se puede descartar uno de estos ambientes sin perder precisión de los resultados. También Yaritagua, pero en evaluaciones de dos años diferentes, muestran una tendencia a ordenar los genotipos de manera contrastante; esto demuestra la importancia de evaluar los genotipos por varios ciclos en un mismo lugar antes de tomar cualquier decisión para la selección. Los genotipos que se encuentran cercanos al centro de la figura son más estables que aquellos alejados de la misma.

CONCLUSIONES

- El modelo AMMI fue útil para entender la compleja interacción genotipo por ambiente existente en caracteres cuantitativos como el rendimiento de grano, lo que permite ganar precisión, mejorando el proceso de selección e incrementando la eficiencia experimental.

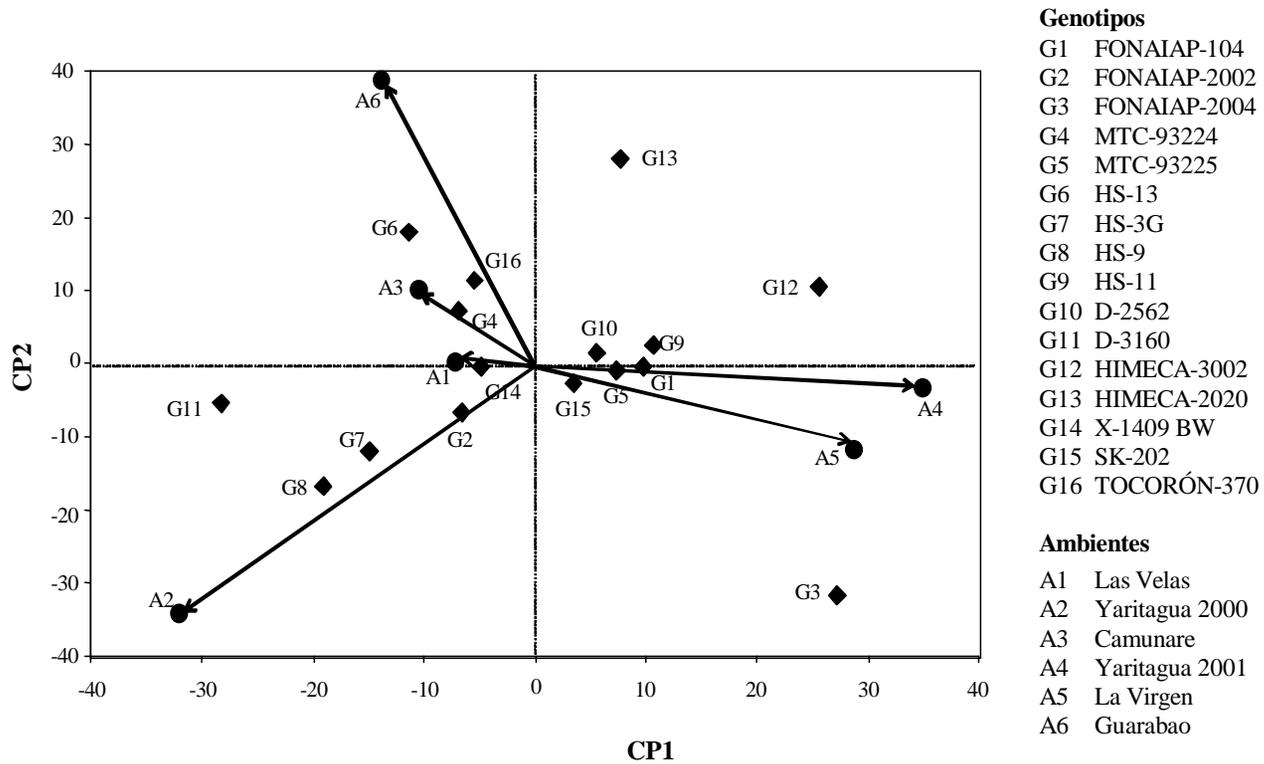


FIGURA 2. Doble representación gráfica del CP1 vs. CP2 de 16 híbridos evaluados en 6 ambientes del estado Yaracuy durante el período 2000-2001.

- Los híbridos de mayor potencial de rendimiento y buena estabilidad fueron HIMECA-2020 (G13) y X-1409 BW (G14) y la localidad más eficiente en la discriminación de genotipos fue Yaritagua 2002.
- Las gráficas “Biplot” generan una óptima interpretación de los efectos propios del modelo, ya que con ellas es posible establecer importantes relaciones entre los efectos.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen por la asistencia de campo a los Técnicos Asociados a la Investigación: Jacinto Tablante y Pastor Segovia, miembros del programa maíz del INIA-Yaracuy.

BIBLIOGRAFÍA

ANNICCHIARICO, P. 1997. Joint regression vs. AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica*. 94(1):53-62.

AULICINIO, M., F. LAOS, M. ARTURI, A. SUÁREZ y C. GRECO. 2000. Análisis de la interacción genotipo – ambiente para rendimiento forrajero en cebadilla criolla. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 15(3):169-180.

CROSSA, I., H. GAUCH and R. ZOBEL. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30:493-500.

FLORES, F., T. MORENO and J. CUBERO. 1998. A comparison of univariate and multivariate methods to analyze G x E interaction. *Field Crops Res.* 47:117-127.

GAUCH, H. and R. ZOBEL. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 79:753-761.

GAUCH, H. and R. ZOBEL. 1996. AMMI analysis of yield trials. **In:** M.S. Kang y H.G. Gauch. (eds.). *Genotype-by-Environment interaction*. CRC Press, Boca Ratón. pp. 85-122

GOLLOB, H. F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika* 33:73-115.

HILL, J. 1975. Genotype-environment interactions a challenge for plant breeding. *J. Agric. Sci., Camb.* 85:477-493.

KEMPTON, R. A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Sciences* 103:123-135.

LIN, C., M. BINNS and P. LEFKOVITCH. 1986. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Sci.* 26:894-900.

MAGARI, R. and M. KANG. 1993. Genotype selection via a new yield stability statistic in maize yield trials. *Euphytica* 70:105-111.

MARÍN, C. 1995. Estimación y comparación de parámetros de estabilidad del rendimiento en cultivares de maíz (*Zea mays* L.) con fines de selección y recomendación en función de los ensayos regionales del FONAIAP, año 1992. Trabajo de Grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 126 p.

MARÍN, C., F. SAN VICENTE y V. SEGOVIA. 2004. Métodos recientes para el análisis de la interacción genotipo-ambiente en pruebas regionales de cultivares de maíz (*Zea mays* L.). **In:** VI Jornada Científica del Maíz. Maracay (Venezuela). Fasc. 1:6 p.

MEDINA, S., C. MARÍN, V. SEGOVIA, A. BEJARANO, Z. VENERO, R. ASCANIO y E. MELÉNDEZ. 2002. Evaluación de la estabilidad del rendimiento de variedades de maíz en siete localidades de Venezuela. *Agronomía Trop.* 52(3):255-275.

NACHIT M., M., G. NACHIT, H. KETATA, H. G. GAUCH and R. W. ZOBEL. 1992. Use of AMMI and linear regression models to analyse genotype-environment interaction in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics.* 83(5):597-601.

REA, R. and O. de SOUSA. 2002. Genotype x environment interaction in sugarcane yield trials in the central-western region of Venezuela. *Interciencia* 27:620-624

SAS. 1999. SAS/STAT User's guide. Version 8.2. SAS Institute, Inc., Cary, NC. USA.

STEEL, R. and R. TORRIE. 1980. Principles and procedure of statistics. 2nd. Ed. McGraw-Hill. New York. 633 p.

VAN EEUWIJK, F. 1995. Linear and bilinear models for the analysis of multi-environment trials: I. An inventory of models. *Euphytica*. 84:1-7.

VARGAS, M. and J. CROSSA. 2000. The AMMI analysis and graphing the biplot. Biometrics and Statistic Unit. CIMMYT.

WESCOTT, B. 1986. Some methods of analyzing genotype-environment interaction. *Heredity* 56:243-253

YAN, S. 1995. Regression and AMMI analysis of genotype-environment interaction. An empirical comparison. *Agron. J.* 87:121-126.

YAN, W. L., A. HUNT, Q. SHENG and Z. SZLAVNICS. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.

YANG, R. and R. BAKER. 1991. Genotype – environment interactions in two wheat crosses. *Crop Sci.* 31:83-87.

ZOBEL, R., M. WRIGHT and H. GAUCH. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron J.* 80:388-393.

EVALUACIÓN FÍSICA DE TIERRAS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUÁRICO CON FINES DE PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE AGUA¹

Corina Pineda *, Diego Machado*,
Eduardo Casanova* y Jesús Vilorio*

RESUMEN

La cuenca alta del Río Guárico es de gran importancia en Venezuela ya que produce agua para el consumo humano de la ciudad de Caracas y sus alrededores, así como para las actividades agropecuarias e industriales de los estados Aragua, Carabobo y Guárico. Sin embargo, esta cuenca muestra un deterioro debido a los problemas de erosión y producción de sedimentos, lo cual amenaza la calidad y cantidad de las aguas y en consecuencia la vida útil del embalse de Camatagua. Una de las razones de ese deterioro, es un uso inapropiado de la tierra, por lo que se hace necesario realizar una evaluación de la aptitud de la misma, para usos agrícolas, pecuarios y forestales con el objeto de generar directrices técnicas y socioeconómicas para la planificación y seguimiento del uso con fines de producción sostenible de agua. Siguiendo el esquema de evaluación integral de tierras con fines agrícolas y ambientales de la FAO, se establecieron los detalles metodológicos de la evaluación de tierras para agricultura y potencialidad para uso forestal. Los resultados de este trabajo contribuyen con una metodología para la evaluación agrícola en cuencas hidrográficas en Venezuela, propone tipos de utilización de la tierra cónsonos con los criterios de conservación y producción de agua y sirve de marco para el desarrollo de un plan de manejo integral de la cuenca alta del Río Guárico.

Palabras Clave: Cuenca alta del Río Guárico; tipos de utilización de las tierras; aptitudes de las tierras; conservación; agua.

1 Este trabajo es producto de la investigación realizada por el Núcleo de Investigación y Excelencia Manejo Integral de la cuenca alta del Río Guárico, como parte del Proyecto Iniciativa Científica del Milenio, conducido por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT) de Venezuela, con financiamiento del Banco Mundial y del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la República Bolivariana de Venezuela.

* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: enero 12, 2006.

LAND PHYSICS EVALUATION OF THE HIGH GUARICO RIVER BASIN WITH SUSTAINABLE WATER PRODUCTION PURPOSES

Corina Pineda *, Diego Machado*,
Eduardo Casanova* y Jesús Vilorio*

SUMMARY

Guarico River basin is important in Venezuela as a provider of water for domestic consumption of Caracas and nearby towns as well as for agricultural and industrial activities in Carabobo, Guarico and Aragua States. However, this basin shows high levels of erosion and sediment production which threaten the quality and quantity of water produced and therefore, affect the life span of the Camatagua dam which is the principal water reservoir that supplies the water to satisfy the demand for different uses. Because one of the reasons of basin deterioration is an inappropriate land use in agricultural, livestock and forestry activities it is necessary to ascertain land utilization types in accordance with land aptitude in order to develop technical and socioeconomic guidelines to plan and monitor land use with sustainable water production purposes. The methodology follows the scheme of the integral land evaluation with agricultural and environmental purposes of the Food and Agricultural Organization (FAO) for actual and potential agricultural and forestry uses. The results of this paper contribute with a methodology for agricultural evaluation of Venezuelan basins, propose land type uses in agreement with conservation and water production criteria and may be used as a framework for the development of an integral management plan of the Guarico River basin.

Key Words: Guarico river basin; land utilization types; land aptitude; conservation; water.

1 Este trabajo es producto de la investigación realizada por el Núcleo de Investigación y Excelencia Manejo Integral de la cuenca alta del Río Guárico, como parte del Proyecto Iniciativa Científica del Milenio, conducido por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT) de Venezuela, con financiamiento del Banco Mundial y del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la República Bolivariana de Venezuela.

* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: enero 12, 2006.

INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas actúan como áreas de captación, almacenamiento y descarga de agua, que luego es utilizada para propósitos tales como consumo de agua potable, riego y generación de electricidad, entre otros. Además, cumplen importantes funciones ambientales, como la regulación de la recarga hídrica y la preservación de hábitat y rutas para diversas especies animales y vegetales. Por otra parte, estas áreas generalmente también son asiento de actividades humanas.

Los conflictos entre las actividades humanas y las funciones hidrológicas y ambientales de las cuencas son frecuentes. Los proyectos de manejo de cuencas intentan resolver estos conflictos por medio de acciones y regulaciones que conduzcan a un equilibrio entre actividades productivas y de conservación. Para lograr este propósito se requiere información generada por una caracterización físico-natural y socioeconómica de la cuenca.

La caracterización físico-natural frecuentemente incluye una clasificación de tierras por su capacidad de uso (Klingebiel y Montgomery, 1962). Esta clasificación permite conocer los grados y tipos de limitación de las tierras para uso agrícola. También permite identificar tipos generales de uso (cultivos, pastos, bosques, recreación, vida silvestre) que pueden ser practicados en forma sostenible. Sin embargo, no permite identificar tipos específicos de uso de la tierra que puedan conciliar las necesidades productivas de los pobladores de las cuencas, con la producción sostenible de agua.

El enfoque FAO para evaluación de tierras (FAO, 1985) permite realizar una evaluación más específica porque agrupa las tierras de acuerdo a su aptitud para sostener determinados tipos de utilización de la tierra (TUT). Cada TUT implica una combinación particular de productos, tecnología y condiciones socioeconómicas. Así mismo, tiene sus propios requerimientos agroecológicos, de acuerdo a las especies vegetales que le son características, así como requerimientos particulares de manejo y de conservación de suelos.

Este trabajo contribuye con una metodología para la evaluación agrícola en cuencas hidrográficas basados en el enfoque FAO para evaluación de tierras, el mismo es aplicado a la Cuenca Alta del Río Guárico ubicada en el centro-norte de Venezuela, en jurisdicción de los estados Aragua,

Miranda, Guárico y Carabobo, la cual comprende una superficie de 2 119,4 km².

Ésta cuenca es estratégica para el desarrollo del país porque, a través del embalse de Camatagua, satisface más del 60% de la demanda de agua para consumo humano de Caracas y sus alrededores así como de los centros poblados del sur de Aragua y Miranda. Por otra parte, sirve de residencia a más de 230,000 habitantes, según cifras del censo nacional del año 2000 (INE, 2001). Además, es asiento de una actividad agrícola y pecuaria en franco crecimiento, así como de actividades turísticas y de explotación minera.

A pesar de su importancia estratégica, gran parte de la cuenca está sometida a intensos procesos de erosión y degradación del suelo como consecuencia de elevadas pendientes y disminución de la cobertura vegetal y menos de 20% de su superficie se encuentra protegida por figuras legales tales como las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE, Jacome *et al.*, 2001).

Este trabajo ha sido precedido por una evaluación ambiental (Machado *et al.*, 2004) que permitió delimitar las áreas de esta cuenca con prioridad de preservación y rehabilitación y las áreas con posibilidades de uso. El presente estudio plantea un esquema de evaluación de la aptitud de la tierra para usos agrícolas, pecuarios y forestales, aplicado a las áreas que la evaluación ambiental determinó como zonas con posibilidades de uso. El propósito final de este estudio es contribuir a identificar tipos de utilización de la tierra que permitan mejorar el nivel de vida de los habitantes de la cuenca y garantizar la producción sostenible de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se adaptó el esquema de evaluación integral de tierras con fines agrícolas y ambientales (Comerma y Machado, 2001; Machado y Comerma, 2002), aplicado en la cuenca del Caroní (EDELCA, 2003), el cual se fundamenta en las directrices de la FAO (1985) para la evaluación de tierras.

Esquema de evaluación de tierras propuesto

Dada la complejidad del problema de la cuenca alta del Río Guárico; se hace imprescindible centrar la atención en la evaluación de la producción

sostenible de agua, por lo cual se consideró necesaria la realización de una evaluación ambiental con la finalidad de definir y ubicar las áreas con prioridad de preservación y rehabilitación (Figura 1; Pineda *et al.*, 2004). La evaluación de tierras, para la Cuenca Alta del Río Guárico, toma en consideración aspectos de carácter ambiental, para posteriormente seguir la metodología de evaluación de tierras agrícolas con base en las directrices de la FAO.



FIGURA 1. Esquema de Evaluación de Tierras usado en este trabajo. (Adaptado de Comerma y Machado, 2001).

Determinación de las Unidades de Tierra

Se utilizaron las unidades pedogeomorfológicas que resultaron de la clasificación de paisajes de la cuenca alta del Río Guárico (Ospina y Elizalde, 2004b) como marco cartográfico para delimitar las unidades de tierra. Sin embargo, como el concepto de unidad de tierra es más amplio que el de unidad de paisaje (Figura 2), en la caracterización de cada unidad fue necesario incorporar atributos relacionados con los componentes del ecosistema natural (atmósfera, hidrología, poblaciones de plantas y animales y los resultados de la actividad humana pasada y presente). En particular, se seleccionaron aquellos atributos que podían ejercer una influencia significativa sobre los usos presentes y futuros de la tierra por el hombre (McRae y Burnham, 1981).

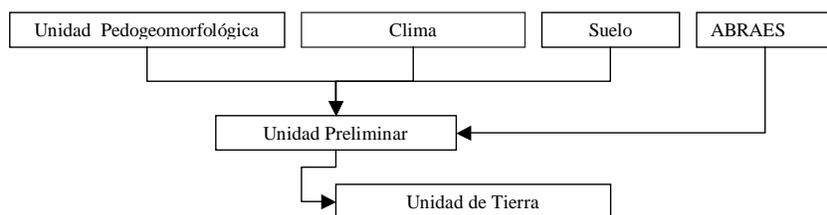


FIGURA 2. Esquema conceptual para la determinación de unidades de tierra, en la cuenca alta del Río Guárico.

Unidades Pedogeomorfológicas

En la cuenca alta del Río Guárico se definieron un total de 88 unidades pedogeomorfológicas. Las mismas fueron definidas basados en el sistema de clasificación de paisajes propuesto por Elizalde (1983). Este sistema, se basa en una interpretación de las relaciones suelo-paisaje, para subdividir jerárquicamente todo el paisaje en hasta ocho niveles categóricos. En este caso en particular se determinaron las unidades pedogeomorfológicas hasta el nivel categórico seis (Ospina y Elizalde, 2004 a, b).

Clima

A cada unidad de tierra se le asignó una estación climatológica representativa para caracterizar sus valores de precipitación y evapotranspiración. Para tal fin, se tomaron como referencia los modelos digitales de precipitación (Viloria *et al.*, 2005) y evapotranspiración de toda la cuenca y las áreas de influencia de las estaciones estimadas por polígonos de Thiessen, debido a que en el área de estudio se encuentran baja densidad de estaciones climáticas y pobre calidad de datos. Los valores de temperaturas medias y máximas fueron asignados a partir del gradiente altotérmico definido para el área de estudio (Pineda *et al.*, 2004).

Suelos

En toda la cuenca alta del Río Guárico se describieron un total de 74 perfiles, a las cuales se les realizó georeferenciación y una descripción completa, la cual incluye caracterización de la vegetación, uso actual de la tierra, suelos (análisis morfológicos, químicos y físicos), material

parental, así como ambiente geomorfológico. Adicionalmente, se incluyeron 12 perfiles de suelo de piedemonte ubicados en las unidades Norte Las Brisas y Sur Tinaco-Tucutunemo en la depresión del Lago de Valencia. Debido a que no se poseía información de suelos, a partir de estos datos se generaron modelos en forma de árboles de decisión, que permiten predecir los valores de características del suelo relevantes para la evaluación de tierras, a partir de atributos del paisaje (Morales y Viloria, 2004).

Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE)

En la cuenca alta del Río Guárico se localizan tres ABRAES, que afectan específicamente a la Subcuenca de San Juan y a las Subcuencas relacionadas con el Embalse de Camatagua. Estas son: Pico Platillón o Monumento Natural Juan Germán Roscio, Los Morros de San Juan o Monumento Natural Arístides Rojas y Área Protectora del Embalse de Camatagua. Estas afectan la delineación de 29 unidades pedogeomorfológicas.

Selección de los Tipos de Utilización de la Tierra Actuales y Potenciales

Se aplicaron encuestas a unidades de producción seleccionadas por medio de un muestreo probabilístico con marco de lista, estratificado y sistemático en las áreas críticas (FAO, 1990). Se usó la superficie total como variable privilegiada, por considerar que, aunque ésta está sujeta a cambios, es menos probable que esos cambios alteren de manera significativa los resultados del análisis. A partir de los datos obtenidos se describieron los TUT actuales (Pineda *et al.*, 2004). De estos TUT se seleccionaron los más representativos (ocupaban mayor superficie y presentaban características contrastantes) y se generalizaron para toda el área de estudio.

Los TUT actuales seleccionados fueron: a) Ganadería extensiva de doble propósito basados en el pasto Yaraguá, *Hyparrhenia rufa*, y suplementos minerales; b) Agricultura de subsistencia; c) Cereales mecanizados para producción de semilla; d) Frutales bajo riego y e) Hortalizas bajo riego. Por otra parte, a través de una consulta a expertos, se seleccionaron los siguientes TUT potenciales: a) Agroforestería (combinación de agricultura de subsistencia, ganadería, arbustos y árboles); b) Café bajo sombra, semicomercial, con insumos moderados (este TUT existe actualmente en la cuenca, pero ocupa una extensión muy pequeña);

c) Plantaciones forestales de pino, *Pinus caribaea* y d) Plantaciones forestales de teca, *Teutona grandis*. Cada uno de los TUT señalados es descrito en forma detallada por Pineda *et al.* (2004).

Selección de Cualidades y Requerimientos

Los requerimientos de uso están directamente relacionados con las cualidades de las unidades de tierra, al condicionar estas, la aptitud de la tierra para un tipo de uso determinado (Porta *et al.*, 1999). Por consiguiente, existe una correspondencia 1:1 entre estas cualidades y los requerimientos de uso de la tierra. La selección de cualidades se realizó para cada TUT, tomando en cuenta los criterios de la FAO, (1985). A continuación, se describen esas cualidades (Cuadro 1). Adicionalmente, se incluyeron como cualidades relevantes producción de agua y la calidad del agua.

Definición de las Clases de Aptitud de la Tierra Para Cada Calidad

Basados en el esquema de Evaluación de Tierras, se definieron cuatro aptitudes de la tierra (Cuadro 2) , en función de las limitaciones que podría tener una unidad de tierra (UT) para sostener un TUT, tomando en cuenta: la productividad o beneficios y los insumos requeridos para la producción.

Valoración de Cualidades y Requisitos Agroecológicos

Régimen de Temperatura (RT)

Para la evaluación del RT se consideró intervalos de los valores de temperatura media anual en función de la escala del estudio. Los intervalos establecidos para la evaluación de la aptitud de la tierra se presentan en el Cuadro 3.

Disponibilidad de Humedad (DH)

La evaluación de ésta cualidad para los TUT de secano, se hizo a través de un balance hídrico diario, el cual estima el rendimiento relativo (porcentaje del rendimiento óptimo) de cada TUT evaluado, en función del déficit hídrico (Cuadro 4, Doorembos y Kassam, 1979).

Para los TUT bajo de riego, se calculó la relación entre la lámina requerida de riego no satisfecha(déficit) y la lámina potencial anual requerida (demanda), determinada a partir del balance hídrico diario (Cuadro 5).

CUADRO 1. Cualidades de la tierra relevantes para cada tipo de utilización de la tierra.

TUT	Cualidades-Requerimientos																
	Agroecológicas										Manejo				Conservación		
	RT	DH	DO	DN	RN	CE	CM	Rin	Ric	Rd	CL	Tr	U	RE	Rg	Pa	Ca
Agricultura de Subsistencia	2	1	1	2	nr	2	nr	2	2	2	nr	2	nr	1	1	1	1
Cereales mecanizados	2	1	1	nr	2	2	2	nr	nr	nr	1	1	1	1	1	1	1
Hortalizas bajo riego	2	1	1	nr	2	2	nr	2	nr	nr	2	1	2	1	1	1	1
Frutales bajo riego	2	1	1	nr	2	1	nr	2	nr	nr	2	1	2	1	1	1	1
Ganadería extensiva	nr	1	1	2	nr	nr	nr	2	1	2	nr	1	nr	1	1	1	1
Café bajo sombra	1	1	1	2	nr	1	nr	2	nr	1	nr	2	1	1	1	1	1
Plantaciones Forestales	2	1	1	2	nr	1	nr	2	1	1	nr	2	2	1	1	1	1

1: Muy importante; 2: Moderadamente importante; nr: No relevante
 Régimen de Temperatura (RT), Disponibilidad de Humedad (DH), Disponibilidad de Oxígeno (DO), Retención de Nutrientos (RN), Disponibilidad de Nutrientos (DN), Condiciones de Enraizamiento (CE), Condiciones para la Maduración (CM), Riesgo de Inundación (Rin), Riesgo de Incendio (Ric), Riesgo de Derrumbe (Rd), Capacidad de Laboreo (CL), Traficabilidad (Tr), Ubicación (U), Riesgo de Erosión (RE), Riesgo de Degradación (Rg), Producción de Agua (Pa) y Calidad del Agua (Ca).
 nr: cualidad no relevante para el TUT.

CUADRO 2. Clases de aptitud de la tierra para cada cualidad.

Clase Símbolo	Descripción	Definiciones
a1	Muy Apta	La unidad de tierra no tiene limitaciones significativas para sostener la aplicación de un tipo de utilización de la tierra o sólo pequeñas limitaciones que no reducirán significativamente la productividad o los beneficios esperados y no elevarán el uso de insumos por encima de un nivel aceptable.
a2	Moderadamente	La unidad de tierra tiene limitaciones que son moderadamente severas para la aplicación de un tipo de utilización de la tierra; las limitaciones reducirán la productividad o los beneficios y aumentarán los insumos requeridos hasta un punto en que la ventaja que se gana de su uso sería apreciablemente inferior a la que se esperaría en la clase a1.
a3	Marginalmente Apta	La unidad de tierra tiene limitaciones que son severas para la aplicación de un tipo de utilización de la tierra y reducirá la productividad o beneficios o aumentará los requerimientos de insumos.
n1	No Apta	La unidad de tierra tiene limitaciones que son tan severas que elimina cualquier posibilidad de una exitosa aplicación de un tipo de utilización de la tierra.

Disponibilidad de Nutrientos (DN)

Esta cualidad se evaluó con base en la interacción entre la reacción (pH), el contenido de materia orgánica y la textura del suelo, para lo cual se desarrolló el modelo presentado en el Cuadro 6, el cual se basó en la disponibilidad de información.

Al aplicar éste u otros de los modelos desarrollados, para cada una de las cualidades, a las unidades de tierra, se obtendría la evaluación de la aptitud para cada uno de los TUT agrícolas, donde dicha cualidad fue considerada relevante (Cuadro 7). Sin embargo, por razones de espacio, sólo se presenta la evaluación de la aptitud o aplicación del modelo en la cualidad "Disponibilidad de nutrientes", a manera de ejemplo.

CUADRO 3. Evaluación de aptitud de los rangos de temperatura media anual para los tipo de utilización de tierra (TUT) propuestos.

TUT Agrícolas	Temperatura Media Anual (°C)			
	a1	a2	a3	n
Agricultura de Subsistencia	>22 - ≤28	>20 - ≤22 >28 - ≤30	<20 - >32	
Cereales mecanizados	>22 - ≤26	>20 - ≤22 >26 - ≤ 32	<20 - >32	
Hortalizas bajo riego	>21 - ≤24	>20 - <21 >24 - <26	>18 - <20 >26 - <30	<18, >30
Frutales bajo riego	>24 - ≤28	>20 - <24 >28 - <30	>18 - ≤20	<18
Ganadería extensiva	>25	>20 - <25	<20	
Café bajo sombra	18-22	22-24, 16-18	14-16, 24-26	>26, <14
Agroforestería	>25	>20 <25	< 20	
Pino	>24	>20 <24	<20-	-
Teca	>25	<25 - >18	<18	-

CUADRO 4. Estimación de rendimientos relativos en función de los coeficientes de rendimiento relativo (Ky) del TUT.

Rendimientos Relativos	Símbolo	Descripción
Más de 80%	a1	Muy apto
De 60% a 80%	a2	Moderadamente apto
De 20% a 60%	a3	Marginalmente apto
Menos de 20%	n	No apto

CUADRO 5. Estimación de rendimientos relativos en función de la relación entre el déficit y la lámina neta anual requerida.

Déficit(mm)/Demanda(mm)	Símbolo	Descripción
Menos de 0,2	a1	Muy apto
De 0,2 a 0,6	a2	Moderadamente apto
De 0,6 a 0,8	a3	Marginalmente apto
Más de 0,8	n	No apto

CUADRO 6. Criterios para Valoración de la disponibilidad de nutrimentos en función del pH y la textura del suelo.

Clase Textural	Materia Orgánica								
	Muy alta			Alta			Moderada		
	pH	<5	5-6,5	>6,5	<5	5-6,5	>6,5	<5	5-6,5	>6,5
Arcillosa	2	1	1	2	1	1	3	2	2
Franco arcillo limosa	2	1	1	2	1	1	3	2	2
Franco arcillosa	3	1	1	3	2	1	3	3	2
Franco limosa	3	1	1	3	2	1	3	3	2
Franca	3	2	1	3	2	2	4	3	3

CUADRO 7. Evaluación de la aptitud por disponibilidad de nutrimentos.

TUT Agrícolas	Aptitud por Disponibilidad de Nutrimentos			
	a1	a2	a3	n
Agricultura de Subsistencia	1	2-3	4	-
<i>Hiparrenea rufa</i> , ganadería Extensiva	1-2	3	4	-
Café bajo sombra de moderados insumos	1	2	3-4	-
Agroforestería (pecuaria <i>Brachiaria</i> +gliciride)	1	2	3-4	-
Plantaciones Forestales Pinos	1-2	3	4	-
Plantaciones Forestales Teca	1	2	3-4	-

Condiciones para la Maduración (CM)

Esta cualidad fue evaluada en función del déficit o exceso de humedad al momento de la maduración. En los TUT anuales en secuencia, esta cualidad adquiere mayor importancia, fundamentalmente en el primer ciclo del cultivo que coincide con el período de mayor humedad, ya que en el segundo el período es más seco y el cultivo presenta riego complementario (Cuadro 8).

CUADRO 8. Criterios para valoración de las condiciones de maduración en función exceso o déficit de humedad.

TUT Agrícolas	Condiciones de Humedad en el Suelo			
	a1	a2	a3	n
Cereales mecanizados	déficit	Equilibrio	Exceso	-
Hortalizas bajo riego	déficit	Equilibrio	Exceso	-
Frutales bajo riego	déficit	Exceso	-	-

Exceso (agua útil (AU) mayor a capacidad de campo (CC);
Equilibrio (AU mayor a punto de marchites permanente (PMP), pero menor a CC);
Déficit (AU menor a PMP).

Condiciones para el Enraizamiento (CE)

La evaluación se realizó en función de la profundidad efectiva y el grupo textural (Cuadro 9).

Riesgo de Inundación

Ésta fue evaluada a través del movimiento de las aguas debido al régimen torrencial de las precipitaciones y las pendientes pronunciadas. Para esto se usaron los intervalos de pendiente y la densidad de la red de drenaje (Cuadro 10). Los intervalos de pendiente corresponden a los rango preestablecidos por Ospina y Elizalde (2004b), para caracterizar a las unidades Litogeomorfológicas y la densidad de la red de drenaje se estimó en función de la longitud de los cauces por superficie de cada unidad de tierra.

CUADRO 9. Evaluación de la aptitud condiciones para las condiciones para el enraizamiento.

Clase Textural	Profundidad efectiva		
	< 50 cm	50-100 cm	>100 cm
Arcillosa	4	3	1
Franco arcillo limosa	4	3	1
Franco arcillosa	3	2	1
Franco limosa	3	2	1
Franca	3	2	1

Nota: Los afloramientos rocosos son considerados como no aptos

CUADRO 10. Criterios para la valoración del riesgo de inundación.

Pendiente Media (%)	Densidad de drenaje		
	alta	media	baja
≤ 8	4	3	2
> 8 ≤ 16	3	2	1
> 16	1	1	1

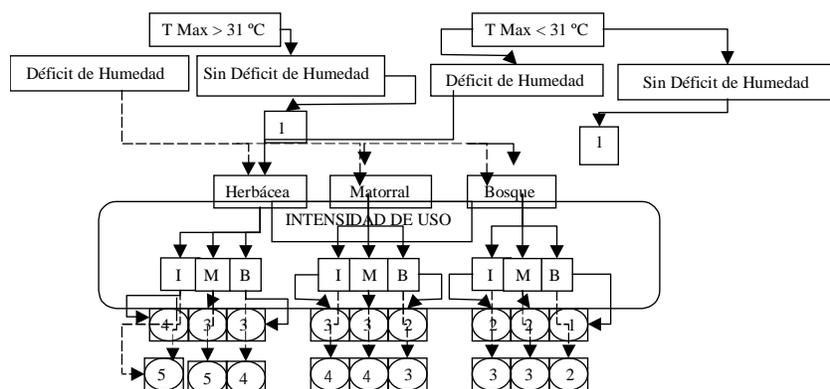
Fuente: Basado en los rangos de pendiente preestablecidos por Ospina y Elizalde (2004b).

Riesgo de Incendio (Ric)

Las aptitudes para Ric fue estimada en función de la susceptibilidad al Ric y las fuentes de incendios, asociada a la intensidad de uso de las tierras, las condiciones inherentes al TUT, la distancia a centros poblados y la vialidad (Figura 3).

Riesgo de Derrumbe o Desprendimiento (Rd)

El parámetro usado para su evaluación fue el RE (Cuadro 11), estimado a través del modelo pedogeomorfológico, en función del potencial de escurrimiento, el grado de intervención, la accesibilidad, la erosividad de la lluvia y la delezabilidad (Ospina y Elizalde, 2004a).



Riesgo = (1): Muy bajo; (2): Bajo; (3): Moderado; (4): Alto; (5) Muy alto
 Intensidad de uso = I (Alta); M (Moderada); B (Baja)

FIGURA 3. Criterios para la valoración del riesgo de incendio. (Elaboración propia).

CUADRO 11. Evaluación de la aptitud por riesgos de erosión.

Cualidad	Clase			
	Bajo (%)	Medio (%)	Alto (%)	Muy alto (%)
Potencial de escurrimiento	13,2	56,6	30,2	–
Grado de intervención	10,6	76,4	13,0	–
Accesibilidad	61,7	28,2	10,1	–
Erosividad de la lluvia	0,0	12,1	87,9	–
Deleznableidad	26,5	7,0	66,5	–
Riesgo de erosión	5,3	28,0	25,5	41,2

Fuente: Ospina *et al.* (2004).

Traficabilidad

Esta cualidad expresa el grado de facilidad o dificultad del tránsito mecánico, animal o humano de acuerdo a los requerimientos del TUT. Se evaluó en función de las clases de pendiente, tal como se expresa en el Cuadro 12, las cuales se establecieron basados en un histograma y a valores críticos para la ocurrencia de escurrimiento.

CUADRO 12. Criterios para la valoración de la traficabilidad.

Clase	Limitación por pendiente	Pendiente promedio de las UT
1	Ninguna	< 4%
2	Ligera	4- 8%
3	Moderada	8 a 16%
4	Fuerte	16 a 35%, (pendiente máxima < a 100)
5	Muy fuertes	16 a 35%, (pendiente máxima > a 100)
6	Severa	35 a 40%
7	Muy Severa	> a 40%

Fuente: Ospina *et al.* (2004).

Ubicación (U)

Se evaluó en función de la accesibilidad existente, tomando como referencia el índice de accesibilidad de cada unidad de tierra determinado a través de la longitud de la vialidad y la superficie de la unidad de tierra. El mismo fue calificado en tres clases: baja (3), moderada (2) y alta (1).

Riesgo de Erosión Hídrica (RE)

La evaluación del riesgo de erosión toma en cuenta la susceptibilidad de la tierra a la erosión. Para ello se evaluó el riesgo de erosión laminar a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

El Cuadro 13 presenta los criterios aplicados para clasificar el riesgo de erosión de acuerdo a los valores de estimados de pérdida de suelo.

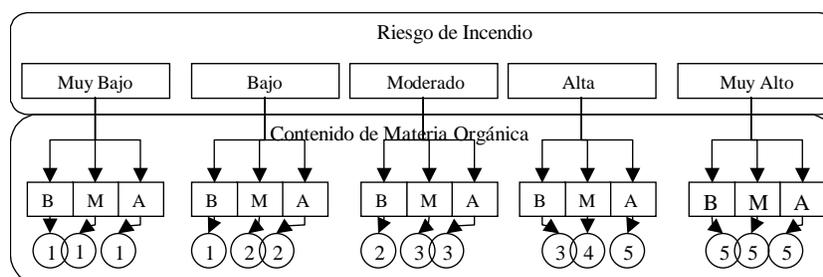
CUADRO 13. Criterios para la valoración de los riesgos de erosión.

Clase	Riesgos de Erosión	Riesgo de Erosión Actual (USLE)mg ha ⁻¹ año ⁻¹
1	Baja	0 a 12
2	Moderada	12 a 24
3	Alta	24 a 50
4	Muy Alta	> 50

Fuente: FAO (1985).

Riesgo de Degradación (Rg)

Esta cualidad fue evaluada basado en dos criterios: a) el riesgo de degradación biológica y b) el riesgo degradación física, estimado a partir de la formación de terracetos. Para evaluar la degradación biológica se tomó en cuenta el contenido de materia orgánica y el Ric (Figura 4).



Contenido de Materia Orgánica = B(bajo), M(Moderado, A(alto)
 Riesgo = (1): Muy bajo; (2): Bajo; (3): Moderado; (4): Alto; (5) Muy alto

FIGURA 4. Criterios para la valoración del riesgo de degradación biológica.

El riesgo de formación de terracetas se evaluó en función de las clases de pendiente y el uso actual de la tierra, dado que las terracetas (pisadas de vaca) se forman a muy cortas distancias, en forma de ondulaciones, y se ven favorecidas por las altas pendientes (50%), la presencia de vegetación herbácea, la presencia de suelos pocos desarrollados, y el sobrepastoreo (Cuadro 14). Por esta razón, se evalúa sólo en el TUT ganadería extensiva.

CUADRO 14. Evaluación de la aptitud por riesgo de degradación física.

Clase	Pendiente promedio de UT	Uso Actual (Pecuario)	Aptitud
1	< 4%	Apta	a1
2	4-8%	Moderadamente aptas	a2
3	8 a 16%	Moderadamente aptas	a2
4	16 a 35%, (pendiente máxima < a 100)	Marginalmente aptas	a3
5	16 a 35%, (pendiente máxima >a 100)	No aptas	n
6	35 a 40%	No aptas	n
7	> 40%	No aptas	n

Fuente: Ospina *et al.* (2004).

Producción de Agua (Pa)

Esta cualidad fue evaluada por medio de un balance hídrico diario. Se considera que la cantidad de agua producida por cada UT, con cada TUT, corresponde al excedente que queda después de satisfacer las necesidades de agua de las plantas. Este excedente que se pierde en forma de escorrentía o percolación profunda, se considera como el aporte de la UT al embalse (FAO, 1990).

Así, la producción de agua en cada UT fue calculada como la sumatoria de las láminas anuales de escurrimiento y percolación para los TUT permanentes y como la sumatoria de dichas láminas, durante el ciclo vegetativo, para el caso de los TUT de ciclo corto. Una vez calculada la cantidad total de agua producida, se aplicaron los criterios mostrados en el Cuadro 15, para evaluar esta cualidad.

CUADRO 15. Estimación de la producción de agua en función de la demanda y oferta de agua.

Producción de Agua	Símbolo	Descripción
> 600 mm	a1	Muy apto
400 mm -600 mm	a2	Moderadamente apto
200 mm- 400 mm	a3	Marginalmente apto
< 200 mm	n	No apto

Fuente: Pineda *et al.* (2004)

Calidad de Agua (Ca)

Esta cualidad se evaluó en función de los indicadores de Ca para consumo humano. Para ello se tomó en cuenta el índice de contaminación desarrollado por Ospina y Elizalde (2004a), como calidad inicial del agua en cada UT. Posteriormente, esta calidad inicial se ve afectada por el aporte de contaminantes (químicos y biológicos) como consecuencia del manejo tecnológico de cada TUT. Por esto, los TUT más intensivos son calificados con valores más altos de riesgo de contaminación (Cuadro 16).

CUADRO 16. Riesgo de Contaminación en función de los TUT.

TUT Agrícolas	Riesgo de contaminación			
	1	2	3	4
Cereales mecanizados, Hortalizas bajo riego	a2	a3	a3	n
Ganadería extensiva, Frutales bajo riego, Agroforestería	a1	a2	a3	a3
Agricultura de Subsistencia, Café bajo sombra, Pino., Teca	a1	a1	a2	a3

Reglas para la Armonización

Factor Agroecológico

Se considera que la calidad agroecológica más importante es la disponibilidad de humedad, tanto para los TUT de secano, como de riego. Le siguen en orden de importancia el régimen de temperatura y las condiciones de enraizamiento. El resto de las cualidades agroecológicas se consideran de importancia moderada, porque sus limitaciones pueden ser solventadas por medio de prácticas de manejo (Cuadro 17).

Factor Conservación y Factor Manejo

Para la evaluación de las cualidades relacionadas con los requerimientos de conservación y manejo, se aplicó la ley del mínimo. Es decir, se consideró como determinante la cualidad más limitante.

CUADRO 17. Evaluación de las aptitudes por cualidad.

DH	RT,CE	DN,CM, Rinc, Rinu, R Dder	Asignación
a3	.....	.....	A3
a2	a3 y a3	.....	A3
a2	a2 y a3, a3 y a2, a2 y a2, a1 y a3, a3 y a1	≥ 2 a3,	A3
a2	a2 y a3, a3 y a2, a2 y a2, a1 y a3, a3 y a1	< 2 a3	A2
a2	a1 y a1, a1 y a2, a2 y a1	≥ 3 a3, y a2 a1	A3
a2	a1 y a1, a1 y a2, a2 y a1	< 3	A2
a1	a3 y a3, a2 y a3, a3 y a2, a2 y a2, a1 y a3, a3 y a1	≥ 3 a3,	A3
a1	a3 y a3, a2 y a3, a3 y a2, a2 y a2, a1 y a3, a3 y a1	< 3	A2
a1	a2 y a1, a1 y a1	≥ 3 a3,	A2
a1	a2 y a1, a1 y a1	< 3	A1

Si alguna de las cualidades es valorada como no apta (N), el factor agroecológico será calificado como "N".

Armonización de Factores

Para la obtención de la aptitud física global de las tierras, se requiere armonizar las aptitudes de los factores parciales. Para la misma se tomaron en cuenta los criterios indicados en el Cuadro 18. El factor conservación

es determinante para la evaluación final de las unidades de tierras, por lo cual debe tener mayor peso, le sigue en orden de importancia la aptitud agroecológica y por último la aptitud de manejo. Por lo tanto, para el establecimiento de las reglas se le asignó un peso cada cualidad, de acuerdo a estas consideraciones, tal como se describe en Casanova y Vilorio (2004).

CUADRO 18. Evaluación de las aptitudes factores conservación, agro- ecológicos y manejo.

Conservación	Agroecológicos	Manejo	Asignación
A3	.....	.....	A3
.....	A3	.....	A3
A2	A1-A2	.....	A2
A1	A2	.....	A2
A1	A1	A3	A2
A1	A1	A1- A2	A1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de tierras con fines agrícolas se realizó sólo en las áreas con posibilidades de uso (30 000 ha, aproximadamente) identificadas por la evaluación ambiental precedente (Pineda *et al.*, 2004). Vale la pena destacar que dos terceras partes de esta superficie (19 938 ha) muestran evidencias de erosión actual moderada a fuerte, y por esta razón requieren la aplicación de medidas de rehabilitación.

Por otra parte, las delimitadas por la evaluación ambiental como áreas con prioridad de preservación y rehabilitación (176 441 ha), han sido analizadas *a priori* como no aptas para los tipos de utilización considerados en este estudio. En efecto, estas áreas deben ser descartadas de cualquier proyecto de desarrollo agrícola, debido a su fragilidad ambiental o su importancia para la captación de agua en la cuenca.

La evaluación agrícola de las tierras se limitó a predecir la aptitud física de éstas para el desarrollo de los TUT seleccionados, sin tomar en cuenta su rentabilidad económica. Aún así, permitió integrar la información

generada por diversos investigadores en proyectos que se ejecutaron en forma paralela con el fin de caracterizar la geomorfología, los suelos, el clima y las condiciones socioeconómicas de la cuenca. Es importante tomar en cuenta que el área de estudio forma parte del 10% del territorio de Venezuela no cubierto por mapas de suelo a escala 1: 250 000.

En este estudio se han incluido cualidades de la tierra relacionadas con la producción y calidad del agua lo cual constituye una innovación con respecto al procedimiento convencional de evaluación de tierras agrícolas. Como justificación de esta innovación se debe enfatizar que, por tratarse de una cuenca hidrográfica, los tipos de utilización de la tierra serán aptos sólo en la medida que permitan conciliar la producción de alimentos o fibras con la producción sostenible de agua.

Si bien la evaluación agrícola de la tierra se circunscribió a las áreas con posibilidades de uso, no se identificaron áreas muy aptas para los TUT actuales. Así mismo, la superficie de tierras marginalmente aptas o no aptas para estos TUT fue superior a la superficie de tierras moderadamente aptas. Esto pone de manifiesto la necesidad de introducir cambios en el uso actual de la tierra en esta cuenca, a fin de garantizar la producción sostenible de agua en la misma.

Así, según el sistema de información ambiental de la cuenca alta del río Guárico (SIACARG, 2001) casi el 70% de la superficie de la cuenca está dedicado a ganadería extensiva. Sin embargo, de acuerdo a este estudio, las tierras moderadamente aptas para ganadería extensiva abarcan sólo el 2% de la cuenca y se localizan principalmente en el valle de Tucutunemo (Figura 5), donde este TUT difícilmente puede competir con otros usos agrícolas más rentables. Las tierras marginalmente aptas para este TUT (4% del área) son limitadas principalmente por las cualidades riesgo de erosión, riesgo de degradación y calidad del agua. El resto de las tierras de la cuenca son no aptas para ganadería extensiva debido a su alto riesgo de erosión o de degradación física por la formación de terracetas.

Por otra parte, el TUT agricultura de subsistencia fue considerado moderadamente apto en las áreas de valle (16 000 ha). Las áreas calificadas como marginalmente aptas (5% del área) y no aptas (87%), presentan limitaciones por disponibilidad de humedad, riesgo de inundación o riesgo de erosión.

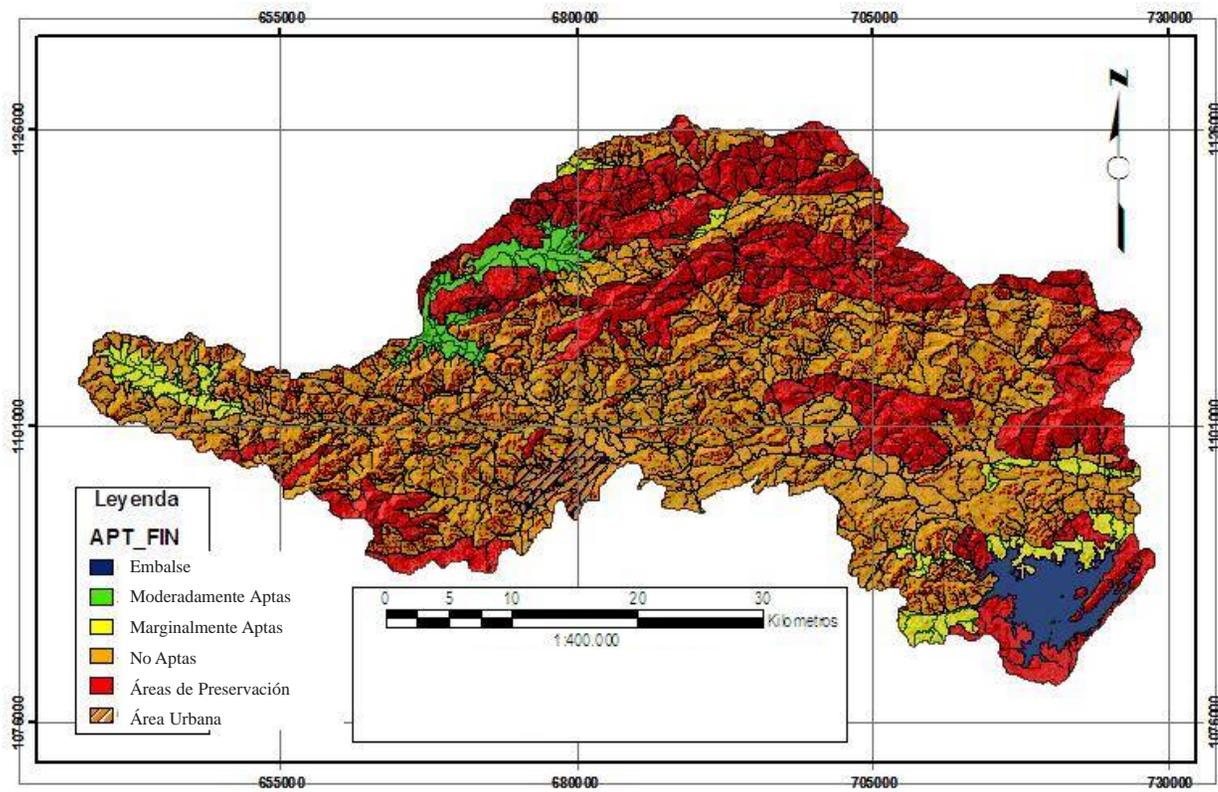


FIGURA 5. Aptitud de las Tierras para el TUT ganadería extensiva.

Las tierras moderadamente aptas para los otros TUT actuales incluyen alrededor de 8 205 ha (4%) para cereales mecanizados, un poco más de 1 400 ha (0,7%) para hortalizas bajo riego y de 9 000 ha (4%) para frutales bajo riego. Estas tierras se localizan principalmente en los valles, incluyendo el valle de Tucutunemo y presentan limitaciones tales como disponibilidad de humedad, riesgo de inundaciones y riesgo de incendio, dada su cercanía a las áreas urbanas. Las áreas calificadas como marginalmente aptas para estos TUT (Cuadro 19) están limitadas por las cualidades producción de agua y calidad de agua y, en algunos casos, por cualidades relacionadas con el manejo; mientras que las áreas calificadas como no aptas tienen riesgos severos de erosión.

Al comparar los TUT potenciales con los TUT actuales se observa un incremento de la superficie de tierras moderadamente aptas. Estas tierras se encuentran limitadas principalmente por la disponibilidad de humedad, las condiciones de enraizamiento, los riesgos de derrumbe o la disponibilidad de nutrientes. Por su parte, las tierras marginalmente aptas para los TUT potenciales, se encuentran limitadas, además, por la calidad producción de agua, las cualidades relacionadas con el manejo, y en el caso del café, además de las anteriores, por condiciones de enraizamiento, temperatura, disponibilidad de agua y riesgo de derrumbe.

La Agroforestería (Cuadro 19) fue recomendada en talleres de expertos como un TUT potencial como posible sustituto de la ganadería extensiva. Las tierras calificadas como moderadamente aptas para este TUT abarcan un 18% del área de estudio. Las tierras marginalmente aptas (37% del área) son afectadas por la calidad producción de agua y, en algunos casos, por cualidades relacionadas con el manejo (Figura 6).

El café bajo sombra (Cuadro 19), a pesar de ser un TUT actual, fue recomendado como TUT potencial por sus atributos conservacionistas. Las áreas calificadas como no aptas (18% de la cuenca) se deben principalmente a la calidad producción de agua y, en segunda instancia, a las condiciones de enraizamiento o de manejo (pendiente). Las tierras calificadas como marginalmente aptas (38%) se deben a las condiciones de temperatura, disponibilidad de humedad, condiciones de enraizamiento y riesgo de derrumbe y, en menor grado, a la calidad producción de agua. Las unidades consideradas como moderadamente aptas (9%), tienen limitaciones similares a las anteriores, pero en menor grado. En función de estos resultados, este TUT puede ser una alternativa para las zonas más altas de la cuenca.

CUADRO 19. Aptitud de las tierras de la cuenca alta del Río Guárico para los tipos de utilización de la tierra seleccionados

TUT	Moderadamente		Apto		Marginalmente Apto		No Apto		Áreas de Preservación	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Agricultura de subsistencia	16 007,47	7,55	11 451,11	5,40	113 901,66	53,72	64 515,12	30,43		
Cereales mecanizados	8 205,28	3,87	6 211,52	2,93	11 904,64	5,62	176 441,38	83,22		
Hortalizas bajo riego	1 446,92	0,68	13 274,60	6,26	11 599,92	5,47	176 441,38	83,22		
Frutales bajo riego	9 039,16	4,26	16 473,68	7,77	808,60	0,38	176 441,38	83,22		
Ganadería extensiva	4 936,90	2,33	9 343,98	4,41	123 966,83	58,47	64 515,12	30,43		
Agroforestería	37 561,49	17,72	77 875,72	36,73	22 810,49	10,76	64 515,12	30,43		
Café bajo sombra	19 864,97	9,37	80 624,23	38,03	37 758,50	17,81	64 515,12	30,43		
Pino	32 664,12	15,41	72 941,85	34,41	32 641,74	15,40	64 515,12	30,43		
Teca	26 603,03	12,55	79 002,93	37,26	32 641,74	15,40	64 515,12	30,43		

Nota: La superficie del embalse de Camatagua es de 6 133,80 ha. El área evaluada para el TUT agricultura de subsistencia incluye 3 112,54 ha (% mapeadas como área urbana).

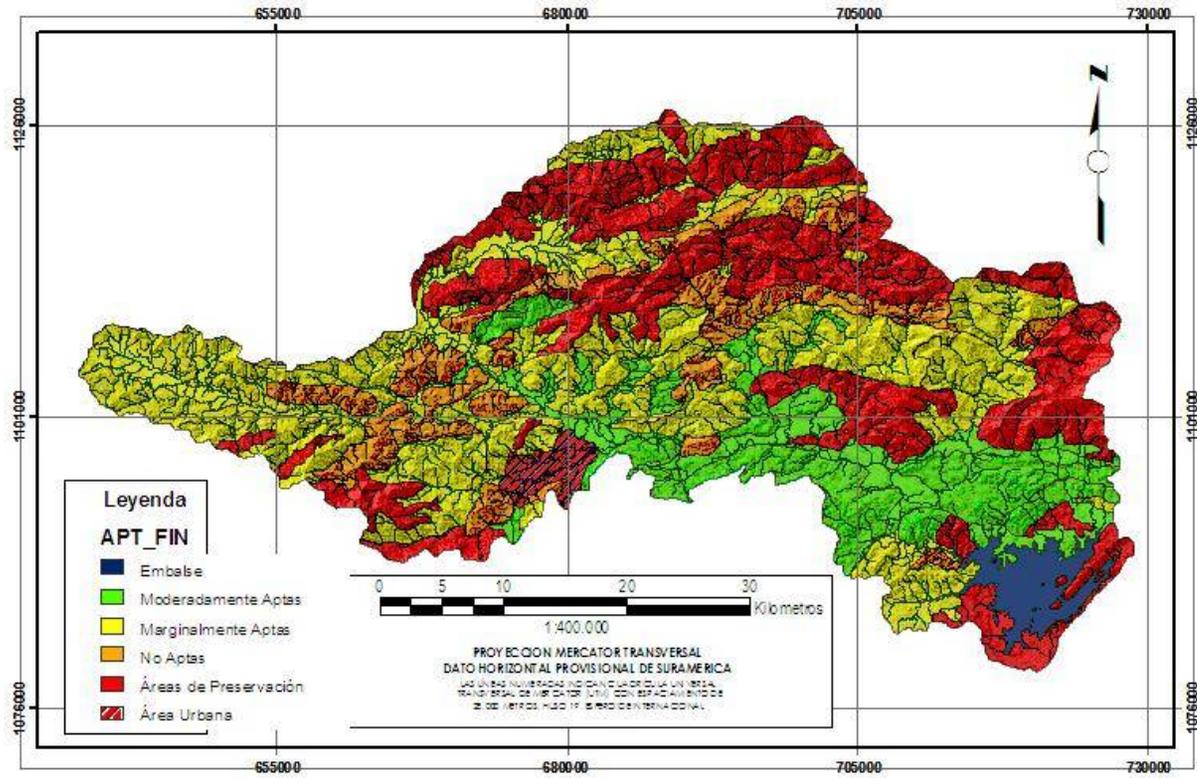


FIGURA 6. Aptitud de las Tierras para el TUT Agroforestería.

El TUT pino (Cuadro 19), es calificado como no apto es zonas con pendientes elevada, y por problemas en la producción de agua, a pesar, que desde el punto de vista agro ecológico algunas de estas unidades de tierra podrían ser calificadas como moderadamente aptas. Las unidades marginalmente aptas (34% del área) se deben a deficiencias en la producción de agua y por las cualidades relacionadas con el manejo. Las UT moderadamente aptas (15% del área) fueron calificadas así por limitaciones en disponibilidad de humedad, condiciones de enraizamiento, riesgo de derrumbe y el resto de las cualidades de manejo y conservación.

El TUT Teca (Cuadro 19), posee menor superficie de tierras moderadamente aptas (13%), debido a que posee mayores requerimientos de disponibilidad de agua y nutrimentos.

A pesar de que al realizar la evaluación de los TUT potenciales, no se obtuvieron áreas muy aptas para el desarrollo de los mismos, las tierras moderadamente aptas para cada TUT no ocupan las mismas áreas geográficas, ya que los TUT agroforestería y café bajo sombra tienen diferentes requerimientos. Esto permite dedicar una mayor área de la cuenca a usos agrícolas. En función de estos resultados se recomienda realizar una zonificación ecológica y económica de tierras. Así mismo, se recomienda usar dichas evaluaciones, conjuntamente con la evaluación ambiental, para elaborar un plan de ordenamiento y reglamento de uso de esta cuenca, que le de prioridad a la producción de rubros conservacionistas y al mantenimiento de la cantidad y calidad del agua producida por la cuenca.

CONCLUSIONES

- Los resultados de este trabajo contribuyen con una metodología para la evaluación agrícola en cuencas hidrográficas en Venezuela cuya misión es la producción de agua para consumo humano, agrícola e industrial. Así, este trabajo ha generado pautas técnicas que sirvan de base a la planificación y seguimiento del uso rural de la tierra en la cuenca alta del Río Guárico para la producción sostenible de agua; ya que toma en consideración de forma sistemática e integral, aspectos de carácter físico-natural y socio-económico, siguiendo el esquema de evaluación de tierras sobre las directrices de la FAO.

- El alto deterioro ambiental de la cuenca, reflejado en altos niveles de erosión y producción de sedimentos, está asociado a la difusión de la ganadería extensiva como tipo de uso de la tierra predominante. Este TUT, tal como se práctica actualmente, demuestra que este estudio es apto en menos de 7% de la superficie de la cuenca. Por esta razón, se recomienda sustituir de forma progresiva, las áreas con este tipo de uso, por zonas de explotación agroforestal, igualmente con fines pecuarios, mediante la introducción de pastos brachiarias y leguminosas arbóreas como leucaena y gliciride entre otros. Adicionalmente se recomienda la expansión de las superficies cultivadas de café bajo sombra y la posibilidad de incorporar plantaciones forestales con fines semicomerciales.
- En las zonas con posibilidades de uso, localizada fundamentalmente en los Valles del Tucutunemo y tramos alto y medio Río Guárico, es posible el desarrollo de cultivos agrícolas más intensivos, como cereales mecanizados, frutales y hortalizas bajo riego. Sin embargo, para garantizar la sostenibilidad de estos usos, se hace necesario racionalizar el uso del agua mediante la incorporación de prácticas de irrigación más eficientes y ajuste de calendarios de riego, incorporar prácticas de manejo conservacionista, para minimizar los problemas de erosión e incorporar de prácticas de manejo más orgánicas, tendentes a disminuir el uso de agroquímicos y por ende bajar los riesgos de contaminación de las aguas.

BIBLIOGRAFÍA

CASANOVA, E. y J. VILORIA. 2004. Informe Final Proyecto Generación de Directrices Técnicas y Socio-económicas para la planificación y seguimiento del uso de la tierra con fines de producción sostenible de agua. Tomo 5: Evaluación Agrícola y Ambiental. MCT-FONACIT-UCV, Agronomía, Maracay. 240 p.

COMERMA, J. y D. MACHADO. 2001. Planificación del Uso de los Recursos Naturales en las Cuencas Hidrográficas. **In:** XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Cuba, 20 p.

DOORENBOS, J. and A. H. KASSAM. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper 33. FAO, Roma. 193 p.

EDELCA. 2003. Evaluación de Recursos y Zonificación de la Cuenca del Río Caroní. Evaluación Ambiental, Agrícola y Forestal de Las Tierras (FAO). Versión Preliminar. Caracas. 161 p.

ELIZALDE, G. 1983. Ensayo de Clasificación Sistemática de Categorías de Paisajes. Primera aproximación. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. 46 p.

FAO. 1985. Directivas: Evaluación de tierras para la agricultura de secano. Boletín de suelos de la FAO 52. Roma. 268 p.

FAO. 1990. Evaluación de tierras para la agricultura de regadío: directivas. Boletín de suelos de la FAO 55. Roma. 289 p.

INE. 2001 Censo General de Población y vivienda. Tabulaciones prioritarias. Registro de Estructura, Venezuela. s/p. <http://www.ine.gov.ve>

JACOME, A. M., G. AGUERREVERE y M. T. LÓPEZ. 2001. Sistema de información ambiental cuenca alta del Río Guarico. Fundacite Aragua- Informe final 110 pp.

KLINGEBIEL, A. A. y P. M. MONTGOMERY. 1962. Clasificación por capacidad de uso de las tierras. Trad. del Manual N° 219. USDA. Centro Regional de Ayuda Técnica. México. 33 p.

MACHADO, D. y J. COMERMA. 2002. Evaluación y Planificación del Uso de los Recursos Naturales en las Cuencas Hidrográficas, Caso Cuenca del Caroní. **In:** IV Jornadas Técnicas de Palmaven. Caracas. 19 p.

MACHADO, D. C. PINEDA, E. CASANOVA y J. VILORIA. 2004. Evaluación ambiental de la cuenca alta del Río Guárico con fines de producción sostenible de agua. **In:** Informe Final Directrices Técnicas y Propuesta Metodológica para la Planificación del Uso de la Tierra con fines de Producción Sostenible de Agua en la Cuenca Alta del Río Guárico; Núcleo de Investigación y Excelencia, Proyecto Iniciativa Científica del Milenio, FONACIT- MCY y Banco Mundial. www.carg.info.ve. 36 p.

McRAE, S. G. and C. P. BURNHAM. 1981. Land Evaluation. Clarendon Press, Oxford, 239 p.

MORALES, A. y J. VILORIA. 2004. Predicción de Propiedades Relevantes de Suelo a partir de los Atributos de Paisaje en la Cuenca Alta del Río Guárico. Manejo Integral de la Cuenca Alta del Río Guárico, Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica Milenio. 12 p.

OSPINA, A., G. ELIZALDE., J. VILORIA y J. OCHOA. 2004. Balance Morfodinámico de la Cuenca Alta del Río Guárico, Manejo Integral de la Cuenca Alta del Río Guárico, Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica Milenio, 120 p.

OSPINA, A. y G. ELIZALDE. 2004a. Modelo Pedogeomorfológico de la Cuenca Alta del Río Guárico, versión 2,0, Manejo Integral de la Cuenca Alta del Río Guárico, Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica Milenio. 120 p.

OSPINA, A. y G. ELIZALDE. 2004b. Clasificación de Paisajes de la Cuenca Alta del Río Guárico, versión 1,0, Manejo Integral de la Cuenca Alta del Río Guárico, Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica Milenio. 71 p.

PINEDA, C., D. MACHADO, J. OCHOA y J. VILORIA. 2004. Evaluación ambiental y agrícola de tierras de la cuenca alta del Río Guárico con fines de producción sustentable de agua. Manejo integral de la cuenca alta del Río Guárico, Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica Milenio. 240 p.

PORTA, J., M. LÓPEZ-ACEVEDO y C. ROQUERO. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ª edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 850 p.

SIACARG. 2001. Sistema de Información Ambiental de la Cuenca Alta del Río Guárico, Informe Final, Fundacite Aragua. 110 p.

VILORIA, J., M. PRIMERA y M. PUCHE. 2005. Mapa de isoyetas para la Cuenca Alta del Río Guárico usando kriging ordinario. Primeras Jornadas Nacionales de Geomática. Fundación Instituto de Ingeniería, Centro de Procesamiento Digital de Imágenes, Caracas. 27 p.

**CALIDAD DEL FRUTO EN ACCESIONES DE NARANJA
'CRIOLLA' Y 'VALENCIA' EN EL SECTOR
MACANILLAS-CURIMAGUA, ESTADO FALCÓN**

Tania Russián L*

RESUMEN

A fin de identificar germoplasmas promisorios de naranja *Citrus sisnensis* Obs., específicamente 'Criolla' en la comunidad de Macanillas se muestrearon dos fincas sembradas con las variedades Criolla y Valencia. Se seleccionaron cinco plantas de Valencia sobre patrón 'Volkameriana' y tres sobre Cleopatra; y ocho de la Criolla, de acuerdo al criterio de los productores, plantas que producen frutos de diferente calidad. De cada planta se cosecharon cuatro docenas de frutos, los cuales fueron clasificados por tamaño: grande y pequeño. Del tamaño grande, se seleccionaron al azar diez frutos por tratamiento (accesión), para un total de 80 frutos por unidad experimental (finca). Se determinó peso, relación diámetro polar/diámetro ecuatorial, grosor de la cáscara, porcentaje de jugo número de semillas, SST, acidez titulable y la relación SST/Aci. Se encontró que existen diferencias en la calidad del fruto entre las accesiones de naranja Criolla y que ésta aunque por lo general es más pequeña, y con mayor cantidad de semillas, tiene una calidad química superior a la Valencia.

Palabras Clave: Naranja 'Criolla'; *Citrus sisnensis* Obs.; calidad; fruto; germoplasmas; 'Valencia'; accesiones.

* Profesora. Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda" (UNEFM).
Coro, estado Falcón. Venezuela.

RECIBIDO: julio 04, 2006.

**QUALITY OF THE FRUIT IN ACCESSIONS
OF ORANGE 'CRIOLLA' AND 'VALENCIA'
IN THE SECTOR MACANILLAS-CURIMAGUA,
FALCON STATE**

Tania Russián L*

SUMMARY

In order to identify promissory germplasm of 'Criolla' orange, *Citrus sisnensis* Obs., in the community of Macanillas, two orchards planted with varieties 'Criolla' and 'Valencia' were sampled. Five plants of Valencia on rootstock 'Volkameriana' and three on 'Cleopatra' as well as eight of 'Criolla' were selected. Criolla plants were selected according to the producers criteria as to fruit quality with respect to size, taste, number of seeds and/or weight. Four dozen fruits were harvested from each plant and classified by size as big or small. Ten big fruits were randomly sampled by treatment, for a total of 80 fruits per experimental unit (orchard). Determinations were made of weight, equatorial diameter/polar diameter, shell thickness, juice percentage, seed number, total soluble solids (TSS), titratable acidity and the relationship TSS/titratable acidity. Results indicated that 'Criolla' accessions exhibited differences in fruit quality, in general had smaller fruits with more seeds and a superior chemical quality than 'Valencia.'

Key Words: Orange 'Criolla'; *Citrus sisnensis* Obs.; quality, fruit; germoplasmas; 'Valencia'; accession.

* Profesora. Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda" (UNEFM).
Coro, estado Falcón. Venezuela.

RECIBIDO: julio 04, 2006.

INTRODUCCIÓN

La citricultura es uno de los principales rubros a nivel mundial (Rodríguez *et al.*, 1999). La calidad de los cítricos está influenciada por el patrón (Morín, 1980) y las características climáticas sobre todo temperatura (Stewart y Wheaton, 1971).

Salcedo (1990) citado por Pérez *et al.* (2005) señalan que naranjas criollas tolerantes a la tristeza pueden ser utilizadas no sólo como copa, sino, como patrón. Investigaciones en otras localidades confirman que las variedades Criollas pueden presentar mejores índices de calidad del fruto, así Pérez *et al.* (2005) en un estudio en diferentes localidades del municipio Caripe presentaron valores de porcentaje de jugo entre 46,59 y 54,97, mientras que los SST se encontraron entre 8 y 11,50% y la acidez entre 3,08 y 1,61%. En Costa Rica, Saborío (S/A) evaluando la curva de maduración de la naranja Criolla y Valencia, señala que la primera presentó altos contenidos de azúcar (10,5 °Brix) desde el mes de noviembre, los cuales se incrementan a valores superiores a 13 °Brix durante el mes de febrero. La acidez se mantuvo alta durante noviembre y diciembre y decayó a niveles aceptables para la industria hasta principios de febrero y la naranja Valencia por su condición de variedad tardía manifestó contenidos de azúcar muy bajos.

La pérdida de los recursos fitogenéticos se denomina erosión genética. Paradójicamente, tanto el aprovechamiento como la pérdida de los recursos fitogenéticos dependen de la intervención humana. El aumento de la población, la industrialización y la extensión de la frontera agrícola contribuyen a la erosión genética. A ello se suman la adopción de germoplasma élite y la modificación y/o destrucción de los centros de variabilidad genética (Jaramillo y Baena, 2000).

Por otra parte, es bien conocido que si no existen beneficios económicos y sociales, los productores pudieran abandonar sus tierras o descontinuar algunos cultivos, lo que pudiera resultar en una erosión de fuentes genéticas de especies de frutos tropicales. Cuando una especie ha permanecido por mucho tiempo en un lugar pueden ocurrir procesos evolutivos que le confieren características de resistencia a ese ambiente, por eso es de gran importancia la conservación *in situ* de germoplasmas útiles y aprovechables que, sobre una base sostenible, considerando un análisis socioeconómico, permita al Estado implementar programas que redunden en ventajas para todos (Jaramillo y Baena, 2000).

La naranja conjuntamente con el café y las musáceas, es uno de los cultivos más comunes en la Hoya de Curimagua, por lo general se encuentran dos variedades: la denominada Criolla y la Valencia, esta última en su mayoría sobre patrón Limón 'Volkameriana' y Mandarino Cleopatra, y la Criolla a pie franco. No obstante, hasta ahora no se conocen estudios que presenten la calidad de ambas variedades en la zona, pero de manera informal los consumidores aceptan que el sabor de la Criolla es superior.

Cabe destacar que los productores de Curimagua señalan que existen plantas que producen frutos de diferente calidad en cuanto a tamaño y sabor, por lo que se supone que pudiera haber plantas con características genéticas diferentes. Siendo la naranja un fruto que puede ser usado tanto como fruta fresca como para la industria, la evaluación de la calidad de los frutos puede ser utilizado como criterio de selección, en campo, de aquellos materiales con características deseables.

Actualmente existe la intención de renovar y ampliar el área sembrada de naranja en la zona con la variedad Valencia, lo que pudiese traer como consecuencia la pérdida de germoplasmas de buena calidad. De ahí la importancia de determinar la calidad de la naranja Criolla de tal manera de orientar, posteriormente, las investigaciones a la selección de plantas con características acordes al mercado y que a mediano plazo permitan la conservación y multiplicación de una especie de Criolla adaptada a la zona y de buena calidad. En tal sentido el objetivo de este trabajo fue comparar la calidad del fruto en accesiones de naranja Criolla y Valencia producida en la comunidad de Macanillas-Curimagua, para la identificación de germoplasmas promisorios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

A fin de caracterizar la calidad de la naranja Criolla en el sector Macanillas de Curimagua, estado Falcón, se realizó un estudio exploratorio usando un muestreo intencional, en plantas de naranja Criolla las cuales a criterio del productor son de diferente calidad. Además, se muestreo la naranja Valencia de la zona a fin de poder realizar una comparación. Cada accesión se consideró un tratamiento, los resultados se analizaron como un experimento completamente al azar puesto que se partió de la

hipótesis de que cada accesión se obtendría una respuesta diferente. Los resultados obtenidos se analizaron por el paquete estadístico InfoStat y se utilizó la prueba de Kruskal Wallis, por no existir normalidad entre los registros.

Macanillas se encuentra a una altura de 800 m.s.n.m., aproximadamente y bajo una temperatura promedio de 26 °C. Se muestrearon dos fincas que poseen, en total 156 plantas entre Criolla y Valencia, seleccionando ocho plantas por variedad. La Criolla, que se encuentra a pié franco, se cosechó el 12 de diciembre de 2005 y la Valencia el 19 de enero de 2006. En el caso de la Valencia cinco sobre patrón 'Volkameriana' y tres sobre 'Cleopatra'. De cada planta se cosecharon cuatro docenas de frutos los cuales fueron trasladados al laboratorio de suelo de la UNEFM.

Los frutos fueron clasificados, según el peso, por tamaño grande y pequeño, encontrándose para la Criolla un porcentaje entre 56-63% de frutos grandes y para la Valencia entre 71-79%. El peso de frutos grandes para la Criolla estuvo entre 237,76 g - 122,76 g y el de los pequeños entre 121,71 g - 97,32 g, mientras que para la Valencia el peso fue de 282,63 g - 166,45 g y entre 163,14 g - 114,20 g para frutos grandes y pequeños, respectivamente. De los frutos grandes se seleccionaron al azar 10 por tratamiento (accesión), para un total de 80 frutos por unidad experimental (finca) y un total de 160 frutos.

Parámetros evaluados

Calidad física

- a) Peso: pesando cada fruto en una balanza digital y expresando el resultado en g.
- b) Diámetro polar/diámetro ecuatorial (DP/DE): midiendo con un vernier el DP y DE del fruto y calculando el cociente.
- c) Grosor de la cáscara: medido con un vernier, expresando el resultado en mm.
- d) Porcentaje de jugo: exprimiendo cada fruto en un exprimidor doméstico y midiendo el contenido de jugo en un cilindro graduado y posteriormente calculando el porcentaje peso/volumen.
- e) Número de semillas: contando el número de semillas por fruto.

Calidad química

- a) Sólidos Solubles Totales (SST): se determinó con un refractómetro tipo digital Marca Atago usando tres o cuatro gotas del jugo de un fruto sobre la célula sensora del equipo previamente calibrado y encerado (A.O.A.C., 1984). Los resultados se expresaron como °Brix.
- b) Acidez Titulable: se tomó 10 ml de jugo, por fruto, al cual se le añadió 40 ml de agua destilada a esta mezcla se le determinó el pH con un potenciómetro. La acidez titulable se determinó por titulación con NaOH 0,1N, hasta obtener el valor de 8,3 (Normas COVENIN, 1981). Los resultados fueron presentados como porcentaje de ácido cítrico, de acuerdo a la fórmula propuesta por Gull *et al.* (1982):

$$\% \text{ Acido cítrico} = \frac{(V \times N \times P_{\text{meq}})}{Y} \times 100$$

Donde:

V= volumen en ml de NaOH titulado.

N= solución normal de NaOH (0,1N).

P_{meq}= peso en miliequivalente de ácido cítrico (0,064 meq).

Y= volumen en mililitros (10ml).

- c) Relación Sólidos Solubles Totales/Acidez Titulable: por cociente simple y directo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad de accesiones de naranja Criolla

Calidad física

Con relación a la calidad física, se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre las accesiones para las variables peso, número de semillas y porcentaje de jugo (Cuadro 1). Para el peso el mayor promedio correspondió a la accesión 4 con 237,76 g y la accesión 3 presentó el menor promedio (120,36 g). La relación DP/DE, muestra frutos de forma achatada hacia los polos, con valores entre 0,90 y 0,84.

CUADRO 1. Calidad física en frutos de accesiones de naranja ‘Criolla’, en el sector Macanillas.

Trat.	Peso (g)	DP/DE	Nº semillas	Grosor Cáscara (mm)	% Jugo(p/v)
1	186,42bcb (29,45) ²	0,88a (0,04)	11b (2,69)	3,5a (0,07)	38,08cb (3,44)
2	196,74cb (22,62)	0,90a (0,07)	14bc (2,35)	3,6a (0,12)	39,33cb (3,34)
3	120,36e (10,88)	0,90a (0,05)	4a (1,25)	2,7a (0,07)	40,92ba (3,83)
4	237,7a (21,99)	0,89a (0,03)	17c (2,88)	3,0a (0,11)	45,40a (2,75)
5	193,58cb (20,03)	0,90a (0,05)	17c (3,79)	3,5a (0,07)	38,63cb (3,32)
6	176,57dc (15,26)	0,87a (0,07)	15c (3,21)	3,2a (0,06)	38,65cb (3,04)
7	153,31ed (24,49)	0,89a (0,03)	15c (4,59)	3,4a (0,05)	35,40c (3,64)
8	211,42bae (18,29)	0,84a (0,05)	11b (2,11)	3,8a (0,08)	36,65c (2,27)

Promedio de 10 repeticiones.

¹ Valores entre columnas seguido por letras diferentes son estadísticamente diferentes (P<0,05) de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis.

² Desviación estándar.

Con respecto al número de semillas el menor valor se registró en la accesión 3 con 4 semillas, las demás presentaron entre 11 y 17. Por su parte los promedios del grosor de la cáscara estuvieron entre 2,7 y 3,8 mm.

Calidad química

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en todas las variables químicas. Con relación a los SST los mayores promedios se registraron en las accesiones 7, 4 y 5, mientras que el menor valor se encontró en la accesión 2 (Cuadro 2).

El mayor valor acidez titulable, fue de 1,35% (accesión 6) y el menor valor 0,38% (accesión 2). Los demás promedios estuvieron entre 0,95 y 1,08%. Por su parte en la relación SST/Aci., el grupo con mayores promedio correspondió a las accesiones 5 y 2 con 14,27 y 13,89%, respectivamente. El menor valor fue para la accesión 6 con 9,58.

CUADRO 2. Calidad química en frutos de accesiones de naranja 'Criolla', en el sector Macanillas.

Trat.	SST (°Brix)	I.C	Acidez (% ac. cítrico)	I.C	SST/Aci.	
1	12,64ba ¹	(1,21) ²	B ³	1,08abc	(0,17) C	11,92abc (1,81)
2	10,99c	(1,21)	C	0,80d	(0,10) D	13,89a (2,22)
3	12,30abc	(0,86)	B	0,99bcd	(0,21) C	13,09ab (3,19)
4	12,83a	(0,82)	B	1,17ab	(0,14) C	11,13bc (1,88)
5	12,77 ^a	(2,13)	B	0,95dc	(0,19) C	14,27a (4,35)
6	12,57ba	(1,25)	B	1,35a	(0,26) B	9,58c (1,87)
7	13,04 ^a	(0,69)	B	1,00cb	(0,18) C	13,51ab (2,60)
8	11,66cb	(1,20)	C	1,05bc	(0,22) C	11,64abc (2,91)

Promedio de 10 repeticiones.

¹ Valores entre columnas seguidos por letras diferentes son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$) de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis.

² Desviación estándar.

³ Índice de clasificación (Í.C.) según lo observado por Camacho y Ríos, (1972) citado por Avilán *et al.* (1992).

A= Excelente; B= Muy buena; C= Buena; D= Corriente; E= Pobre; F= Muy pobre.

Según lo señalado por Camacho y Ríos, (1972) citado por Avilán *et al.* (1992) como índices de calidad para naranja Valencia, para los SST se encontró que 6 de las 8 accesiones clasificaron como muy buena, y las otras 2 como buenas. Mientras que para la acidez titulable 6 de las accesiones evaluadas pudieran calificarse como buenas, la accesión 6 rango de muy buena, la accesión 2 como corriente.

En este estudio se encontraron materiales diferentes en cuanto a los parámetros físicos evaluados: peso, número de semillas y porcentaje de jugo, y de manera general una muy buena calidad química.

Aún cuando se requieren estudios genéticos para demostrarlo, se supone que esta variabilidad pudiera ser producida por el ambiente y por alteraciones genéticas puesto que se conoce que la ocurrencia de mutación espontánea, alteraciones de la estructura cromosomal y/o hibridación interespecífica, son relativamente frecuentes en los cítricos (Cameron y Frost, 1968; Moreira y Pío citado por Latado *et al.*, 2001).

En la selección de plantas se procura, en principio, aquellas de comprobado valor económico por la calidad de sus frutos o por su adaptación a las condiciones ambientales y resistencia/tolerancia a enfermedades. Así se menciona la accesión 4 de la Criolla que mostró un peso promedio de 237,76 g y un porcentaje de jugo de 45,40 y con calidad química bastante aceptable si se compara con la 'Valencia', tanto en los frutos analizados en este ensayo como lo señalado en otros estudios realizados en el país (Camacho y Ríos, 1972 citado por Avilán *et al.*, 1992; Laborem *et al.*, 1993).

De la misma manera, las accesiones 3 y 5 presentaron promedios muy buenos en lo referente a peso, porcentaje de jugo, SST, acidez titulable y la relación SST/Aci. Cabe destacar que la accesión 3 aún cuando fue la de menor peso y tamaño, registró un porcentaje de jugo de 40,92, un escaso número de semillas y muy buena calidad química.

Si se compara lo señalado por Pérez *et al.* (2005), en una caracterización de la 'Criolla' Caripe en 9 localidades del estado Monagas, con lo encontrado en este estudio (Cuadro 3), se observa que en la Criolla de Macanillas se registró más peso y mayor porcentaje de SST, y menor acidez, lo cual puede ser explotado para concentrados naturales y fruta fresca. Cabe destacar que los mencionados autores, no señalan la

uniformidad del tamaño de los frutos ni la desviación estándar, sin embargo, da una idea de las características de los frutos en ambas localidades.

CUADRO 3. Valores máximos y mínimos de peso, porcentaje de jugo, °Brix y porcentaje de acidez de frutos de naranja ‘Criolla’ de Macanillas y ‘Criolla’ Caripe.

	Peso (g)		% de Jugo		° Brix		% de Acidez	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
'Criolla' Macanillas	237,76	122,76	45,40	35,40	13,04	11,66	1,08	0,80
'Criolla Caripe'	211,38	120,47	54,97	42,01	11,5	8,0	3,08	1,61

Fuente: Propia; Pérez *et al.* (2005).

Calidad de frutos de en diferentes accesiones de naranja ‘Valencia’

Calidad física

En el Cuadro 4 se muestra que se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) para todas las variables físicas. Con relación al peso se formaron 3 grupos estadísticos, los de mayor promedio conformado por la accesión 8 con 282,63; otro grupo con los accesiones 2 y 3 los cuales presentaron los menores valores, las demás accesiones formaron un grupo intermedio.

La relación entre el diámetro polar y el ecuatorial en todas las accesiones estuvo cercana a 1, lo que indica frutos de forma redondeada, encontrándose valores entre 0,99 y 0,91. En cuanto al número de semillas, las accesiones 5, 7 y 8 presentaron el menor promedio con 5 semillas y las accesiones 1, 2, 3 y 4 el mayor promedio (8 semillas).

Con respecto al grosor de la cáscara, el mayor promedio se encontró el la accesión 1 y las accesiones 4, 5, 6 y 8 con el menor grosor de la cáscara. El porcentaje de jugo osciló entre 46,42%, y 36,89%.

CUADRO 4. Calidad física entre accesiones de naranja ‘Valencia’, en el sector Macanillas.

Trat.	Peso (g)	DP/DE	Nº semillas	Grosor Cáscara (mm)	% Jugo(p/v)
1	208,10b ¹ (21,43) ²	0,97ab	8b	4,8a	36,89d
2	162,55c (20,79)	0,95d	8b	4,1ab	42,42bc
3	166,45c (11,71)	0,99a	8b	4,1ab	43,93abc
4	220,13b (35,55)	0,95abcd	8b	3,4b	44,62ab
5*	224,96ab (10,04)	0,91dc	5a	3,5b	46,66a
6*	237,00ab (22,93)	0,97abc	7ab	3,4b	42,44bc
7	226,07b (31,67)	0,93bcd	5a	3,9ab	41,60bcd
8*	282,63a (46,64)	0,91d	5a	3,3b	40,91dc

Promedio de 10 repeticiones.

¹ Valores entre columnas seguido por letras diferentes son estadísticamente diferentes (P<0,05) de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis.

² Desviación estándar.

* Patrón ‘Cleopatra’

Calidad química

Con relación a la calidad química, excepto para los SST se encontró diferencias estadísticas para las otras variables (Cuadro 5); los valores de SST oscilaron entre 9,59 y 10,71. En cuanto a la acidez titulable, se formaron dos grupos el de menor promedio correspondiente a la accesión 5 y los de promedios entre 1,04-1,34.

Por el contrario el mayor promedio de la relación SST/Aci, se encontró en la accesión 5 con 13,80; los accesiones 1, 2 y 3 con valores intermedios y el menor valor en la accesión 7.

De manera general todas las accesiones de Valencia evaluadas se ubicaron en la categoría corriente en cuanto a los SST y con relación a la acidez titulable las accesiones 6 y 7 que se encontraron en el índice de muy buena y la accesión 5 como corriente, las demás accesiones se pueden clasificar como buena (Camacho y Ríos, 1972 citado por Avilán *et al.*, 1992).

CUADRO 5. Calidad química entre accesiones de naranja ‘Valencia’, en el sector Macanillas.

Trat	SST (°Brix)		I.C	Acidez (% ac. cítrico)		I.C	SST/Aci.	
	Valor	(Desv. estándar)		Valor	(Desv. estándar)		Valor	(Desv. estándar)
1	10,67a ¹	(1,14) ²	D ³	1,04b	(0,14)	C	10,36b	(1,61)
2	10,46a	(0,81)	D	1,02b	(0,18)	C	10,60b	(2,09)
3	10,71a	(0,68)	D	1,10b	(0,21)	C	10,08b	(2,01)
4	9,97a	(1,44)	D	1,04b	(0,25)	C	10,34bc	(3,61)
5*	10,36a	(1,23)	D	0,75a	(0,14)	D	13,80a	(3,28)
6*	10,26a	(1,15)	D	1,22b	(0,33)	B	8,89bc	(2,35)
7	9,59a	(0,40)	D	1,34b	(0,32)	B	7,57c	(1,91)
8*	10,30a	(0,65)	D	1,16b	(0,24)	C	9,24bc	(2,05)

Promedio de 10 repeticiones.

¹ Valores entre columnas seguido por letras diferentes son estadísticamente diferentes (P<0,05) de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis.

² Desviación estándar.

³ Índice de clasificación (I.C) según lo observado por Camacho y Ríos, (1972) citado por Avilán *et al.* (1992). A= excelente; B=Muy buena; C=Buena; D= Corriente; E= Pobre; F= Muy pobre

* Patrón ‘Cleopatra’

Calidad de frutos de naranja Valencia injertados sobre patrón Volkameriana y Cleopatra

En el Cuadro 6 se observa que se encontraron diferencias estadísticas para todos los parámetros de calidad física, excepto para el porcentaje de jugo. Los frutos sobre patrón Cleopatra, mostraron mayor peso y porcentaje de jugo que los frutos sobre Volkameriana.

Con relación a la calidad química no se encontraron diferencias estadísticas para ninguno de los parámetros (Cuadro 7), aunque la relación SST/Aci., de los frutos sobre Cleopatra fue mayor, pudiendo decirse que el patrón Cleopatra indujo frutos de mejor calidad, si se considera que los patrones que registran los mayores contenidos de SST y acidez, se corresponden con los de menor calidad de la fruta; mientras que los frutos provenientes de plantas cuyos patrones infieren un adecuado porcentaje de azúcar con el menor contenido de acidez, presentan las mejores características de calidad (Laborem *et al.*, 1993).

Los resultados encontrados en este estudio coinciden con lo observado por otros investigadores quienes señalan que las variedades de naranja dulce injertadas sobre mandarino Cleopatra, producen frutos de buena calidad, mientras que el limón Volkameriana, aún cuando induce una gran producción, la calidad de la fruta es menor (Avilán *et al.*, 1992; Monteverde *et al.*, 1999).

CUADRO 6. Calidad física de frutos de naranja ‘Valencia’ injertada sobre patrón ‘Cleopatra’ y ‘Volkameriana’, en el sector Macanillas.

Trat.	Peso (g)	DP/DE	Nº semillas	G. Cáscara (mm)	% Jugo (v/p)
Cleo	249,85a ¹ (39,61) ²	0,93a (0,06)	6a (2,40)	3,4a (0,08)	43,10a (3,98)
Volk	196,66b (36,67)	0,96b (0,06)	7b (2,85)	4,1b (0,10)	41,89a (3,92)

Promedio de 10 repeticiones.

¹ Valores entre columnas seguidos por letras diferentes son estadísticamente diferentes (P<0,05) de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis.

² Desviación estándar.

CUADRO 7. Calidad química de frutos de naranja 'Valencia' injertada sobre patrón 'Cleopatra' y 'Volkameriana', en el sector Macanillas.

Tratamiento	SST (°Brix)		Acidez (% ac. cítrico)		SST/Aci.	
'Cleopatra'	10,30a ¹	(0,99) ²	1,06a	(0,32)	10,64a	(3,32)
'Volkameriana'	10,28a	(1,02)	1,11a	(0,25)	9,79a	(2,52)

Promedio de 10 repeticiones.

¹ Valores entre columnas seguido por letras diferentes son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$) de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis.

² Desviación estándar.

De igual manera Jiménez *et al.* (1990) estudiando la influencia de seis patrones sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de la naranja 'Olinda Valencia' en el Sur de la Habana, donde entre otros se evaluó el Volkameriana, aunque no el Cleopatra, señalaron que los patrones que proporcionaron mejor calidad interna del fruto son el naranjo agrio y los citranges y la más baja el *Citrus macrophylla* y el *C. volkameriana*.

Comparación de la calidad entre frutos de naranja Criolla y Valencia

En el Cuadro 8 se muestra las medias de las variables de calidad física de frutos de naranja Valencia y Criolla del sector Macanillas de Curimagua, encontrándose diferencias estadísticas en todas las variables analizadas. En comparación a la variedad Criolla la Valencia fue de mayor peso, grosor de la cáscara y porcentaje de jugo.

En cuanto a la forma, la Valencia mostró un índice de los diámetros polar/ecuatorial de 0,95, lo que indica que es más redonda que la criolla que presenta una forma achatada (0,89). Como era de esperarse el número de semillas fue menor en la Valencia en comparación con la Criolla la cual, en promedio, presentó dos veces más semillas.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en todas las variables de calidad química, excepto en la acidez titulable (Cuadro 9). La naranja Criolla mostró el mayor promedio de SST. Los valores de acidez titulable fueron similares para la Valencia y Criolla, respectivamente. La mayor relación SST/acidez titulable se encontró en la Criolla, por su mayor contenido de SST.

CUADRO 8. Calidad física de frutos de naranja ‘Valencia’ y ‘Criolla’, en el Sector Macanillas.

	Peso (g)	DP/DE	G. Cáscara (mm)	% jugo (p/v)	N° Semillas
Valencia	215,71a ¹ (44,45) ²	0,95a (0,06)	3,8a (0,10)	42,33a (3,96)	7a (2,78)
Criolla	184,53b (39,20)	0,89b (0,05)	3,3b (0,08)	39,13b (4,20)	13b (4,93)

Promedio de 10 repeticiones.

¹ Valores entre columnas seguido por letras diferentes son estadísticamente diferentes (P<0,05) de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis.

² Desviación estándar.

CUADRO 9. Calidad química de frutos de naranja ‘Valencia’ y ‘Criolla’, en el Sector Macanillas.

Trat.	SST (°Brix)	Acidez (% Ac. cítrico)	SST/Aci.
Valencia	10,29b ¹ (1,00) ²	1,09a (0,28)	10,07b (2,89)
Criolla	12,35a (0,53)	1,05a (0,24)	12,38a (3,01)

Promedio de 10 repeticiones.

¹ Valores entre columnas seguido por letras diferentes son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis.

² Desviación estándar.

De manera general los parámetros evaluados en los frutos de Valencia, se encontraron entre los rangos presentados en otras localidades del país (Leal y Salamancas, 1977; Laborem *et al.*, 1993; Monteverde *et al.*, 1999), pero la naranja Criolla mostró características muy buenas en cuanto a la calidad química, si se compara con los índices mostrados para Valencia por Camacho y Ríos (1972) citado por Avilán *et al.* (1992), la Criolla se puede calificar entre muy buena y excelente, mientras que la Valencia producida en Macanillas en general puede calificarse como corriente.

CONCLUSIONES

- Se encontraron accesiones de naranja Criolla con características de calidad diferentes entre si, especialmente en la calidad física.
- Los frutos de naranja Criolla mostraron excelente calidad química, los cuales pudieran ser destinados a la agroindustria como al consumo fresco.
- En promedio la naranja Criolla presentó mayor relación SST/Aci., producto de un óptimo contenido de SST.
- Los frutos de la naranja Criolla fueron de menor tamaño, peso y porcentaje de jugo que la Valencia.
- Se recomienda continuar las investigaciones sobre la diversidad de germoplasmas autóctonos e implementar un programa de conservación y reproducción de las accesiones de mejor calidad.

AGRADECIMIENTO

Al Profesor Omar Tremont, por su invaluable ayuda en la labor de campo y en el análisis estadístico de los resultados. A la Ingeniera Ángela Zárraga, por su colaboración en la fase de campo. A la Ingeniera Lenys Ferrer y a las Bachilleres Rossana Guardia y Lisset García, por su colaboración en los análisis de laboratorio. Al personal del Laboratorio de Suelo de la Universidad Nacional experimental Francisco de Miranda UNEFM, por permitirme realizar los análisis de Laboratorio en el mismo.

BIBLIOGRAFÍA

A.O.A.C. 1984. Official method of analysis of the association of agricultural chemist. 14th edition. Washington. D.C.

AVILÁN, L., F. LEAL y D. BAUTISTA. 1992. Manual de fruticultura. Principios y manejo de la producción. Editorial América. 2da edición. Tomo II. Caracas. Venezuela. 1 203-1 319 pp.

CAMERON, J. and H. FROST. 1968. Genetics, breeding, and nucellar embryony. **In:** Reuther, W., L. Batchelor y H. Webber. (ed.). The Citrus Industry. Berkaley: University of California Press. 2:325-370.

COVENIN. 1984. Determinación de acidez en frutas y productos derivados. 151-177.

GULL, D. A. CARTAGENA y E. FRENCH. 1982. Análisis de calidad de tomate para lograr un mejor producto. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria. (I.B.T.A.) y la Misión Agrícola. Universidad de Florida (U.F.L.A.).

JARAMILLO, S. y M. BAENA. 2000. Conservación *ex situ* de Recursos Fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) Grupo Américas. Cali Colombia. 128 p.

JIMÉNEZ, R., E. PROMETA y E. GARCÍA. 1990. Influencia de seis patrones sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de las cosechas del cultivar naranja 'Olinda Valencia' en el Sur de la Habana. *Agrotécnia de Cuba*. 22(11):57-63.

LABOREM, E., F. REYES y L. RANGEL. 1993. Calidad a la cosecha de la naranja 'Valencia' sobre ocho patrones. FONAIAP – CENIAP. Instituto de Investigaciones Agronómicas. 32 p. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/>. (Serie A N° 10).

LATADO, R. A. TULMANN, A. AKIHIKO, A. IEMMA, J. JUNIOR, J. FIGUEREIDO, R. PIO, M. MACHADO, T. NEMEKATA, L. CERAVOLO and A. ROSSI. 2001. Sweet orange 'Pêra' mutants with low number of seeds obtained through mutation induction. *Rev. Bras. Frutic.* 23(2):339-344. Disponible en: <http://www.scielo.br> [citado 05 enero 2006].

LEAL, F. y G. SALAMANCAS. 1977. La calidad de la naranja Valencia en la región central de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 9(3):97-108.

MONTEVERDE, E., G. LABOREM, J. RUIZ, C. GUERRA y M. ESPINOZA. 1999. Evaluación del naranjo 'Valencia' sobre siete porta injertos en Miranda estado Carabobo. FONAIAP Divulga N° 64. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/> [05 Enero 2006].

MORÍN, C. 1980. Cultivo de los cítricos. Lima. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 597 p.

PÉREZ, M., E. SOTO, L. AVILÁN y F. SALCEDO. 2005. Caracterización ecofisiológica y morfológica in situ, de la naranja criolla de CARIBE, estado Monagas. CENIAP HOY. N° 9. Revista digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/> [06 Abril 2006].

SABORÍO, S. S/A. Determinación de las curvas de maduración en Naranja (*Citrus sinensis* var. "Valencia" y "Criolla") en la Región Central. Disponible en: <http://www.mercanet.cnp.go.cr/Calidad/Poscosecha>. [06 febrero 2006]

STEWART, I. and T. A. WHEATON. 1971. Effect of ethylene and temperature on carotenoid pigmentation of citrus peel. Florida State Horticultural Society. 264-266.

RODRÍGUEZ A., S. J., F. MOURÃO F., P. S. RODRIGUES, S. M. de STÉFANO P. and A. P. JACOMINO. 1999. Fruit quality of 'Pera' sweet orange affected by different girdling methods. Sci. agric. 56(3):529-535. Disponible en: <http://www.scielo.br/scielo>. [05 Enero 2006].

CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRUTOS EN LIMEROS 'PERSA' SOBRE 11 PORTAINJERTOS

Grigna J. Piña-Dumoulín*, E. Gastón Laborem**,
Edmundo E. Monteverde**, Sacramento Magaña-Lemus***,
Maximiliano Espinoza**** y Luis A. Rangel****

RESUMEN

El limero 'Persa', *Citrus latifolia* Tan., es un cítrico que representa una excelente alternativa de producción para Venezuela tanto en el consumo interno como la exportación; lo cual demanda investigaciones sobre portainjertos que den respuesta a la dinámica de clima y enfermedades presentes en el trópico. El objetivo del trabajo es evaluar el limero Persa sobre los portainjertos: C-61-103-1, FF-1-131-20, HRS-801, HRS-802, HRS-809, HRS-812, HRS-934, HRS-942, HRS-954, 'Volkameriana', *Citrus volkameriana* Pasq. y 'Cleopatra', *Citrus reshni* Hort. Ex Tan. Los parámetros evaluados fueron crecimiento, eficiencia de árboles, calidad de frutos y porcentaje de plantas vivas. El ensayo se estableció en el campo experimental del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), Maracay, Venezuela, coordenadas 10° 13' LN y 67° 37' LO, en un suelo Fluventic Haplustolls a 455 m.s.n.m., con temperatura y precipitación media de 26 °C y 950 mm, respectivamente; bajo un diseño en bloques al azar con dos plantas por unidad experimental y tres repeticiones. Los resultados preliminares mostraron que los árboles sobre FF-1-131-20 presentaron mayor altura y área de tronco, mientras el mayor volumen de copa fue en HRS-942. Los portainjertos HRS-809, HRS-954, HRS-812 y HRS-942 indujeron la mayor eficiencia productiva, mientras 'Cleopatra' y 'Volkameriana' las menores. El diámetro del fruto varió dependiendo de la época del año y el rendimiento en jugo estuvo por encima de los requerimientos del mercado internacional. HRS-812 se presentó como una de las mejores opciones por su menor porte, mayor eficiencia productiva y buena calidad de frutos, al igual que HRS-954, el cual mostró además el mayor porcentaje de árboles vivos.

Palabras Clave: *Citrus latifolia* Tan.; 'Tahiti'; calidad; eficiencia productiva; patrones.

* Investigadora, **Investigadores Asesores, ***Asesor Estadístico. ****Técnicos Asociados a la Investigación, respectivamente. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). E-mail: gpina@inia.gob.ve

RECIBIDO: marzo 03, 2006.

GROWTH, PRODUCTION AND FRUIT QUALITY OF PERSIAN LIME ON 11 ROOTSTOCKS

Grigna J. Piña-Dumoulín*, E. Gastón Laborem**,
Edmundo E. Monteverde**, Sacramento Magaña-Lemus***,
Maximiliano Espinoza**** y Luis A. Rangel****

SUMMARY

Due to the major importance of 'Persian', *Citrus latifolia* Tan., or Tahiti lime trees in Venezuela, for internal consumption as well as for exporting purposes, research in the evaluation of new rootstocks adequate to tropical agroenvironmental conditions is required. The objective of the present study is the evaluation of 'Persian' lime grafted on rootstocks C-61-103-1, FF-1-131-20, HRS-801, HRS-802, HRS-809, HRS-812, HRS-934, HRS-942, HRS-954, 'Volkamer' lemon *Citrus volkameriana* Pasq. and 'Cleopatra' mandarin *Citrus reshni* Hort. Ex Tan. Parameters evaluated were, tree growth, tree efficiency, fruit quality and percentage of live trees. Experiment was located in the experimental field of the Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP) Maracay, Venezuela (10° 13' NL y 67° 37' WL, 455 masl), with a Fluventic Haplustolls soil, 26 °C mean temperature and 950 mm mean precipitation. It was planted in a randomized block design with two plants per experimental unit and three repetitions. Preliminary results indicated that trees on FF-1-131-20 rootstock exhibited greater tree growth, in terms of tree height and trunk area, whereas trees on HRS-954 developed a greater canopy volume. Rootstocks HRS-809, HRS-954, HRS-812 and HRS-942 promoted highest yields, fruit quality and tree efficiency while 'Cleopatra' and 'Volkameriana' induced the opposite. Fruit diameter varied according to season and juice characteristics surpassed international market requirements. HRS-812 is considered one of the best options due to lesser tree height, higher tree efficiency and good fruit quality, as well as HRS-954 which also presented a higher percentage of live trees.

Key Words: *Citrus latifolia* Tan; 'Tahití'; quality; productive efficiency; rootstocks.

* Investigadora, **Investigadores Asesores, ***Asesor Estadístico. ****Técnicos Asociados a la Investigación, respectivamente. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). E-mail: gpina@inia.gob.ve

RECIBIDO: marzo 03, 2006.

INTRODUCCIÓN

La lima ‘Persa’ también llamada ‘Tahiti’ o ‘Bearss’, *Citrus latifolia* Tan, corresponde al subgrupo de las limas ácidas con probable origen en las zonas tropicales del archipiélago Malayo (Agusti, 2000) siendo de especial interés para las condiciones agroclimáticas que predominan en diversas regiones de Venezuela; con alturas que van desde el nivel del mar a los 1 200 m, temperaturas medias anuales entre 22 °C y 26 °C; y precipitaciones hasta 2.000 mm anuales (Sosa *et al.*, 1990 citado por Martínez, 1993).

Aún cuando las cifras oficiales en el cultivo de lima Persa en el país son muy escasas, existe información referencial de superficie sembrada y exportaciones. Para el año 1993 se estimaban alrededor de 3 000 ha sembradas con plantas en diferentes estados de crecimiento (Martínez, 1993) mostrándose para entonces cifras de exportación al mercado europeo de 300 t, volumen que se incrementó en 1995 a 961 t, siendo Venezuela el segundo suplidor de este mercado con el 10,12% de sus importaciones (Tourism and Industrial Development of Trinidad y Tobago, 1997). Para 1996, la superficie sembrada se incrementó a 4 500 ha de las cuales 500 ha correspondían al estado Zulia (Valbuena, 1996), superficie que se incrementó en el año 1998 a 1 250 ha aproximadamente (INFOAGRO, 2006).

En relación a las cifras aportadas por compañías exportadoras del estado Lara, para el año 1996 se presentó desde esa región una salida de 3 870 kg de limas; 73 615 kg en 1997, 14 400 durante 1998 y 10 150 kg para 1999, con destino principalmente hacia EEUU e Inglaterra (Baig y Naranjo, 2002).

En el país es común el establecimiento de plantaciones del limero Persa injertadas sobre limonero ‘Volkameriana’, *Citrus volkameriana* Pasq., por la obtención de frutos de mayor tamaño, producción abundante y precoz. Sin embargo, estas plantaciones en su mayoría son reemplazadas alrededor de los diez años debido a la susceptibilidad de este cultivar al virus de la tristeza de los cítricos (VTC). En este sentido las experiencias con Citrumelo ‘Swingle’ lo ubica como un portainjerto de alto potencial al mostrar mayor tolerancia a enfermedades y características deseables de producción y calidad de frutos (Piña *et al.*, 2005).

Por tanto, el desarrollo de referenciales tecnológicos basados en una selección acertada de nuevos portainjertos que confieran mayor tolerancia al virus a la copa de limeros beneficiaría en gran manera la consolidación de este cultivo; cuyo potencial de exportación representa una industria creciente en el país (Pire y Rojas, 1999).

Con el trabajo se busca comparar árboles de limero Persa sobre los portainjertos comercialmente utilizados en Venezuela, limonero Volkameriana y Mandarino 'Cleopatra', *Citrus reshni* Hort. ex Tan, con nueve híbridos experimentales, en función de incrementar las alternativas de selección de aquellos que logren mayor eficiencia productiva, un menor porte de árbol, buena calidad de frutos y mayores tolerancias a problemas fitosanitarios que incrementen la vida útil de la plantación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se encuentra sembrado en el Campo Experimental del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, estado Aragua, a 445 m.s.n.m; área clasificada como bosque seco tropical Sub-húmedo (Holdridge, 1979), con precipitación media anual entre 900-1000 mm, temperatura media de 25 °C y evapotranspiración alrededor de los 1 400 mm (Estación Climatológica CENIAP-Maracay).

Las yemas de limero Persa fueron tomadas de plantas injertadas con material proveniente originalmente del Bloque de Fundación de la Universidad de California, situado en Lincove, California, USA. Los portainjertos evaluados fueron: C-61-103-1 (Sunki x Macrophylla), FF-1-131-20 (Changsha x English Large Flowered Trifoliolate Orange), HRS-801 (Changsha x English small flowered trifoliolate orange), HRS 802 (Siamese pummelo x Gotha Road trifoliolate orange), HRS-809 (Changsha x English large flowered trifoliolate orange), HRS-812 (Sunki x Beneche trifoliolate orange), HRS-934 (Minneola Tangelo x trifoliolate orange), HRS-942 (Sunki x Flying Dragon trifoliolate orange), HRS-954 (Pearl Tangelo x Flying Dragon trifoliolate orange), Mandarino Cleopatra y Limonero Volkameriana. Los nueve primeros establecidos a partir de semilla proveniente de Florida, USA; y los dos últimos de semilla originaria del Banco de Germoplasma de Cítricos del CENIAP.

La plantación se estableció entre septiembre del año 2000 y febrero del año 2001, a una distancia de siembra de 6 m x 4 m, con riego por micro

aspersión, bajo un diseño experimental en bloques al azar, tres repeticiones y dos plantas por unidad experimental.

Para la evaluación del crecimiento se midió la altura de árbol y diámetro de copa. Se calculó el área (A) de tronco a partir del perímetro (p) de éste, medido a 10 cm por encima de la línea del injerto y utilizando las fórmulas: $p = 2 \pi r$; $A = \pi R^2$, mientras que el volumen de copa se calculó por la fórmula: $V = (2/3 \pi R^2 H)$ según Mendel, 1956, citado por Colauto y Vieira, 2004). La producción fue medida por conteo y pesaje de frutos por planta para los meses de mayor producción (enero, febrero, julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre).

Los preliminares de calidad de fruto se determinaron a través de evaluaciones físico-químicas en laboratorio tomando 10 frutos por repetición, pero a fines de este trabajo sólo se mostraran aquellas variables que constituyen los parámetros requeridos para los diferentes mercados del producto, las cuales son: diámetro ecuatorial, diámetro distal y rendimiento en jugo (%v/v) (Norma PC-012-2004; Norma CÓDEX STAN 213-1999). También se determinó el porcentaje de plantas muertas al cabo de los años evaluados.

Se utilizó el software Statistical Package for Social Science (SPSS) versión 11,0 para el análisis exploratorio (Visauta, 1997) y el Statistical Analysis System (SAS), versión 8 (SAS, 1999) para los análisis de varianza y la separación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de árboles

Mediciones de crecimiento realizadas en 3 años de evaluación permiten señalar que la mayor altura de árbol se encontró en limeros sobre el portainjerto FF-1-131-20 con 3,12 y 3,54 m para los años 2003 y 2004, respectivamente, pero no hubo diferencias significativas entre ellos, excepto con Cleopatra, que tuvo la menor altura para los mismos años (Cuadro 1). Sin embargo, el mayor diámetro de copa se observó sobre el portainjerto HRS-942 con 3,14 m para el año 2004, mientras que 'Cleopatra' presentó el menor valor con 2,45 m, coincidiendo por tanto, éstos dos portainjertos, con el mayor y menor volumen de copa del ensayo para el año 2004 con 18,56 y 10,12 m³, respectivamente, aunque no hubo diferencias significativas entre los portainjertos (Cuadro 1). Se

observa entonces un comportamiento diferente en relación al bajo vigor que presenta 'Cleopatra' en la zona aragueña al compararla con evaluaciones realizadas en plantaciones de la misma edad en la región zuliana donde la copa alcanzó un promedio de 15,40 m³ (Quijada *et al.*, 2002).

El mayor crecimiento de los árboles inferido a partir del cálculo del área de tronco del limero se encontró en el FF-1-131-20 y el menor fue para el HRS-812 (Cuadro 1).

Producción y eficiencia productiva

En la etapa de crecimiento y el primer año de producción (2004), se observó una alta variabilidad entre copas sobre un mismo portainjerto y entre portainjertos. En este sentido, limeros sobre un mismo portainjerto establecidos sobre un área con tendencia al aguachinamiento produjeron menos que aquellos establecidos en una superficie con mejor drenaje, siendo éste el caso de las plantas sobre los portainjertos HRS-809, HRS-954 y HRS-942, las cuales en promedio presentaron los valores más altos de producción (Figura 1).

Al comparar los limeros sobre los diferentes portainjertos se presentan producciones promedio por planta que van desde 4,08 hasta 33,97 kg, los cuales corresponden a los portainjertos 'Cleopatra' y HRS-942 (Cuadro 2), coincidiendo el comportamiento de este último con resultados de ensayos realizados en la zona Central de Florida donde al compararlo con 20 portainjertos en naranja 'Valencia', el HRS-942 presentó los mayores valores junto al HRS-812 (Wutscher y Bowman, 1999).

Con respecto al comportamiento observado en el portainjerto 'Cleopatra' en la zona aragueña, los datos de producción son bajos al compararlos con ensayos similares conducidos en lima 'Persa' en la región zuliana (Quijada *et al.*, 2002), lo cual puede estar asociado a las condiciones agroclimáticas inherentes a las zonas del ensayo, que pueden afectar directamente tanto el índice de crecimiento de las plantas (Samson, 1991), como la severidad del virus de la tristeza.

En publicaciones donde se relaciona el VTC con factores ambientales se señala que la aparición de síntomas de esta enfermedad está influenciada por la humedad, luz y temperatura. En este sentido, temperaturas entre 18 y 25 °C benefician del desarrollo de la enfermedad mientras que las altas temperaturas reducen la severidad de la sintomatología, pudiendo comenzar una inactivación del virus sobre los 35 °C (Proyecto VIFINEX, 2000).

CUADRO 1. Crecimiento de limeros 'Persa' sobre 11 portainjertos para el 2°, 3° y 4° año de edad.

Portainjerto	Altura de árbol(m)			Diámetro de copa (m)			Volumen de copa (m ³)			Área de tronco (cm ²)		
	2002	2003	2004	2002	2003	2004	2002	2003	2004	2002	2003	2004
HRS-801	2,33a*	2,89ab	3,16ab	2,03a	2,69a	2,89a	5,67a	12,69ab	15,78a	1,88ab	47,25abc	85,52ab
FF-1-131-20	2,30a	3,12a	3,54a	1,78a	2,63a	2,73a	4,33a	12,58ab	15,38a	2,14a	57,64a	92,95a
HRS-809	2,26a	2,57abc	3,10ab	1,70ab	2,12ab	2,47a	4,54a	7,85ab	15,02a	1,95ab	41,36abc	57,84abc
HRS-934	2,19a	2,87ab	2,93ab	1,72a	2,18ab	2,61a	4,03ab	8,32ab	12,71a	1,67ab	43,38abc	72,71abc
HRS-942	2,18a	2,94ab	3,09ab	2,00a	2,89a	3,14a	5,21a	15,51a	18,56a	1,89ab	53,60ab	78,34abc
HRS-954	2,18a	2,80abc	2,72ab	1,96a	2,59ab	2,88a	4,95a	11,23ab	13,21a	1,87ab	42,39abc	59,27abc
HRS-812	2,06a	2,44bc	<u>2,73ab</u>	1,72a	2,13ab	<u>2,54a</u>	3,63abc	6,91b	<u>10,97a</u>	1,15bcd	31,22bc	45,13c
C-61-103-1	2,04a	2,56abc	2,82ab	1,87a	2,30ab	2,88a	4,25ab	8,15ab	14,04a	1,65ab	47,84abc	71,63abc
HRS-802	2,00a	2,88ab	3,01ab	1,57ab	2,23ab	2,61a	3,38abc	9,63ab	14,26a	1,46abc	42,46abc	65,66abc
'Cleopatra'	1,47b	2,22c	2,51b	1,20bc	1,83b	2,45a	1,47bc	5,29b	10,12a	0,62cd	28,06c	51,04bc
'Volkameriana'	1,47b	2,68abc	2,91ab	1,06c	2,17ab	2,85a	0,98c	7,38ab	13,79a	0,46d	27,18c	47,26bc
X	2,04	2,72	2,96	1,69	2,36	2,73	3,86	9,59	13,99	1,52	42,03	61,83
Significancia	0,0001	0,0001	0,018	0,0001	0,0001	0,057	0,0001	0,0001	0,116	0,0001	0,0001	0,003
CV (%)	9,90	10,00	13,90	13,70	15,50	12,70	33,50	36,70	34,40	27,9	26,3	27,8
R ²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97
1-B =	1,000	1,000	0,899	1,000	1,000	0,797	1,000	0,999	0,702	1,000	1,000	0,970

* Letras diferentes verticalmente denotan diferencias significativas entre los valores de la variable.

En cuanto a la eficiencia productiva, pueden diferenciarse 3 grupos importantes, correspondiendo en primer lugar a un grupo de menor eficiencia por debajo de 1 kg m^{-3} siendo Volkameriana el de menor valor ($0,34 \text{ kg m}^{-3}$); un segundo grupo intermedio de 1 a $1,50 \text{ kg m}^{-3}$ y un tercer grupo con eficiencias por encima de los $1,50 \text{ kg m}^{-3}$, donde se encuentran los limero sobre los híbridos HRS-809, HRS-954, HRS-812 y HRS-942 (Cuadro 2).

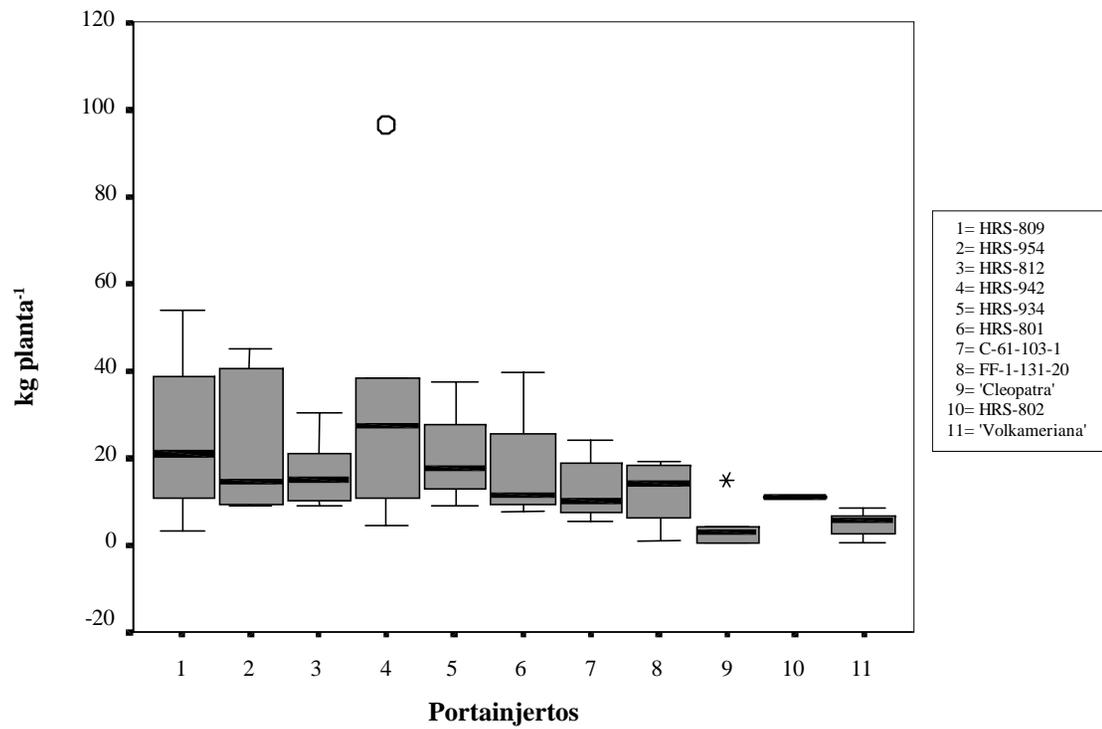
En este sentido, cabe destacar la eficiencia obtenida por el portainjerto HRS-812 con respecto a la altura de árbol (2,73 m) y volumen de copa ($10,97 \text{ m}^3$) tal como se observa en el Cuadro 1, lo cual coincide con características de porte medio y buena producción, que aunado a la buena calidad de frutos, resistencia al virus de la tristeza, *P. nicotianae*, nemátodos y abundante producción de semillas para su propagación, referidas por otros autores (Bowman, 2000), hacen de HRS-812 un híbrido de especial interés como portainjerto potencial para el limero Persa.

Sin embargo, los híbridos HRS-809, HRS-954 y HRS-942 deben ser considerados en función de los resultados de eficiencia productiva (Figura 2) y porte del árbol, aunque es éste último quien posee un mayor volumen de copa, pero no significativo con respecto al resto de los híbridos (Cuadro 1).

Calidad de frutos

Con el fin de relacionar parámetros de crecimiento y producción con calidad de frutos, se realizaron pruebas de medias donde se obtuvieron frutos con diámetro ecuatorial entre 59,12 y 63,91 mm para todos los portainjertos (Cuadro 3), situándose gran parte de ellos en diámetros entre 59 y 61 mm, los cuales son fácilmente aceptados en el mercado norteamericano, europeo y asiático (Norma PC-012-2004).

Diámetros por encima de 61 mm se obtuvieron en frutos producidos sobre los patrones HRS-942, HRS-954, HRS-809 y FF-1-131-20, con frutos de diámetro medio de 63,91 mm (Cuadro 3), los cuales se encuentra dentro de los parámetros de calidad del mercado norteamericano y asiático (Norma PC-012-2004) y de muy fácil comercialización en el mercado nacional.



+ Las líneas remarcadas dentro de la barra indican la mediana de los datos.
 ∅ Corresponden a datos posiblemente fuera de tipo.

FIGURA 1. Variabilidad en producción de limeros 'Persa' por portainjerto para el año 2004.

CUADRO 2. Producción y eficiencia para el año 2004.

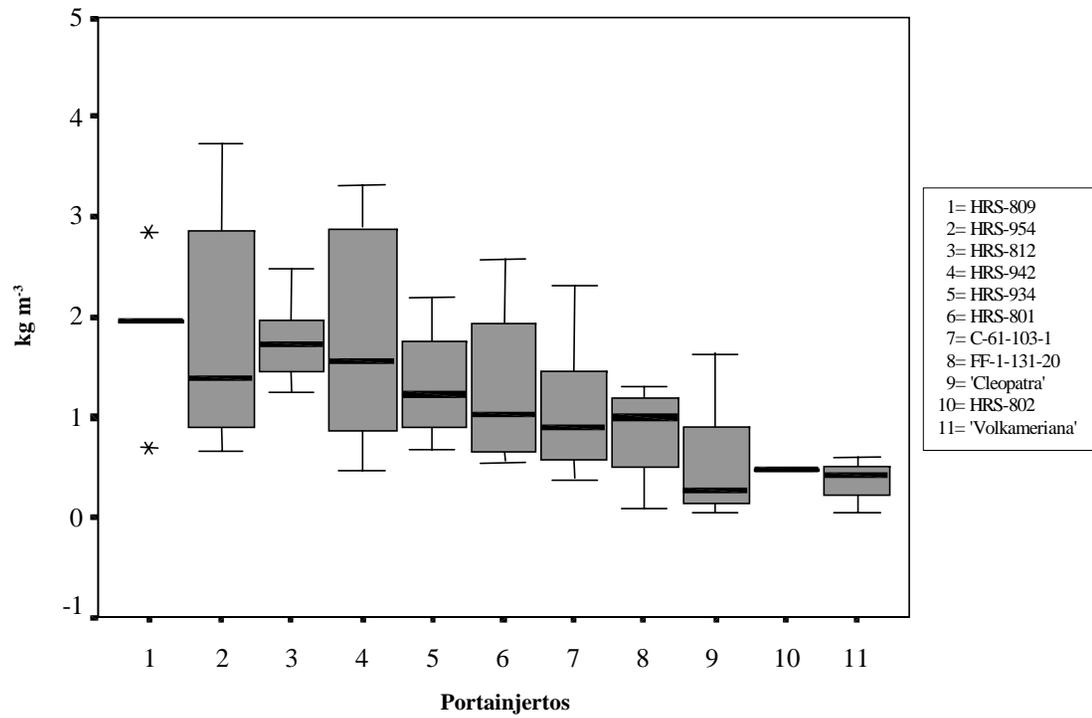
Portainjerto	Producción (kg)	Eficiencia (kg m ⁻³)
HRS-809	25,36	1,88*
HRS-954	22,02	1,82
HRS-812	16,91	1,78
HRS-942	33,97	1,77
HRS-934	20,08	1,33*
HRS-801	17,37	1,29
C-61-103-1	12,56	1,08
FF-1-131-20	12,00	0,85*
HRS-802	10,93	0,47
'Volkameriana'	4,70	0,34
'Cleopatra'	4,08	0,54

* Se diferencian 3 grupos en eficiencia productiva: de 0 a 1 kg m⁻³, de 1 a 1,5 km m⁻³ y mayor de 1,5 km m⁻³.

En las muestras de frutos por cada portainjerto se obtuvieron cantidades promedio de jugo por encima de 42% v/v que es lo que exige el mercado de lima Persa a nivel mundial (Lamberts y Crane, 1990; Norma PC-012-2004). Sólo frutos obtenidos sobre el patrón HRS-802 presentaron un volumen de jugo significativamente por debajo (41,66% v/v) con respecto al resto de los patrones (Cuadro 3).

En cuanto a la forma de los frutos, aunque no se encuentra presentado como una variable de calidad para el mercadeo de lima Persa, posee importancia a la hora de la distribución del producto dentro de los empaques. En este particular, las pruebas de medias indicaron una diferencia significativa entre frutos sobre portainjerto HRS-954 (1,120) y el HRS-934 (1,086), lo cual denota una tendencia del HRS-954 a producir frutos ovales mientras que HRS-934 frutos más redondos (Cuadro 3).

Por otra parte, se encontraron diferencias altamente significativas entre los diámetros de los frutos cosechados en diferentes épocas del año, resultando que en el mes de enero el promedio estuvo en 64,63 mm mientras que en junio fue de 55,89 mm (Cuadro 4).



+ Las líneas remarcadas dentro de la barra indican la mediana de los datos.
 * Corresponden a datos posiblemente fuera de tipo.

FIGURA 2. Variabilidad en eficiencia productiva de limeros 'Persa' por portainer para el año 2004.

CUADRO 3. Preliminares de calidad de frutos en cosecha realizadas en los años 2004 y 2005.

Portainjerto	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro distal (mm)	Relación De/Dd	Rendimiento jugo (% v/v)
FF-1-131-20	63,91 a	69,41 a	1,088 ab	42,94 ab
HRS-809	62,85 ab	69,25 a	1,103 ab	45,80 ab
HRS-954	61,39 bc	68,60 ab	1,120 a	42,66 ab
HRS-942	61,08 bcd	67,57 abc	1,108 ab	44,55 ab
HRS-812	60,99 bcd	68,08 abc	1,116 ab	42,31 ab
HRS-801	60,99 bcd	66,81 abcd	1,092 ab	46,45 a
HRS-934	60,74 bcd	65,91 bcd	1,086 b	43,08 ab
'Volkameriana'	60,18 cd	65,67 cd	1,092 ab	44,28 ab
'Cleopatra'	59,65 cd	65,44 cd	1,098 ab	44,66 ab
HRS-802	59,64 cd	65,72 cd	1,104 ab	41,66 b
C-61-103-1	59,12 d	65,02 d	1,101 ab	42,12 ab
X	60,96	67,04	1,101	43,68
Significancia	0,0001	0,0001	0,0019	0,035
CV (%)	4,96	5,85	4,22	6,06
R ²	0,998	0,997	0,999	0,996
1-β =	1,000	1,000	0,911	0,838

* Letras diferentes verticalmente denotan diferencias significativas entre los valores de la variable.

Al comparar los diámetros ecuatoriales medios obtenidos en este ensayo con la normativa mexicana en referencia a tamaño de frutos de lima Persa requeridos en el mercado internacional (Norma PC-012-2004), se tiene que en la cosecha del mes de enero los frutos poseen un diámetro por encima del menor calibre solicitado por los mercados de EEUU y Asia (110's y 36, respectivamente), el cual va desde 61 a 63 mm, mientras que en junio el diámetro de fruto obtenido satisface calibres que corresponden con los tamaños entre 4 y 3 o calibres medios que van desde los 54 mm y los 59 mm y que satisface los mercados de EEUU, Europa y Asia (Norma PC-012-2004).

Diferencias tanto en tamaño como en forma de fruto se han asociado a condiciones ambientales (Convenio SENA-Reino Unido) y de alguna manera han dado pie a parámetros de calidad diferentes por épocas del año. Por ejemplo en el estado de Florida, USA; se ha logrado asociar fechas de cosecha con diámetros de frutos, siendo que los frutos cosechados entre el 15 de marzo y el 31 de mayo son de mayor tamaño (alrededor de 47,6 mm) que los cosechados entre el 01 de junio al 14 de marzo, donde los frutos pueden estar alrededor de los 44,5 mm (Soule *et al.*, 1967).

Los rendimientos en jugo fueron mayores en aquellas fechas de cosecha cuando el diámetro de los frutos fue mayor (Cuadro 4), lo cual difiere de parámetros de calidad para limas 'Persa' en Florida, donde se han asociado rendimiento de jugo de 42% v/v con diámetros de frutos de 47,6 mm o más, y rendimientos de 50% v/v con frutos entre 41,3 y 47,6 mm (Soule *et al.*, 1967).

Sobrevivencia de plantas

Con respecto al porcentaje de plantas muertas, en el año 2005 se diferenciaron 3 grupos: 0% correspondieron con los patrones: C-61-103-1, HRS-809, HRS-934, HRS-942, HRS-954, Cleopatra y Volkameriana; 16,66% para los patrones HRS-801, HRS-802 y HRS-812 y 33,33% sobre el patrón FF-1-131-20 (Cuadro 5). Aunque en el mayor de los casos se relaciona la muerte de plantas con aguachinamiento en el terreno, se tiene previsto análisis fitopatológicos y virales con fines de relacionar-sintomatologías y decadencia de plantas con las presencia de agentes causales de enfermedades.

CUADRO 4. Calidad de frutos en cosecha realizadas en los años 2004 y 2005.

Fecha de cosecha	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro distal (mm)	Relación De/Dd	Rendimiento jugo (% v/v)
Enero 2005	64,63 a	67,95 b	1,05 c	40,95 c
Agosto 2004	63,41 b	71,81 a	1,13 a	43,53 b
Abril 2005	60,13 c	65,45 c	1,09 b	43,15 b
Junio 2005	55,89 d	63,06 d	1,13 a	47,36 a
Significancia	0,0001	0,0001	0,0001	0,035
CV (%)	4,96	5,85	4,22	6,06
R ²	0,998	0,997	0,996	0,996
1-β =	1,000	1,000	1,000	0,838

CUADRO 5. Porcentaje de plantas muertas por portainjerto para el año 2005.

Portainjerto	Plantas vivas (Nº)		Plantas muertas (Nº)		Plantas pequeñas (Nº)	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
C-61-103-1	6	100,00	0	0	0	0
FF-1-131-20	4	66,66	2	33,33	0	0
HRS-801	4	66,66	1	16,66	1	16,66
HRS-802	5	83,33	1	16,66	0	0
HRS-809	4	66,66	0	0	2	33,33
HRS-812	5	83,33	1	16,66	0	0
HRS-934	5	83,33	0	0	1	16,66
HRS-942	6	100	0	0	0	0
HRS-954	6	100	0	0	0	0
'Cleopatra'	6	100	0	0	0	0
'Volkameriana'	4	66,66	0	0	2	33,33
Totales	55	76,40	9	12,50	8	11,10

CONCLUSIONES

- El FF-1-131-20 fue el patrón que indujo mayor altura de planta y el HRS-942 el mayor diámetro y volumen de copa; mientras que Cleopatra y Volkameriana mostraron un crecimiento menor al compararlo con el resto de los híbridos.
- Los limeros sobre el portainjerto HRS-942 presentaron la mayor producción de frutos y la mayor eficiencia productiva, aunada a un mayor diámetro y volumen de copa.
- Los frutos producidos sobre el portainjerto HRS-934 tienden a ser más redondeados que los frutos producidos sobre los otros portainjertos.
- El calibre de frutos producidos en limeros sobre los diferentes portainjertos varía dependiendo de la época de cosecha; y el mayor rendimiento en jugo en frutos de lima Persa se obtuvo en frutos de mayor diámetro.
- El HRS-812 se presenta como una buena opción como portainjerto, dado que con él se obtuvo una alta eficiencia productiva en un porte medio de árbol y buena calidad de fruto en referencia al calibre de fruto y rendimiento en jugo, pero su tolerancia a enfermedades debe continuar evaluándose.
- El 100% de plantas vivas se observó sobre los portainjertos C-61-103-1, HRS-942, HRS-954 y Cleopatra, sin embargo, es el HRS-954 quien presenta mayores ventajas comparativas por su alta sobrevivencia de plantas, bajo porte, alta eficiencia productiva y buena calidad de frutos.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al investigador Heinz K. Wutscher (USDA, Florida) quien hizo posible la obtención del material de los nuevos híbridos, con la finalidad de ser evaluados bajo diferentes condiciones agroclimáticas de Venezuela.

BIBLIOGRAFÍA

AGUSTI, M. 2000. Citricultura. Ediciones Multi-Prensa. Madrid. p. 416.

BAIG, C. y N. NARANJO. 2002. Caracterización de las empresas comercializadoras del sistema exportador de frutas frescas en el estado Lara. *Bioagro* 14:167-174.

BOWMAN, K. 2000. New hybrid citrus rootstocks developed by U.S. Department of Agriculture. *Proc. Intl. Soc. Citricult. IX Congr.* pp. 51.

CODEX STANDARD FOR LIMES—CODEX STAN 213-1999. ftp://ftp.fao.org/codex/standard/en/CXS_213e.pdf

COLAUTO, N. and C. VIEIRA. 2004. Rootstocks for 'Tahiti' lime. *Sci. Agric.* 61:151-155.

CONVENIO SENA-REINO UNIDO. Cítricos Cosecha y postcosecha en la cadena Agroindustrial. Programa Nacional de capacitación en manejo postcosecha de frutas y hortalizas. Colombia. p.48.

HOLDRIDGE, L. 1979. Ecología basada en zonas de vida. Editorial IICA. Serie: Libros y Materiales Educativos N° 34. San José. pp. 9.

INFOAGRO, 1998. <http://www.zulia.infoagro.info.ve/INFORMACION%20AGRO%20PRODUCCION/MAT/CPermanenteSemi.htm>. Consultada: 05-12-2006.

LAMBERTS, M. and J. CRANE. 1990. Tropical fruits. In J. Janick and J. E. Simon (eds), *Advences in new crops*. Timber Press, Portland, OR. pp. 337-355

MARTÍNEZ A., E. 1993. Efecto de la cera primafresh y el activol (ácido giberélico AG₃) en la postcosecha de la lima Tahití (*Citrus latifolia* T.) con fines de exportación. Tesis de grado. Maracay. Universidad Central de Venezuela. p. 66.

NORMA PC-012-2004. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, Bancomext y Secretaría de Economía. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad selecta en limón 'Persa'. México. p. 17.

PIÑA, G., L. RANGEL y M. ESPINOZA. 2005. Portainjertos para la producción de Lima 'Persa'. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias CENIAP HOY. Número 9. http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n9/arti/pina_g/arti/pina_g.Htm

PIRE, R., and E. ROJAS. 1999. Effects of drought stress and urea sprays on production of flower and vegetative buds of Tahiti lime. *Fruits*. 54:177-182.

PROYECTO VIFINEX 2000. Manual Técnico. Virus de la Tristeza de los cítricos en limón Pérsico. Proyecto regional de fortalecimiento de la vigilancia fitosanitaria en cultivos de exportación no tradicional (VIFINEX). República de China-Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). San Salvador. pp. 2.

QUIJADA, O., O. JIMÉNEZ, M. MATHEUS y E. MONTEVERDE. 2002. Evaluación del limero Tahití sobre 10 portainjertos en la planicie de Maracaibo. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 19:173-184.

SAMSON, J. 1991. *Fruticultura Tropical*. Editorial Limusa. México. p. 396.

SAS INSTITUTE, INC. 1999. *Sas OnlineDoc* ®, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc.

SOULE, J., W. GRIERSON and J. BLAIR. 1967. Quality test for citrus fruits. What every grower should know. Circular 315. Agricultural extension service. Institute of Food and Agricultural Science. University of Florida, Gainesville. Circular 315. p. 28.

TOURISM AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT OF TRINIDAD AND TOBAGO. 1997. XVth ACP-EU Meeting. Quality and Professionalism: The keys to competitive export. Imports of horticultural products in the European Union 1991-1995. Trinidad y Tobago.

VALBUENA, M. 1996. Evaluación del limón Volkameriano (*Citrus volkameriana* Pasq.) y mandarina Cleopatra (*Citrus reshi* Hort.) como patrones de la lima Persa (*Citrus latifolia* Tam.) en la cuenca media del río Guasare, Sierra de Perijá. estado Zulia. Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 13:139-151.

AGRONOMÍA TROPICAL

REVISTA DEL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
AGRÍCOLAS VENEZUELA

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

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

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

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

Manuscritos

Se requieren un original y tres copias legibles, mecanografiadas a doble espacio en papel blanco tamaño carta (28,0 x 21,5 cm), utilizando una sola cara con márgenes de 2 cm en la parte superior y 3 cm en los demás lados. Las páginas deben ser numeradas consecutivamente. La versión final del trabajo, en la cual se han acogido las observaciones de los revisores, deberá remitirse tanto en un original mecanografiado como 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^{do} 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, porque son relevantes, y la conclusión. Los entes biológicos y los suelos deben ser identificados por sus nombres científicos cuando son mencionados por primera vez en el resumen y en el summary y la primera vez que aparezcan en el cuerpo del trabajo, tanto en castellano como inglés, y no deben repetirse en el cuerpo del artículo.

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

Introducción. Debe estar formada por una breve referencia de los antecedentes que motivaron a la realización del trabajo; igualmente 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 asteriscos se usarán para mostrar el nivel de significancia estadística de 0,05 (*), 0,01 (**) y 0,001 (***); los asteriscos deben ir acompañados del nombre de la prueba estadística realizada. Para otras llamadas deberán utilizarse otros símbolos. El título del cuadro debe ser concreto y expresar el contenido del mismo.

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 Harvard Graphic o Excel, adjuntando la información con la cual se elabora la figura, de tal manera que cuando se requiere pueda ser modificada en la oficina de edición de la revista. No use innecesariamente 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 m)	
decímetro,	dm	
centímetro,	cm (10^{-2} m)	
milímetro,	mm (10^{-3} m)	
micra	m	
micromilímetro,	mm (10^{-6} m),	microm
nanómetro,	nm (10^{-9} m),	Angstrom
metro cuadrado,	m ²	
hectárea,	ha	
metro cúbico,	m ³	
litro,	l	
gramo,	g	
kilogramo,	kg	
tonelada,	t	
mega gramo,	Mg,	
miligramo,	mg (10^{-3} g)	
microgramo,	µg (10^{-6} g)	
nanogramo,	ng (10^{-9} g)	
kilogramo/hectárea,	kg ha ⁻¹	
toneladas/hectárea,	t ha ⁻¹	
megapascal,	M Pa,	bar
grado Celsius,	°C	
grado Joule,	J,	caloría
grado Kelvin	°K	
centimole por kilogramo,	c mol kg ⁻¹ ,	meq por 100g
gramo por kilogramo,	g kg ⁻¹	
miligramo por kilogramo,	mg kg ⁻¹ ,	ppm
metro sobre el nivel del mar	m.s.n.m.	

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

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

Los manuscritos deben ser enviados al Editor de **Agromonía Tropical**, INIA, Apdo. 2103, Maracay 2101, estado Aragua, Venezuela, acompañados de una comunicación en la cual se señale el autor a quien 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 y Nury Castillo
Impresión: Juan Salas y Eliseo Ureña

Impreso en el Taller Gráfico del INIA
Maracay, estado Aragua, Venezuela
Febrero 2007

