Gobierno Bolivariano de Venezuela
Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras
INIA Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas
Venezuela AHORA ES DE TODOS

Agronomía Tropical

Agronomía Tropical
Agronomía Tropical
Agronomía Tropical
Agronomía Tropical

ISSN: 0002 - 192X
AÑO 59 VOL. 59 No. 3 2009

AGRONOMÍA TROPICAL

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

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

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

INDIZACIÓN

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

SUSCRIPCIÓN

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

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

DIRECCIÓN

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

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

Agronomía Trop. / Vol. 59 / N°3 / Julio-Septiembre 2009/ISSN 0002-192X

AGRONOMÍA TROPICAL

Agronomía Trop

Revista trimestral del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas
Maracay, Venezuela

www.agrotrop@inia.gob.ve

AUTORIDADES INIA

Dr. Yván Gil
PRESIDENTE

Dr. Orlando Moreno
GERENTE GENERAL

Dr. Luis Dickson
GERENTE DE INVESTIGACIÓN

Dr. David Díaz
GERENTE DE SERVICIOS Y PRODUCCIÓN SOCIAL

FUNDADORES

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

COORDINACIÓN EDITORIAL REVISTA AGRONOMÍA TROPICAL

Milagros Fernández
EDITOR JEFE

Mónica González
EDITOR ASISTENTE

Zulay Melo
BACHILLER I

Carmen E. Sólorzano
BACHILLER I

EDITORES ASOCIADOS

Dra. Rosemary Warnock, UCV
Producción Vegetal

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

Dra. Judith Zambrano, ULA-Trujillo
Frutales

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

Dra. Beatriz Lozada, INIA- Táchira
Agrometeorología

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

COMITÉ EDITORIAL

Milagros Fernández
María González
Félix San Vicente
Klaus Jaffé

CONSEJO DE REDACCIÓN

José San José. IVIC. Caracas
Gustavo Trujillo. UCV. Fac. de Agronomía
María A. Sobrado. USB. Caracas
José Pérez Roa. CIDIAT. Mérida
Jean Marie Hétier. ORSTOM. Francia
Eduardo Casanova. UCV. Fac. de Agronomía
Jorge Salas. INIA. CIAE Lara
Eva García. UCV. Fac. de Agronomía
Luis Avilán. INIA. CENIAP. Maracay
Guillermo H. Eyherabide. INIA. Argentina
Gloria I. Puerta. CINECAFÉ. Colombia
Jon Lizaso. Iowa State University
Gustavo Yépez. SYNGENIA. Guatemala
María L. Izaguirre. IVIC. Caracas
Inés Pino. Comisión Chile. Energía Nuclear
Yolanda Guevara. INIA. CENIAP. Maracay
Raúl Mosqueda Vásquez. INIFAP. México
Alfredo Layrisse. UCV. Fac. de Agronomía
Juan Comerma. PALMAVEN. Carabobo
David Beck. CIMMYT. México
Zaida Lentini. CIAT. Colombia
Graciano Elizalde. UCV. Fac. de Agronomía
Marisol Castrillo. USB. Caracas
José Barreiro Méndez. USB. Caracas
Juan Blanquer. Univ. Politec. Valencia. España
Ramón Rossel. Univ. Nac. del Sur. Argentina
Lelys Bravo. USB. Caracas
Berto Arias. INIA. CIAE Monagas
María Juana Pérez. INIA. CENIAP. Maracay
Segundo Urquiaga. EMBRAPA. Brasil

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

AGRONOMÍA TROPICAL

Vol. 59 - 2009 Julio-Septiembre Nº 3

ISSN 0002-192X Depósito Legal pp 195102AR73

TABLA DE CONTENIDO

Trabajo Especial **Pág.**

SEGOVIA, V. y Y. ALFARO. El maíz: Un rubro estratégico para la soberanía agroalimentaria de los venezolanos..... **237**
The maize: A strategic crop for food sovereignty of venezuelan people.

Artículos:

SEVILLA L., V. A., J. A. COMERMA G. y O. SILVA. Caracterización de la cuenca del río Canoabo en el estado Carabobo, Venezuela. III. La erosión de los suelos..... **249**
Characterization of the river basin Canoabo in the Carabobo State, Venezuela. IIII. The erosion of grounds.

SEVILLA L., V. A. y J. A. COMERMA G. Caracterización de la cuenca del río Canoabo en el estado Carabobo, Venezuela. IV. Zonificación agroecológica..... **265**
Characterization of the river basin Canoabo in the Carabobo State, Venezuela. IV. Agro-ecological zoning.

QUIJADA R., O., B. HERRERO V., R. GONZÁLEZ, A. CASANOVA y R. CAMACHO. Influencia de la poda y de la aplicación de nitrato potásico y tiosulfato potásico sobre el mango en Maracaibo, Venezuela. I. Floración..... **275**
Influence of the pruning and potassium nitrate and potasium tiosulphate application over the handle in Maracaibo. Venezuela. I. Flowering.

QUIJADA R., O., B. HERRERO V., R. GONZÁLEZ, A. CASANOVA y R. CAMACHO. Influencia de la poda y de la aplicación de nitrato potásico y tiosulfato potásico sobre el mango en Maracaibo, Venezuela. II. Producción e índices de eficiencia productiva..... **289**
Influence of the pruning and potassium nitrate and potassium tiosulphate application over the handle in Maracaibo, Venezuela. II. Production and efficiency index.

GARCÍA, A. y E. PACHECO. Hidrólisis enzimática *in vitro* y microspia electrónica de la harina horneada y extruidida de Arracacha..... **297**
In vitro enzymatic hydrolysis and electronic microscopy of the baked and extruded Arracacha flour.

SÁNCHEZ GÓMEZ, T. M. Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros..... **309**
Microbial characterization of the composting process from sugar waste.

HERNÁNDEZ F., J. B., N. SANABRIA, G. BLANCO, B. LINARES, M. MILLA y A. PÉREZ. Predicción de sigatoka negra en el 'plátano Hartón' bajo condiciones de fertilización del suelo en el municipio Veroes del estado Yaracuy, Venezuela..... **317**
Prediction of black sigatoka on 'Harton Plantain' under conditions of soil fertilization in the municipality of Veroes of Yaracuy State, Venezuela.

Artículos: **Pág.**

ACEVEDO BARONA, M. A., J. M. COLOMBARI FILHO E I. O. GERALDI. Utilización del diseño TTC para detectar epistasis en soya..... **323**
Use of the diseñ TTC to detect epistasis in soybean.

DAIUTO, É. R., R. LOPES VIETES, D. FERNANDES VILEIGAS e C. N. HIGASHI MYAKE. Avaliaçã da coloação, teor de fenois e atividade da peroxidase no guacamole corservado pelo frio..... **331**
Evaluation of the coloration, phenols content and peroxidase activity in guacamole conserved by the cold.

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, M. de J., A. ALONSO LÓPEZ, F. OSORIO-ACOSTA, F. GALLARDO, H. LÓPEZ MOCTEZUMA y M. MATA ROSAS. Evaluación de diferentes fuentes de carbohidratos y medios de soporte, para la multiplicación *in vitro* de portainjertos de cítricos tolerantes a la tristeza..... **343**
Evaluation of different sources of carbohydrates and medium of support for the *in vitro* multiplication of rootstock tolerant to citrus tristeza virus.

Instrucciones a los Autores

TRABAJO ESPECIAL

EL MAÍZ: UN RUBRO ESTRATÉGICO PARA LA SOBERANÍA AGROALIMENTARIA DE LOS VENEZOLANOS

THE MAIZE: A STRATEGIC CROP FOR FOOD SOVEREIGNTY OF VENEZUELAN PEOPLE

Víctor F. Segovia S.* y Yanely J. Alfaro J.*

*Investigador jubilado e Investigadora, respectivamente. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (INIA-CENIAP). E-mail: yalfaro@inia.gob.ve, vsegovia@inia.gob.ve.

CONOCIENDO LA HISTORIA DEL MAÍZ VENEZOLANO

La historia del territorio venezolano no comienza en Macuro, punto geográfico al que llegó Colón en su tercer viaje durante 1498, ella parte desde los inicios mismos del poblamiento y significa la consideración de al menos 25 000 años, al incluir en la historia la presencia del *Homo sapiens* en Venezuela (Strauss, 1992).

Cuatro períodos de poblamiento y dos grandes ejes migratorios influyeron en la conformación socio cultural y productiva del territorio. Una tricotomía cultural fue considerada en la agricultura, teniendo a la yuca y al maíz, *Zea mays* como los dos grandes productos agrícolas del oriente y occidente de Venezuela, a los cuales se le agregaría la papa en el sector alto de los andes.

La transición de una cultura predadora de caza y pesca a un tipo de organización más compleja y estable estuvo determinada por la introducción de la agricultura a través de la etnia Arawak (Strauss, 1992).

Ese cambio en el patrón cultural y demográfico estuvo determinado por la aparición del maíz, esto se infiere por la presencia de manos y piedras de moler. Las evidencias más antiguas en Venezuela ubican el maíz en Parmana, en el margen norte del Orinoco (Mangelsdorf y Sanoja, 1965; Galinat, 1971; Van der Merwe *et al*., 1981). Mangelsdorf y Sanoja (1965), también señalaron la presencia de restos arqueológicos de maíz en un sitio conocido como el Tiestal en el estado Lara, donde se encontraron fragmentos de mazorcas y granos identificados como una forma temprana de la raza pollo. Estos restos de maíz carbonizados aparecen inicialmente en la fase Corozal (800 años a. c. a 400 d. c.), continuando a través de la fase Camoruco (400 a 1 500 d. c.). La presencia de esta especie en la dieta de los pueblos prehispánicos del territorio venezolano es la explicación de la modificación de sociedades primitivas muy simples a organizaciones sociales más complejas.

El maíz fue domesticado hace aproximadamente 8 000 años en Mesoamérica (México y Guatemala). El ecosistema donde se desarrollaron los primeros tipos de maíces fue estacional (inviernos secos alternados con veranos lluviosos) y una altura de más de 1 500 m.s.n.m.; estas características también describen el área principal ocupada por los parientes más cercanos del maíz, el teocintle (*Zea mays* L. ssp. mexicana) y el género Tripsacum (*Zea mexicana* Schrader Kuntze). Al contrario del trigo (*Triticum aestivum* L.) y el arroz (*Oryza sativa* L.), el maíz ha dejado un rastro oscurecido por su complejidad, ya que no existen formas intermedias vivientes entre el maíz silvestre y las 50 variedades de maíz que han evolucionado bajo la selección agrícola en México (McClintock *et al*., 1981), las cuales en muchos casos aún son cultivadas allí.

El teocintle es universalmente reconocido por ser el pariente más cercano del maíz; sin embargo, lo que está poco claro es la exacta relación entre los dos. Las teorías que tienen que ver con el papel del teocintle en el origen del maíz varían de acuerdo a como se interpreta la evidencia existente. Muchos investigadores concuerdan que cualquier construcción del origen del maíz debe por lo menos contar con el teocintle. Todos reconocen que el teocintle ha contribuido significativamente a la diversidad de variedades así como a la naturaleza heterótica del maíz domesticado. El maíz de Venezuela se origina de introducciones antiguas que tienen conexión con las razas mexicanas y centro americanas Nal-Tel, Zapalote Chico, Tepecintle y Salvadoreño (McClintock *et al*., 1981).

RECIBIDO: mayo 08, 2009

ACEPTADO: julio 06, 2009

La Venezuela del contacto euro americano estaba poblada en su mayor parte por grupos caribes y arawakos (Figura 1). Para ese momento, el maíz era la principal fuente de subsistencia y constituía el alimento básico, desempeñaba un papel predominante en las creencias y ceremonias religiosas como elemento decorativo de cerámicas, siendo además motivo de leyendas y tradiciones que resaltan la importancia económica, agrícola y social de su cultivo. El maíz era considerado casi como un Dios, rindiéndole culto y siendo objeto del folklore y ritos religiosos que aún perduran en el gentilicio venezolano.

Los cronistas de la época de la conquista y colonización española, informan la existencia de maíces de 3 y 4 formas y colores, los cuales eran cultivados por las etnias del valle del río Barquisimeto (Oviedos, 1824). Gumilla (1791) en su obra "El Orinoco Ilustrado y Defendido", habla sobre la existencia de una singular especie de maíz que plantaron los Otomacos, Guamos y Paos, al cual llaman Onona o maíz de los 2 meses. Actualmente, este maíz es conocido como Aragüito, el cual forma parte de los 19 complejos germoplásmicos de Venezuela, descritos por Grant *et al*. (1965). En estos complejos se cuenta con 1 164 entradas o muestras de maíz que se conservan en el banco de germoplasma del INIA-CENIAP, Venezuela (Segovia *et al*., 2003).

DE LAS RAZAS DE MAÍZ A LOS CULTIVARES MEJORADOS

En todo el período colonial hasta mediados de la década del 40 del siglo XX, se plantaban todos los tipos de maíces descritos por Grant *et al*. (1965) en el territorio nacional (Figura 2), siendo parte importante de la producción y de la dieta de los venezolanos.

La modernización del cultivo del maíz comienza a partir del año 1939, con la incorporación de cultivares mejorados desarrollados por investigadores del rubro. El germoplasma base para el desarrollo de las nuevas variedades e híbridos provino de esos cultivares locales y del intercambio de líneas con Colombia, México, América Central y el Caribe.

De todo el material introducido y colectado, el germoplasma que ha sido más utilizado tanto en Venezuela como en el Caribe es el proveniente de las variedades de la raza Tuxpeño, la Cubano Amarillo y la variedad ETO.

Fuente: Strauss, 1992.

FIGURA 1. Familias lingüisticas de Venezuela.

FIGURA 2. Complejos germoplásmicos de maíz de Venezuela.

El programa de mejoramiento genético del maíz en Venezuela se inició en el año 1939, bajo la dirección del Departamento de Genética del Instituto Experimental de Agricultura y Zootecnia, dependencia del Ministerio de Agricultura y Cría (MAC), situada en la Hacienda El Valle, Distrito Federal. En las décadas del 40 y del 50 son obtenidas las primeras variedades de polinización abierta y se inicia la producción de semilla de las variedades Venezuela 1 grano amarillo y Venezuela 3 grano blanco (Figura 3), bajo la dirección del investigador Langham; Sicarigua y Sicarigua mejorado" de grano blanco y Pajimaca de grano amarillo dulce, bajo la dirección del investigador Obregón (Agudelo, 1976).

El desarrollo de híbridos se inicia en la década del 50, cuando son puestos en el mercado de semillas los primeros híbridos de 3 líneas, Guaicaipuro, Mara y Tiuna (Obregón, 1959). En ese mismo período se inicia la evaluación regional de cultivares de maíz, las cuales han continuado hasta la fecha (Segovia y Alfaro, 2002). Durante las décadas del 60 y 70 (Figura 3) son liberados comercialmente los primeros híbridos dobles o de 4 líneas, donde destaca el híbrido Obregón y el Arichuna (Obregón, 1970), desarrollados por el Centro de Investigaciones Agronómicas del MAC. La selección masal continuó usándose en el mejoramiento de variedades, destacando el trabajo realizado en la variedad "Antigua grupo 2" y la variedad Criollo de Falcón (Vega y Agudelo, 1972)

Hasta finales de la década del 50, la producción de maíz estaba distribuida en todo el territorio nacional, siendo los estados de mayor concentración de la producción: Guárico, Portuguesa, Zulia, Falcón, Anzoátegui y Trujillo; no obstante, el aporte porcentual de cada uno de estos estados no pasaba del 15 por ciento. En la década del 60 se inicia el "Plan del Maíz", donde se incorpora definitivamente el uso de la semilla mejorada, prácticas de fertilización y mecanización en la producción del cultivo; sin embargo, la dispersión de la producción continúa y los aportes porcentuales a la superficie cosechada de cada estado aún no pasan del 15 por ciento.

Década del 40 **Década del 70** **Inicios del siglo XXI**

FIGURA 3. Cambios en la arquitectura de la planta del maíz durante siete décadas de mejoramiento genético de maíz en Venezuela.

El proceso de adopción de la tecnología fue lento, pero, consistente y es en las décadas del 70 y el 80 cuando se percibe el cambio en lo que respecta al uso de las tecnologías y la concentración de la superficie cosechada en los estados llaneros (Guárico, Portuguesa y Barinas); los estados Zulia, Trujillo y Falcón son desplazados como estados productores de maíz. Esta situación se mantiene similar hasta la fecha actual, adicionándose los estados Yaracuy y Bolívar.

Al revisar las estadísticas agropecuarias de superficie cosechada, producción y rendimiento, se observa que en el año 1958 la superficie cosechada fue de 297 491 hectáreas, para una producción de 357 614 t y un rendimiento 1 200 kg ha^{-1}; en el año 2005 la superficie cosechada alcanzó la cifra de 640 066 hectáreas, la producción llegó a 2 200 000 t y el rendimiento a 3 300 kg ha^{-1}. Los cambios significativos en esta serie en lo que respecta a rendimiento se ubican en los siguientes años: en 1988 con 1925 kg ha^{-1}, en 1994 con 2 999 kg ha^{-1} y en el año 2000 con 3 500 kg ha^{-1} (MAC-MAT, 2003; FEDEAGRO, 2009).

En el quinquenio de 1983-1987 se presentó una expansión de la superficie cosechada, además de un incremento de los rendimientos. Es en este período cuando se incorporan nuevos genotipos, tanto del sector público como del sector privado, donde destacó el híbrido CENIAP PB-8 (Bejarano *et al*., 1984), el cual significó un cambio cualitativo y cuantitativo en lo que respecta a producción de semilla, producción de grano y eficiencia molinera. Este híbrido abarcó aproximadamente el 80% de la superficie nacional cosechada (Segovia *et al*., 1990).

Para 1988 todo el acervo científico-tecnológico disponible se incorpora a la producción moderna del maíz, con la inclusión de híbridos del sector público, privado nacional y transnacional. Adicionalmente, las asociaciones de productores formadas en los estados Portuguesa, Guárico y Bolívar comienzan a jugar un papel importante en la organización y gestión de la producción. Es en este mismo año cuando se inicia la apertura comercial agrícola, trayendo como consecuencia la ampliación de la oferta de material híbrido proveniente de las transnacionales, todo ello tuvo repercusión en los años sucesivos.

IMPORTANCIA DEL MAÍZ EN LA ALIMENTACIÓN DEL VENEZOLANO

El maíz es el cultivo más importante del sector agrícola vegetal en Venezuela y ha sido considerado como un rubro estratégico, dada su importancia en la dieta diaria del venezolano (Figura 4), con un aporte proteico de 6,5 gramos/persona/día y aporte calórico de 316 calorías

/persona/día (FEDEAGRO, 2009; BOLPRIAVEN, 2008) además de constituir una fuente generadora de empleos, debido al gran número de personas que lo cultivan a través de casi toda la geografía nacional.

En la actualidad, más del 85% de la producción nacional corresponde a maíz de grano blanco semi duro, utilizado en un 80% por la industria de molienda seca en la elaboración de harinas precocidas, el restante se emplea en las empresas procesadoras de maíz pilado y para el consumo fresco. El maíz amarillo sólo representa entre el 10 y 15% de la producción (Alfaro *et al*., 2004) y se destina a la industria de alimentos balanceados para animales y al consumo fresco, como jojotos y para la elaboración de cachapas.

Un volumen importante del maíz amarillo que se importa desde USA, es utilizado por la industria de alimentos balanceados, donde la coloración amarillo intenso en las carnes y huevos de las aves proviene del mayor contenido de xantofilas y betacarotenos que tiene el maíz amarillo, asociado con un mayor contenido de vitamina A. Mientras que en la molienda húmeda, donde se utiliza el maíz amarillo tipo dentado, se genera una gran cantidad de subproductos utilizados en la manufactura de productos industriales y alimenticios, los cuales incluyen: aceite de maíz, productos de panificación, salsas, saborizantes, espesantes, edulcorantes y alimentos para el desayuno, entre otros (Alfaro *et al*., 2004; Mendez, 2006).

Aunque la modernización de la agricultura trajo como consecuencia la utilización de cultivares mejorados, todavía se cultivan en algunas regiones del país el maíz tipo cariaco, con los cuales se elaboran productos artesanales de la dulcería criolla, como el pan de horno y la harina para preparar el "fororo". Del maíz dulce se comercializan sus granos en enlatados y el jojoto, el cual también es utilizado en la dulcería criolla para la elaboración de tortas y quesillos. Por otro lado, del maíz "reventón" se comercializa el grano para la elaboración de la popular "cotufa".

PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DEL MAÍZ

La producción mundial de cereales en el año 2008 superó en un 6,6% a la producción del año 2007, con una cifra record de 2 272 millones de toneladas de cereales (FAO, 2009). Debido a ello, los precios de los productos básicos comenzaron a bajar, aunque también a causa del enfriamiento de la economía mundial. Esta situación podría conllevar a una disminución en la superficie de siembra de los cereales y menores cosechas en los principales países exportadores para el año 2009; si esto se combina con que las reservas de cereales menores, que incluye al maíz, continúan siendo bajas, podría venir un nuevo ciclo de precios altos para ese mismo año. El pronóstico actual indica que la utilización mundial de cereales en el 2008/09 alcanzará los 2 200 millones de toneladas, un 3,5% más que en el período 2007/08.

FIGURA 4. El maíz como rubro estratégico en la dieta diaria del venezolano.

Para el caso del maíz, en promedio, se producen anualmente a nivel mundial 600 millones de toneladas de maíz amarillo y 73 de maíz blanco. La producción de maíz en Venezuela experimentó un incremento del 89% en el período 1995-2005, con valores de 1 160 000 t y 2 200 000 t, respectivamente. Para el año 2007, la meta del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAT) fue alcanzar las 2 500 000 t, lo cual equivaldría a cosechar 750 000 hectáreas y un rendimiento de 3 300 kg ha^{-1}. El valor real reflejó la cosecha de 740 372 hectáreas, con un rendimiento de 3 472 kg ha^{-1} y una producción de 2 570 869 t.

Para este período se cuenta con nuevos cultivares con mayor potencial de rendimiento y mejor arquitectura de planta que contribuyen con la disminución de los problemas de volcamiento de plantas y pérdidas por pudrición. Esto permite que se enfoque la atención sobre las prácticas de distancias de siembra y épocas de siembra basadas en los registros climatológicos, lográndose el aumento de las densidades de siembra. Adicionalmente, hay un incentivo del estado hacia la producción de maíz, mediante la implantación de un programa de otorgamiento de créditos agrícolas, aunado a una política de restricción sobre las licencias de importación de maíz amarillo, todo lo cual repercute en el aumento de la producción nacional.

En relación a las importaciones de maíz, un hecho que hay que destacar es que para el maíz blanco éstas cesaron en el año 1998 como consecuencia del autoabastecimiento, mientras que las importaciones de maíz amarillo han venido disminuyendo a partir del año 2000, con una reducción significativa en el año 2006, donde sólo se importaron 25 000 t (FEDEAGRO, 2009), basados en la política que al respecto ha implantado el estado.

La superficie cosechada de maíz amarillo en el año 2005 estuvo en el orden de las 159 000 ha, con un rendimiento promedio nacional estimado en 3 305 kg ha^{-1}, para una producción de 525 495 t (FEDEAGRO, 2009). Si bien, hubo un incremento de la producción de maíz amarillo en el año 2005 (24% del volumen nacional), el mismo sólo permitió cubrir aproximadamente el 44% de la demanda tradicional de maíz amarillo. Debido a ello, se estima que para ese mismo año, cerca de 1 100 000 t de maíz blanco fueron destinados para la elaboración de alimentos balanceados, mientras que las 25 000 t importadas fueron utilizadas por la industria de molienda húmeda, lo cual implica que la reducción de las importaciones se debió básicamente a las restricciones en el otorgamiento de licencias de importación.

PRECIOS ACTUALES Y FUTUROS DEL MAÍZ

Los precios internacionales de maíz han estado influenciados este último año por los costos de los combustibles fósiles, el uso del maíz como biocombustible y más recientemente por la crisis financiera global. Si se revisa el informe diario de precios de contado de maíz en diversos mercados internacionales en dólares por tonelada ($/t), se observa que el maíz amarillo saliendo por el golfo de Louisiana se cotizaba el 18 de marzo de 2009 en 167,32 US$/t, el amarillo Nº 2 y blanco Nº 2 de Kansas City a 149,99 a 164,56 US$/t, respectivamente, el amarillo Nº 2 de exportación entregado en el Golfo de México a 167,12 US$/t y el amarillo de Texas a 153,93 US$/t.

Si se revisan los precios a futuros en dólares por tonelada ($/t), señalados por la bolsa de futuros de Chicago, se observa que para julio de 2009 se cotizará a 156,69 US$/t y en diciembre de 2010 a 170,46 US$/t. Por otra parte, el precio del maíz en Venezuela se ubicó en el año 2008 en 728 Bs./t, equivalente a 338,6 US$/t. Esta situación amerita en el país la planificación de mayor cantidad de superficie a sembrar, para garantizar el suministro oportuno y eficiente de maíz blanco y amarillo. Para ello, es importante la implantación de un plan de producción de semilla que integre la producción del sector público y el sector privado nacional para garantizar el flujo constante de los nuevos genotipos generados por ambos sectores.

OFERTA Y DEMANDA DE MAÍZ

De acuerdo al inventario de disponibilidad de semilla certificada llevado por el Servicio Nacional de Semillas (SENASEM; 2009), hasta el mes de marzo se disponía de 13 068 723 kg de semilla nacional proveniente de cultivares de maíz blanco del sector privado y oficial y 872 997 kg de semilla importada de cultivares de maíz blanco provenientes de empresas transnacionales, para una disponibilidad total de 13 941 720 kg de semilla certificada. Asumiendo una tasa de siembra de 20 kg ha^{-1}, dicha semilla permite cubrir un área de siembra de 697 086 hectáreas, lo cual supera el área promedio sembrada anualmente con maíz blanco en todo el país.

Para el caso del maíz amarillo, el inventario reflejaba la existencia de 6 944 280 kg de semilla nacional, correspondiente a cultivares del sector privado y oficial y 585 283 kg de semilla importada correspondiente a cultivares de maíz amarillo de empresas transnacionales. Ello representa un total de 7 529 563 kg de semilla, la

cual alcanzaría para sembrar 376 478 ha, asumiendo la misma tasa de siembra de 20 kg ha^{-1} y si se considera un rendimiento promedio de 3 300 kg ha^{-1}, se obtendría una producción de 1 242 377 toneladas de grano de maíz amarillo, valor superior al promedio de importación anual de este rubro, sin tomar en cuenta los estándares de calidad requeridos para la molienda húmeda, en cuanto a tipo de grano y contenido de almidón.

Al analizar los datos de superficie cosechada de maíz, producción de semilla y coeficiente de autoabastecimiento con semilla producida a nivel nacional, se evidencia lo siguiente: en el año 1986 el coeficiente de autoabastecimiento de semilla de maíz fue del 79%, en 1988 de 109%, en 1999 de 68%, en el año 2000 del 48% y en el 2007 fue de 104%. En los casos donde no hubo autoabastecimiento total pudo haber ocurrido la importación de semilla o el uso de material que no era semilla certificada.

Para el año 2009, las cifras del inventario del SENASEM revelan que existe suficiente semilla para abordar el Plan Nacional de Siembra diseñado por el MPPAT. Sin embargo, es necesario destacar lo siguiente: de acuerdo con estos datos, existe una brecha en la producción nacional que está siendo cubierta con semilla importada y esta brecha puede ser mayor a lo deducido de estas cifras si se toma en cuenta que los productores empresariales están exigiendo sembrar con semilla proveniente de las transnacionales por la alta tecnología (genética y de semilla) incorporada a esos híbridos. Es imperativo que el estado destine recursos presupuestarios y financieros suficientes y oportuno a los programas de mejoramiento genético del sector oficial e incentive a las empresas nacionales a desarrollar cultivares de maíz, así como la producción de semilla de alta calidad, que sean competitivas con la semilla de las transnacionales. Asimismo, que el SENASEM cuente con suficiente personal para efectuar los inventarios de semilla y llevar registros que reflejen a cabalidad la situación de la oferta de la semilla de maíz.

En relación al precio del maíz blanco y amarillo a nivel nacional se presenta la siguiente situación: la aplicación de las políticas restrictivas en materia de importación de maíz amarillo derivaron en el incremento de la superficie cosechada de este rubro y una disminución en la superficie cosechada de maíz blanco, el maíz amarillo se utiliza primordialmente en la elaboración de alimentos balanceados (ABA) y estos productos no están regulados, mientras que el maíz blanco se utiliza primordialmente en la elaboración de harinas precocidas cuyo precio está regulado. El gobierno estableció precios diferenciales, de 820 Bs/t de maíz blanco y 800 Bs/t de maíz amarillo para la cosecha del año 2009. Las asociaciones de productores estiman que los precios de equilibrio serían de 900 Bs/t para el maíz amarillo y de 1 000 Bs/t para el maíz blanco. El hecho es que si se presentara un déficit en la producción de maíz amarillo, se resolvería con la importación de este tipo de maíz, en cambio, para el maíz blanco sería difícil encontrar en el mercado internacional suplidores de este producto por cuanto las cantidades que se producen y comercializan no llegan a los 100 millones de toneladas.

EVALUACIÓN DE CULTIVARES Y TENDENCIA ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN

Desde el año 1971 se vienen realizando los ensayos regionales uniformes (ERUs) de maíz del SENASEM para evaluar el comportamiento agronómico y de producción de los nuevos cultivares de maíz que se vienen desarrollando en los distintos programas de mejoramiento genético del sector oficial y privado. Hasta el año 2008 se acumulaban 38 años de evaluación en 545 localidades del país. A lo largo de estos años han sido evaluados 242 variedades, 33 compuestos intervarietales, 48 variedades sintéticas y 937 híbridos, para un total de 1 260 cultivares (Segovia *et al*., 2007).

Por mucho tiempo el programa de mejoramiento de maíz del INIA-CENIAP estuvo dirigido hacia la obtención y producción de híbridos dobles de granos blancos semi duros para ser utilizados en los procesos de elaboración de harinas precocidas (Alfaro y Segovia, 2007). La demanda nacional de maíz amarillo (655 661 t), promedio de los últimos 10 años (FEDEAGRO, 2009), viene siendo suplida a través de la importación de maíz amarillo dentado tipo 2 de USA, este tipo de maíz se utiliza para la elaboración de alimentos balanceados y en la agroindustria de molienda húmeda que produce almidones, maltodextrinas, glucosa, entre otros. En la formulación de alimentos balanceados y en el enriquecimiento de harinas se utilizan aminoácidos esenciales, como lisina y triptofano, que tienen que ser importados de los países industrializados.

Recientemente, en el INIA-CENIAP han sido desarrollados 5 nuevos cultivares de maíz (Figuras 5a y b) que contribuirán a atender las necesidades de la agroindustria de este rubro en el país: 1) variedades de maíz INIA SQ-1 e INIA SQ-2, híbrido INIA QPM-2 (San Vicente *et al*., 2005), todos de grano blanco y alta calidad de proteína, ideales para la elaboración de harinas

precocidas naturalmente enriquecidas y alimentos balanceados; 2) híbrido simple de grano amarillo INIA 21, con alto contenido de almidón y pro vitamina A (Alfaro y Segovia, 2009), ideal para la producción de almidones industriales y elaboración de alimentos balanceados y 3) híbrido simple INIA 68 (Figura 5a, de grano blanco duro, ideal para la producción de harinas precocidas, el cual se encuentra en proceso de solicitud del cerificado de elegibilidad ante el SENASEM. Adicionalmente, se cuenta con otro híbrido de maíz amarillo (INIA 45; Figura 5b), del cual se espera solicitar elegibilidad ante el SENASEM, debido a que fue seleccionado específicamente para la molienda húmeda por su grano dentado y alto contenido de almidón.

De estos nuevos cultivares, las variedades INIA SQ-1 e INIA SQ-2 (Figura 5b) representan un aporte sustancial en el ámbito social en lo referente al compromiso institucional de atender los pequeños y medianos productores, pudiendo ellos producir su propia semilla bajo el esquema de semilla artesanal; adicionalmente, el valor biológico de la proteína producida por estas variedades, así como la del híbrido QPM-2, contribuiría a corregir el déficit nutricional actual de la población venezolana, las harinas precocidas enriquecidas por vía genética con proteína de alta calidad podrían incorporarse a los sistemas de comercialización masivos que implementa el estado venezolano. Adicionalmente, la utilización de este tipo de maíces en la formulación de alimentos balanceados para animales monogástricos permitiría disminuir la utilización y compra de aminoácidos desde los países industrializados.

A finales del año 2004, el estado venezolano diseñó un plan para desarrollar la infraestructura y la logística para la producción nacional de semilla, donde el maíz fue considerado un rubro estratégico. En esta nueva política, se hizo énfasis en la producción de semilla de maíz amarillo para disminuir las importaciones del rubro, así como en las variedades con miras a atender a los pequeños productores, incorporándolos a este plan como nuevos actores semilleristas. Bajo este Plan, se ha venido incrementando la semilla de 2 cultivares de grano amarillo de amplia adaptación nacional y buen rendimiento, el híbrido simple FONAIAP 1 y la variedad CENIAP DMR.

A partir de ese mismo año (2004), comienza a aumentar el número de cultivares de maíz amarillo evaluados en los ensayos regionales, llegando a sobrepasar al número de cultivares de maíz blanco evaluados a partir del año 2006. Si bien ha habido una ligera tendencia de un mayor rendimiento de los híbridos amarillos respecto a los blancos, en promedio, el rendimiento experimental fue similar en los últimos 10 años, con 6 706 y 6 851 kg ha^{-1} para maíz blanco y amarillo, respectivamente (ver Cuadro). No obstante, el rendimiento promedio nacional para el mismo período fue de 3 291 kg ha^{-1}, lo cual implica una baja utilización del potencial genético de los cultivares, asociado a una lenta adopción de la tecnología generada. Esta situación ha venido ocurriendo a lo largo de la historia de la producción moderna de maíz en Venezuela, debido a la carencia de una política de desarrollo y seguimiento de los productos genéticos desarrollados tanto por el sector público como privado nacional.

Híbrido simple INIA 21

Híbrido simple INIA 68

FIGURA 5a. Nuevos cultivares de maíz desarrollados en el INIA-CENIAP.

FIGURA 5b. Aspecto de las mazorcas de los cultivares de maíz de grano blanco y alta calidad de proteínas (INIA SQ-1, INIA SQ-2 e INIA QPM-2) y de grano amarillo (INIA 45) con alto contenido de almidón y pro vitamina A.

CUADRO. Número de híbridos de maíz amarillo y blanco evaluados en los ensayos regionales durante los años 1999–2008, comparación del rendimiento promedio nacional y el experimental obtenidos en estos ensayos.

Año	Nº de híbridos		Rendimiento promedio experimental (kg ha^{-1}) Blanco			Amarillo			Rendimiento promedio nacional (kg ha^{-1})
	Blanco	Amarillo	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	
1999	29	18	8 190	6 678	**7 297**	8 695	6 161	**7 350**	3 132
2000	31	8	7 948	4 895	**6 552**	8 192	6 153	**7 208**	3 500
2001	28	11	7 454	5 582	**6 445**	6 608	4 895	**5 734**	3 449
2002	31	10	7 785	5 424	**6 766**	8 602	5 734	**6 947**	3 111
2003	23	10	7 980	5 921	**6 705**	8 389	6 144	**7 125**	3 433
2004	30	20	7 918	5 385	**6 681**	8 418	6 452	**7 205**	3 450
2005	26	26	7 267	5 470	**6 326**	7 160	5 004	**6 017**	3 262
2006	19	20	7 296	5 050	**6 243**	8 517	5 780	**7 028**	3 334
2007	17	25	8 379	6 710	**7 376**	8 042	6 093	**7 276**	3 472
2008	18	27	7 376	5 992	**6 664**	7 905	5 530	**6 619**	No disponible
Media General			7 759	5 711	**6 706**	8 053	5 795	**6 851**	**3 291**

Fuente: Cabrera y García (1997 – 2004); SENASEM (2005 – 2008). Ensayos Regionales Uniformes de maíz. FEDEAGRO (2009; rendimiento promedio nacional).

CONCLUSIONES

- La firme política del estado para reducir las importaciones de maíz amarillo ha alertado a los agricultores para producir este tipo de maíz, lo que ha implicado un incremento del énfasis del mejoramiento genético en maíz amarillo en el sector oficial, pero también un incremento en las importaciones de semilla de este rubro, producto de los resultados de las evaluaciones de un número mayor de cultivares de maíz amarillo en los ERUs del SENASEM. Sin tomar en cuenta las características de contenido de almidón y tipo de grano dentado requerido para la molienda húmeda, el inventario actual de semilla es suficiente para satisfacer la demanda nacional de los dos sectores industriales que utilizan este maíz en el país.

- Aunque más del 90% de la superficie que se siembra con maíz en Venezuela corresponde a cultivares híbridos, el aporte actual que está haciendo el Plan Nacional de Semillas en maíz amarillo (15%, de acuerdo al inventario del SENASEM del año 2009) en su gran mayoría corresponde a semilla de la variedad CENIAP DMR. Por otro lado, el inventario del SENASEM no refleja la situación real sobre el volumen de semilla importada de maíz amarillo, si se tiene en cuenta que más del 80% de la superficie actual sembrada corresponde a cultivares de industrias transnacionales.

- Ante la nueva perspectiva agrícola del país, es perentorio garantizar los recursos presupuestarios y financieros para el sostenimiento en el tiempo del programa de mejoramiento genético del maíz, que permita garantizar el flujo continuo de cultivares. Igualmente, se requiere un proceso de valoración socio económica y tecnológica que permita la incorporación en el mercado productivo de los nuevos cultivares de maíz desarrollados en el INIA.

BIBLIOGRAFÍA

Agudelo L., C. 1976. Logros del mejoramiento del maíz en Venezuela. **In:** I Simposio Interinstitucional de Maíz y Sorgo. Maracay, Venezuela. 51 p.

Alfaro, Y. y V. Segovia. 2009. Formación, evaluación y descripción del híbrido simple de maíz amarillo INIA 21. En prensa.

Alfaro, Y., V. Segovia. 2007. Mejoramiento de maíces amarillos. **In:** Memorias del XIII Curso de Producción de Maíz. ASOPORTUGUESA (Ed.). Acarigua, Estado Portuguesa. Venezuela.

Alfaro, Y., V. Segovia, M. Mireles, P. Monasterios, G. Alejos y M. Pérez. 2004. El maíz amarillo para la molienda húmeda. CENIAP HOY. Nº 6. Septiembre – Diciembre.

Bejarano, A., V. Segovia, N. Rosales y H. Moreno. 1984. Formación, prueba y descripción del híbrido doble de maíz CENIAP PB – 8. Rev. Agronomía Trop. 34 (113):95-109.

Bolsa de Productos e Insumos Agropecuarios de Venezuela. C.A. (BOLPRIAVEN). 2008. Base de datos agroalimentaria de Venezuela. disponibilidad en http://www.bolpriaven.com. Fecha de acceso: 09 de diciembre de 2008.

Cabrera, S. y P. García. Ensayos regionales de maíz. 1997-2004. FONAIAP – INIA. Mimeografiado, sin notas editoriales.

FAO. 2009. Perspectivas de cosechas y situación alimentaría. Nº 1. Febrero 2009. Breve información sobre la situación mundial de la oferta y la demanda de cereales. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/011/ai480s/ai480s03.htm Fecha de acceso: 23 de marzo de 2009.

Galinat, W. C. 1971. The origin o f maize. Annual Review of Genetics 5: 447-478.

Grant, U. J., W. H. Hatheway, D. H. Timothy, C. Cassalett D. and L. M. Roberts. 1965. Razas de maíz en Venezuela. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario. Boletín Técnico Num. 1. Editorial ABC. 92 p.

Gumilla, J. 1791. El Orinoco Ilustrado y Defendido. Biblioteca de la Academía Nacional de la Historia. Caracas, Venezuela, 1963. pp. 524. (Serie: Fuentes para la Historia Colonial de Venezuela, N° 68).

Mangelsdorf, P. C. and M. Sanoja O. 1965. Early archaeological maize from Venezuela. Botanical Museum Leaflets 21, Harvard University. 105-112.

McClintock, B., T. Kato y A. Blumenschein. 1981. Constitución cromosómica de las razas de maíz. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 509 p.

Méndez C., D. E. 2006. Evaluación de la calidad del grano de doce (12) genotipos de maíz amarillo (*Zea mays* L.). Tesis de pregrado. Maracay. Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 99 p.

Ministerio de Agricultura y Tierras (MAT). 2003. Superficie cosechada, volumen de producción y rendimiento del rubro maíz en Venezuela. Dirección de Estadística Agropecuaria. Años 1958-2003.

Obregón G., P. 1959. Estado actual del mejoramiento del cultivo de maíz en Venezuela. **In:** III Convención Nacional de Ingenieros Agrónomos. Venezuela.

Obregón G., P. 1970. Formación y prueba del híbrido de maíz "Arichuna". Maracay. Ven. Revista Facultad de Agronomía. 6(1):5-16.

Oviedos, J. 1824. Historia de la conquista y población de la provincia de Venezuela. Reimpreso en Caracas. Imprenta Navas Spinola. Caracas, Venezuela. 615 p.

San Vicente, F., C. Marín y D. Díaz. 2005. Estabilidad del rendimiento y potencial agronómico de híbridos de maíz de alta calidad de proteína (QPM) en Venezuela. Agronomía Trop. 55(3):397-410.

Segovia, V. y Y. Alfaro. 2002. Cinco décadas de mejoramiento genético del maíz en el CENIAP. http://www.ceniap.geo.ve/pbd/congreso/jornadas/%20de%20maíz/6%20jornadas /congreso/segovia. Fecha de consulta: 04 de febrero de 2009.

Segovia, V., Alfaro, Y. y F. Fuenmayor. 2007. La oferta genética del maíz y la brecha de los rendimientos. **In:** Foro "Los productores de maíz, el MERCOSUR y la competitividad", IPAF, Acarigua, estado Portuguesa y Valle de la Pascua, estado Guárico, 22 y 24 de agosto de 2007, respectivamente.

Segovia, V., A. Bejarano, N. Rosales, D. Nuñez, J. Azuaje y T. Coelho. 1990. El retorno de la inversión en el mejoramiento genético. Caso híbrido CENIAP PB-8. **In:** XIV Reunión de maiceros de la zona Andina y I Reunión Sudamericana de maiceros. FONAIAP-CIMMYT. Maracay, Venezuela.

Segovia, V., F. Fuenmayor and Y. Alfaro. 2003. Report of Venezuela. **In:** S. Taba (Ed.), Latin American maize germplasm conservation: regeneration, *in situ* conservation, corn subsets, prebreeding. Proceedings of a workshop held at CIMMYT. April 7-10. Mexico. p. 68.

Servicio Nacional de Semillas (SENASEM). 2008. Ensayos regionales uniformes de maíz. 2005-2008. Mimeografiado, sin notas editoriales. 24 p.

Servicio Nacional de Semillas (SENASEM). 2009. Disponibilidad (Inventario) de semilla certificada de maíz blanco y amarillo en Venezuela. INIA. Marzo de 2009. Mimeografiado, sin notas editoriales. 5 p.

Strauss, R. 1992. El tiempo prehispánico de Venezuela. Edición de la Fundación Eugenio Mendoza. 40 aniversario. Caracas, Venezuela. 280 p.

Vega, U. y C. Agudelo. 1972. Selección masal estratificada para rendimiento en dos variedades de maíz. Agronomía Trop. 22(2):159-168.

Van der Merwe, N., A. Curtenis and J. Vogel. 1981. Isotopic evidence for prehistoric subsistence change at Parmana, Venezuela. Nature 292:536-538.

CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CANOABO EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA. III. LA EROSIÓN DE LOS SUELOS

CHARACTERIZATION OF THE RIVER BASIN CANOABO IN THE CARABOBO STATE, VENEZUELA. III. THE EROSION OF GROUNDS

Víctor A. Sevilla L.*, Juan A. Comerma G. y Oscar Silva*****

*Investigador. Pequiven. Gerencia Agroambiental. Morón, estado Carabobo. Venezuela. E-mail: victor.sevilla@pequiven.com
** Investigador jubilado. INIA. Email: fliacomermas@cantv.net
*** Profesor. UCV. Facultad de Agronomía. Maracay, estado Aragua. Venezuela. Email: osilva@agr.ucv.ve

RESUMEN

La cuenca del río Canoabo produce agua para un reservorio ubicado aguas abajo, así como de productos agrícolas para la población allí asentada. Debido a la tala, quema y usos de la tierra no conservacionistas sufre procesos de erosión de los suelos que afecta su sostenibilidad. Para el estudio de este proceso de degradación de tierras, se procedió a cartografiar la erosión actual en 50 sitios en campo y la información obtenida se extrapolo al resto del área utilizando un índice de vegetación. Para determinar los riesgos de erosión actual y potencial y su diferencial (delta), se uso la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en Inglés), con una serie de adaptaciones basadas en experiencias locales y nacionales. Los resultados muestran que la erosión actual es ligera en un 74%, moderada en un 13% y severa en 11% del área total de la cuenca. Las causas de esta degradación se relacionan principalmente con la ganadería extensiva en laderas, mientras que las áreas bajo bosque son las menos afectadas. En relación a los riesgos de erosión actual, los resultados mostraron que las áreas con alto riesgo corresponden con las que presentan una fuerte erosión en campo; sin embargo, en las zonas cubiertas con helechos, al dar una apariencia de buena cobertura vegetal en la imagen de satélite, enmascaran esta relación, dando valores bajos en el riesgo mas no así en la realidad de campo. En cuanto al riesgo de erosión potencial, al eliminar la vegetación, hay un fuerte riesgo de que aumente la perdida de suelo, pasando la topografía (altas pendientes) a ocupar el rol preponderante. El diferencial, indicador de impacto, muestra que el mayor cambio se presenta en el 30% de áreas boscosas, por lo que serian las zonas más frágiles.

Δ

Palabras Clave: Degradación de tierras; riesgos de erosión; cuenca hidrográfica.

SUMMARY

The Canoabo watershed produces water for a reservoir as well as agricultural products for its population. Due to deforestation and no conservationist land uses, erosion is affecting its sustainability. The study of the present erosion included a field evaluation of 50 sites which were extrapolated using a vegetation index. To establish the present and potential risks of erosion including (Δ delta), the USLE equation was used, including local and national adaptations. Results of the area studied showed that present erosion is 74% light, 13% moderate and 11% severe. Degradation is mostly due to inappropriate grazing in side slopes, while areas covered by forest are the less affected. Areas with high present risks of erosion coincide with field erosion, but not in areas with low risks, as the apparent dense cover by ferns seen in the satellite image mask the reality. By eliminating the vegetation the potential risk increases erosion everywhere, then slopes become the controlling factor. The delta, an indicator of impact, shows that the areas under forest suffer the most, indicating its high fragility.

Key Words: Land degradation; Risks of erosion and Watersheds.

RECIBIDO: abril 18, 2008

ACEPTADO: septiembre 17, 2008

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Canoabo cumple una doble función en la zona norte de Venezuela. Por una parte es reservorio de agua producida para comunidades aguas abajo y por la otra sustenta actividades agrícolas para alrededor de 6 500 personas. Sin embargo, como consecuencia de la tala y quema de bosques y de haberse instalado usos poco sostenibles como ganadería y cítricos en sus laderas, sin prácticas de conservación, ha causado procesos de erosión de suelo que amenaza las dos funciones principales.

El objetivo del trabajo es caracterizar los procesos erosivos actuales, tipo, grado, extensión y ubicación, así como estimar los riesgos de erosión bajo diferentes escenarios de uso y cobertura de la tierra. Esta información, conjuntamente con la caracterización climática y de suelos expuestas en anteriores artículos (Sevilla *et al*., 2008; Sevilla y Comerma, 2008), permitirá apoyar los estudios posteriores de zonificación agroecológica y diseñar usos de la tierra más sostenibles con el ambiente en los diferentes sectores de la cuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder aprovechar la información básica, escasa e imprecisa que se tenía de la cuenca, complementarla eficientemente y alcanzar los objetivos planteados, se emplearon metodologías convencionales, modelos de simulación, procesamiento de imágenes satelitales y finalmente se utilizaron modelos de pedotransferencia. La escala de trabajo seleccionada fue 1:50 000, debido a que la mayoría de la información disponible era de una escala igual o de menor detalle y adicionalmente porque esta escala se considera apropiada para fines de planificación del uso y manejo de los recursos naturales a nivel de cuencas hidrográficas de tamaño medio.

Erosión actual

La erosión actual se refiere a la situación actual de afectación de los suelos por este proceso de degradación en el momento del levantamiento de la información y está basado en observaciones de campo. Para lo anterior se realizó una descripción en campo de cincuenta puntos de muestreo, tomando en consideración la variabilidad de los suelos y de la cobertura vegetal actual, previamente levantada (Sevilla y Comerma, 2008).

En cada uno de esos puntos se describió el tipo, magnitud o grado de erosión según las escalas del Manual de Levantamiento de Suelos de USDA (1993), ligeramente modificadas en EDELCA (2003b) y mostradas en el Cuadro 1. Adicionalmente, en cada punto se describió la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y el uso actual de la tierra.

CUADRO 1. Criterios empleados para la clasificación de la erosión actual.

Clases	Descripción
Imperceptible	No existe evidencia de erosión actual.
Ligera	Erosión laminar que decapite el horizonte A hasta no más de su grosor medio, en relación con puntos no erosionados.
Moderada	Erosión laminar que puede truncar hasta más de la mitad del horizonte A y que puede aparecer en el área zonas del horizonte B o C que afloran en no más de 50 % del área.
Fuerte	Erosión laminar que hace aflorar el horizonte B o C éste representa en superficie más de 50% del paisaje, o existe erosión en surcos que requieren prácticas especiales para su corrección.
Severa	Erosión en surcos profundos cubriendo casi todo el terreno o cárcavas que requieren grandes labores de recuperación y control.

Fuente: EDELCA (2003b).

Para establecer la distribución espacial de la erosión actual, primero fue necesario producir un índice normalizado de diferencias de vegetación (Normalizad Difference Vegetation Index, NDVI), según Myneni (1995) a partir de la imagen de satélite LANDSAT 7 Enhanced Thematic Mapper Plus y del programa Erdas Image versión 8.5. De la ecuación (banda 4 - banda 3) / (banda 4 + banda 3) se calculó el índice, que varía entre 1 y -1, reflejando, los valores negativos, ausencia de actividad fotosintética o menor cobertura vegetal. La banda 3 ó rojo visible presenta baja reflectividad para la vegetación y la 4, infrarrojo cercano, alta reflectividad.

La ecuación se aplicó a cada píxel y se obtuvo una imagen de NDVI de números digitales continuos. Sobre la imagen se ubicaron los 50 puntos de muestreo y caracterización de la erosión actual y se identificaron los diferentes grados de reflectancia para cada tipo y

grado de erosión de cada punto. A partir de esto se procedió a establecer los límites de las delineaciones a través del análisis visual apoyado en la imagen y el NDVI. Esta información se extrapoló a las áreas no muestreadas, tomando en cuenta tanto el análisis de reflectancia de la imagen y el NDVI, como los factores pendiente, cobertura vegetal y uso actual de las tierras.

Riesgos de erosión: tiene el objetivo de clasificar las unidades de tierra en función de los riesgos que ellas presenten a sufrir procesos erosivos, bajo dos escenarios. El primero, refleja las condiciones actuales de clima, topografía, suelos y vegetación o cobertura vegetal actual, y es denominado riesgo de erosión actual. El segundo, asume las mismas condiciones, pero considerando una remoción total de la vegetación o cobertura vegetal y es llamado riesgo de erosión potencial. Para lograr la estimación de ambos riesgos se empleó el modelo de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), desarrollado por Wischmeier y Smith (1978). Los métodos y criterios usados para aplicar la ecuación A = R x K x L x S x C x P, se describen a continuación.

a) Factor (R): para su obtención, el método más adecuado es el de determinar la erosividad a partir de bandas del pluviografo. En Canoabo, de las estaciones climáticas existentes, sólo Palmichal llevaba registros de bandas pluviográficas, las que fueron empleados por Hernández y Dega (2004), para realizar el cálculo de erosividad de la lluvia. Basándose en esta situación, se decidió utilizar el modelo EPIC (Williams, 1984) para estimar el factor R en otras localidades de la cuenca a partir de su calibración con los valores de las bandas de Palmichal. Para dicha calibración, se modificó, por tanteo, el valor APM (Peak runoff rate-rainfall energy adjustment factor = factor para el ajuste de la energía de la lluvia), entre 0, 5 y 1,5, hasta ajustar la erosividad de las lluvias con respecto a valores estimados mediante bandas. Las aproximaciones se efectuaron con y sin valores de lluvia máxima mensual en 30 min.

Las opciones usadas fueron: Opción 1: Calculados sin valores de lluvia máxima en 30 minutos para cada mes y un APM = 1; Opción 2: Calculados con valores de lluvia máxima mensual en 30 min para cada mes y un APM = 1; Opción 3: Calculados con valores de lluvia máxima mensual en 30 min para cada mes y un APM = 0,9; Opción 4: Calculados con valores de lluvia máxima mensual en 30 min para cada mes y un APM = 0,8. Una vez calibrado se corrió en las restantes 4 estaciones y así se obtuvo el factor R de cada una de ellas. El modelo EPIC posee la ventaja que toma en cuenta la distribución diaria de las lluvias y diferenciar valores de erosividad de lugares que, teniendo similares valores mensuales de precipitación, tengan diversos números de días lluviosos por mes (Silva, 2002). Para lograr la distribución espacial del Factor R se considero la vegetación del lugar de cada estación y su precipitación.

b) Factor (K): el factor erosionabilidad expresa la susceptibilidad del suelo a ser separado y transportado por la lluvia y el flujo superficial. Para su determinación se uso el nomograma de erosionabilidad de Foster y Col citado por Pineda *et al*. (2004), usando para ello características del suelo superficial (15 a 20 cm) como: % limo (0,002 - 0,05mm), % de arena muy fina (0,05 - 0,10 mm); % de arena fina, media, gruesa y muy gruesa (0,10 mm - 2 mm), % materia orgánica (MO), estructura del suelo y permeabilidad. La ecuación usada fue:

$$K = (0{,}001317 * (2{,}1 * M^{1{,}14} * 10^{-4} * (12 - A) + (3{,}25 * (B-2)) + (2{,}5 * (C-3)))/100,$$

Donde:

K: Factor erosionabilidad del suelo, expresado Mg*ha*h $Mj^{-1}ha^{-1}mm^{-1}$; M: (% limo + % arena muy fina * (100 - % arcilla); A: Porcentaje de MO; B: Código de estructura del suelo (1: granular muy fina; 2: granular fina; 3: granular gruesa a media; 4: blocosa, laminar o masiva); C: Código de permeabilidad de suelo (1: muy rápida; 2: rápida; 3: moderada; 4: moderadamente rápida; 5: lenta y 6: muy lenta).

c) Factor (L): el factor longitud de la pendiente (L) expresa el efecto de la longitud del escurrimiento en la determinación de la erosión y se obtuvo mediante la ecuación:

$$L = (l/22{,}13)\ m$$

Donde:

l: Es la longitud de escurrimiento sobre la pendiente (m).
m: Factor dependiente de la pendiente del terreno (Cuadro 2).

Para la estimación de (l), se utilizó la metodología propuesta por el MARNR (1989), no sin antes realizarle algunas modificaciones basadas fundamentalmente en las diferencias del tipo de relieve y porcentaje de la pendiente, (EDELCA, 2003b), tal como se indica en el Cuadro 3.

CUADRO 2. Valores del factor **m** según el porcentaje de pendiente.

Pendiente (%)	m
< 1	0,2
1 - 3	0,3
3 - 5	0,4
> 5	0,5

Fuente: Jegart y Espinoza (1990).

Finalmente para lograr la espacialización, el procedimiento fue el de apoyarse en la sobreposición de los mapas de geomorfología y pendiente, asignándole a cada unidad geomorfológica, los valores (l), según el Cuadro 3.

CUADRO 3. Valores de (l) según tipo de relieve.

Relieve/Pendiente	Valor l (m)
Valle	100
Piedemonte	100
Falda	150
Ladera	200
Viga	200
Loma con igual o más de 45 % de pendiente	100
Loma con menos de 45 % de pendiente	150

Fuente: EDELCA (2003b), con modificaciones propias.

d) Factor (S): para obtener el factor S se utilizaron dos ecuaciones según sea la pendiente del terreno. Para el caso que sea inferior de 20% se utilizó:

$$S_{(<20)} = 0,065 + 0,045s + 0,0065s^2 \text{ (Wischmeier, 1959)}$$

Donde:
$S_{(<20)}$: Es el gradiente de pendiente y el s: Porcentaje de la pendiente.

Para superficies con pendiente superiores al 20%, se uso la ecuación de Mc Cool *et al*., citado por López (1991):

$$S_{(>20)} = 16,8 \text{ sen } \Phi - 0,5$$

Donde Φ es el ángulo de inclinación del terreno.

Los valores de pendiente se derivaron del modelo digital de elevación usando el procedimiento SLOPE de Arcgis 9.0, (ESRI, 2005).

e) Factor (C): se refiere a un índice del 0 al 1, que expresa la capacidad que tiene determinado tipo de cobertura vegetal para reducir el riesgo de erosión. Valores cercanos a 1 indican buena cobertura, cero se considera suelo desnudo sin protección. Dichos valores fueron obtenidos haciendo analogía entre los tipos de vegetación encontrados en la cuenca, con valores de Factor C, existente y utilizados en otros estudios como en la cuencas del río Caroní (EDELCA, 2003a) y Guárico (Pineda *et al*., 2004). Los criterios utilizados en esta comparación, se basó en características como: tipos de cobertura vegetal, grado de cobertura y niveles de intervención.

f) Factor (P): es el factor referido a las prácticas de conservación y a su efecto protector de los suelos. Debido a que en la cuenca no se evidenció la aplicación de prácticas de conservación dentro de las actividades agropecuarias, este factor no se tomó en cuenta para calcular el riesgo de erosión actual de las tierras y por ende se asumió un valor de uno (1).

g) Calificación de los riesgos de erosión: para obtener los riesgo de erosión actual y potencial, se sobrepusieron los mapas de factores y, usando el álgebra de mapa se aplicó la fórmula USLE. Para su calificación se combinó en una sola la clasificación de la metodología de la FAO (1985), incluyendo la de los riesgos de erosión actual con la clasificación de los valores de pérdidas de suelo potencial López citado por Fernández (1990). Esta nueva clasificación única (Cuadro 4), permite comparar los riesgos de erosión actual y potencial y conocer la magnitud de los cambios al someter las tierras a un manejo extremadamente inadecuado que provoque la remoción total de la vegetación.

h) Diferencial de riesgos de erosión: este diferencial es propuesto como un indicador de la magnitud de los cambios de clases de riesgo de erosión, como consecuencia de la remoción de la vegetación, y contribuye a identificar cuales áreas tienen riesgos de mayor impacto. Para su determinación, se restan los valores de los mapas de riesgo de erosión potencial del actual. Este resultado fue clasificado de acuerdo a la magnitud del cambio, expresado por el número de clases de cambio y según las escalas propuestas en el Cuadro 5.

CUADRO 4. Criterios para la clasificación del riesgo de erosión.

Clases de Riesgo de Erosión	Pérdidas de Suelo (Mg ha^{-1} año^{-1})
Muy débil (1)	0 - 10
Débil (2)	10 - 50
Moderada (3)	50 - 100
Fuerte (4)	100 - 200
Muy fuerte (5)	200 - 1 000
Severa (6)	1 000 - 2 000
Muy Severa (7)	2 000 - 3 000
Extrema (8)	> 3000

Fuente: López (1964) citado por Fernández (1990) y FAO (1985), con modificaciones propias.

Balance morfodinámico

La metodología seguida está basada fundamentalmente en la descrita por COPLANRH, (1973). En ella, el mapa de balance morfodinámico se obtuvo de la comparación de la erosión actual, el escenario de riesgos de erosión potencial y las áreas que podrían sufrir daños por inundaciones de las aguas del embalse. Las áreas de riesgo de inundación se obtuvieron del modelo digital de elevación, seleccionando las áreas por debajo de la cota 277 m.s.n.m., la cual corresponde con la altura del aliviadero de la represa. Para esto se aplicó el procedimiento CONTOUR de Arcgis 9,0, (ESRI, 2005). Para el análisis del balance morfodinámico se emplearon los Cuadros 6 y 7, adaptados a partir del propuesto por EDELCA, (2003c).

CUADRO 5. Clasificaciones del diferencial de riesgo de erosión según su magnitud.

Magnitud del cambio	Diferencial de Riesgo de Erosión
Sin cambio	0
Bajo	1
Moderado	2 y 3
Alto	> 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Erosión actual

En los anexos del artículo en la Figura 1, se presenta el mapa de erosión actual. Estos resultados están agrupados en 3 clases, los que presentan una erosión ligera a imperceptible, los cuales ocupan 10 778 ha (74,29%) de la cuenca; los de erosión moderada ocupando cerca de 1 893 ha (13,04%) y finalmente los que presentan una erosión fuerte con unas 1 602 ha (11,04%). Las áreas de ligera erosión corresponden con aquellas zonas que mantienen una mayor cobertura vegetal, independientemente de las pendientes que predominan. Por otra parte, las zonas con erosión moderada y fuerte están asociadas a actividades antrópicas (café, mandarinas, ganadería y concentraciones humanas) que en diversos grados han intervenido la cobertura vegetal y que están concentradas en el piedemonte y lomas, además de algunas áreas en las laderas. Las zonas de erosión fuerte están más cercanas al valle y en general tienen o han tenido actividad ganadera causando terracetas e importantes áreas de pérdida de suelo.

La mejor expresión del grado de erosión es la presencia de grava o gravilla sobre la superficie del suelo, como efecto de la remoción del material más fino, el truncamiento de horizonte A y ocasionalmente de parte del B, el cual aflora en la superficie en los peores casos. Esto quedo reflejado en el mapa de suelos con una clase taxonómica (subgrupo inceptic) que señala la perdida de espesor de los suelos por la erosión.

En general, en la cuenca no se observan prácticas de conservación, ni a nivel agropecuario ni en las numerosas pequeñas vías rurales que son una de las principales causantes de deslizamientos y sirven de cauce para la fuerte escorrentía en la época de lluvia. Sería recomendable realizar estudios de las especies autóctonas del bosque nublado que pudieran servir para una rápida recuperación y reforestación de áreas degradadas o fragmentadas. Así mismo, determinar las especies más adecuadas de árboles para los sistemas silvopastoriles en zonas apropiadas de la cuenca.

Por otro lado vele la pena destacar que los sedimentos producidos en las áreas afectadas por la erosión son arrastrados acumulándose en los abanicos del piedemonte, posteriormente depositados en los drenajes naturales y en ambos lados del río Canoabo, formando las playas del mismo.

CUADRO 6. Criterios para la obtención del balance morfodinámico.

			Erosión Actual		
Riesgo de Erosión Potencial	**Clase de riesgo de erosión (Mg(ha*año)**	**Clasificación del riesgo**	**Baja (imperceptible o Ligera)**	**Media (Moderada)**	**Alta (fuerte o Severa)**
	I (0-10)	Bajo riesgo	Estables (1)	Moderadamente estable (5)	Inestables (8)
	II (10-50)				
	III (50-100)	Moderado riesgo	Casi estable en equilibrio (2)		
	IV (100-200)	Alto riesgo	Casi estable en equilibrio precario (3)	Moderadamente estable en alto riesgo (6)	Muy inestables (9)
	V (200-1000)				
	VI (1000-2000)	Muy alto riesgo	Casi estable en alto riesgo (4)	Moderadamente estable en muy alto riesgo (7)	Extremadamente inestables (10)
	VII (2000-3000)				
	VIII (> 3000)				
			Áreas inundables (11)		

Fuente: EDELCA (2003c) y Ospino *et al*. (2004) con modificaciones propias.

CUADRO 7. Definición de las clases de balance morfodinámico.

Actividad	**Definición**	**Clase**	**Definición**
Inactivo	Aquellos medios que actualmente presentan erosión imperceptible o ligera, debido a la ausencia o a la poca eficiencia morfogenética de los procesos dinámicos.	1	Medios con ausencia de procesos morfodinámicos de superficie y permiten así el libre desarrollo de la pedogénesis. Son áreas para posibles usos agrícolas sostenibles.
		2	Medios en los cuales la actividad morfodinámica, de tipo predominantemente laminar, se encuentra en situación de equilibrio con la pedogénesis y posee un moderado riesgo de ser erosionado. Son áreas para posibles usos agrícolas sostenibles.
		3	Medios caracterizados por la precaria y muy débil estabilidad de uno o varios factores físico-naturales relacionados con los procesos erosivos, lo crea una alta potencialidad de rotura del equilibrio existente. Posee un alto riesgo de erosión. Áreas a preservar con su vegetación natural.
		4	Similar al anterior, con el agravante que el riesgo de erosión es muy alto. Estas zonas por sus características deben ser preservadas con su vegetación natural dado el nivel de riesgo presente.
Activos	Aquellos medios en los cuales la actuación de los procesos morfodinámicos generan problemas de erosión y/o acumulación	5	Áreas de baja a moderado riesgo de erosión, que en estos momentos sufren de una erosión moderada, debido principalmente a un mal manejo de las tierras. Áreas donde su recuperación podría lograrse a corto o mediano plazo, incorporando prácticas conservacionistas sencillas y luego destinarlas a usos agrícolas sostenibles.

../... continúa

../...continuación CUADRO 7.

Actividad	Definición	Clase	Definición
		6	Áreas de alto riesgo de erosión, que presentan una erosión moderada, debido a un manejo inadecuado de las tierras, sin embargo, aún no han llegado a su estado máximo probable de degradación. Para evitarlo se ameritarían medidas inmediatas como: prácticas de conservación sencillas a moderadas. Debido a lo crítico de algunos de los factores físico-naturales, relacionados con los procesos erosivos, estas áreas luego de su recuperación deben ser preservadas, y utilizadas de manera racional, posiblemente con usos agroforestales, forestal asociado, ecoturismo, etc.
		7	Áreas con muy alto riesgo de erosión, que presentan erosión moderada, debido principalmente a un manejo inadecuado de las tierras, sin embargo, aún no han llegado a su estado máximo probable de degradación, para evitarlo se ameritaría inmediata de la aplicación de prácticas de conservación medianamente complejas, debido a lo crítico de algunos de los factores físico-naturales relacionados con los procesos erosivos. Estas áreas deberían recuperarse y dedicarse a usos conservacionistas como: agroforestal, forestal asociado, ecoturismo, entre otros.
Activos	Aquellos medios en lo los cuales la actuación de los procesos morfodinámicos generan problemas de erosión y/o acumulación	8	Áreas de baja a moderado riesgo de erosión, que en estos momentos sufren de una fuerte erosión, debido principalmente a la aplicación de sistemas de manejo altamente degradante por períodos extensos de tiempo. Situación ésta que lo hace inestable. Deberían recuperarse e incorporárseles prácticas conservacionistas y, luego de esto podrían ser usadas con usos ecológicamente aceptables.
		9	Áreas muy inestables de alto riesgo de erosión, que presentan una fuerte erosión, debido a manejos altamente degradante como la ganadería en zonas de altas pendientes. Ameritarían medidas inmediatas como: prácticas de conservación compleja y costosa, debido a lo crítico de algunos de los factores físico-naturales. Estas áreas deberían recuperarse y dedicarse a usos conservacionistas como: agroforestal, forestal asociado, ecoturismo, etc.
		10	Áreas extremadamente inestables con muy alto riesgo de erosión, que presentan severa erosión, debido a la aplicación de manejos inadecuado de alta presión sobre el recurso tierra en áreas donde los factores erosivos son críticos. Ameritaría inmediata aplicación de prácticas de conservación complejas y costosas debido a la criticidad de algunos de los factores físico-naturales. Estas áreas deberían recuperarse y dedicarse a usos conservacionistas como: agroforestal, forestal asociado, ecoturismo, entre otros.
		11	Áreas bajo inundación actual o con potencial de ser inundables debido al incremento del nivel de las aguas del embalse. Por lo general son inundaciones plurianuales de largo período.

Fuente: EDELCA, (2003c) y Ospina *et al*. (2004), con modificaciones propias.

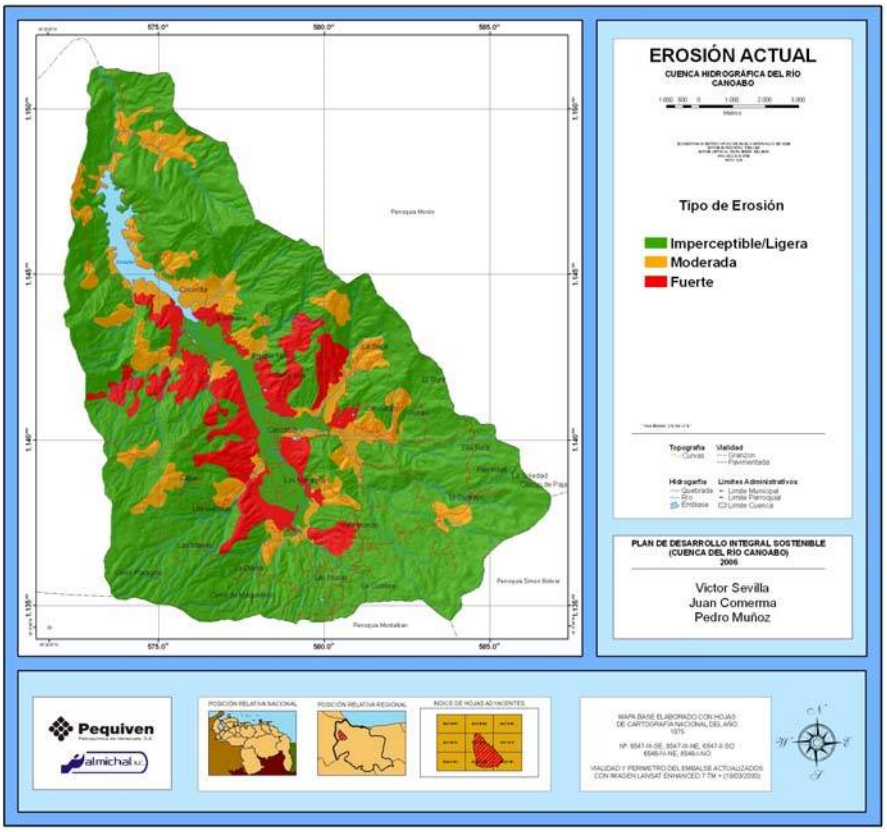


FIGURA 1. Mapa de Erosión actual.

Riesgo de erosión

En este apartado se muestran primero los resultados de los Factores R y K, y finalmente los resultados del cálculo del riesgo de erosión actual.

Erosividad de la lluvia (Factor R): La calibración del modelo EPIC para la estimación del Factor R en la estación Palmichal arrojó que la opción 4, la cual se corrió con datos de lluvia máxima en 30 min y un APM = 0,8, tuvo menos diferencia con respecto al promedio de los valores absolutos medidos de Factor R (1,8 MJ*mm/ha*h*año), y un porcentaje de variación de cero (0) %, además su coeficiente de determinación fue de 0,74 al comparar los valores anuales de factor R medidos y estimados. Sin embargo, la opción 1, corrida sin valores de lluvia máxima en 30 min y un AMP de 1, es también una buena opción para la simulación del Factor R, ya que demostró leves diferencias con respecto a los valores medidos, especialmente en cuanto a los promedios anuales, y un alto coeficiente de determinación (0,77) tal como se aprecia en la Figura 2.

Erosionabilidad de los suelos (Factor K): la Figura 3, muestra que los valores moderadamente bajos del Factor K (< 0,015), se consiguen en 1 153 ha (7,9%) de la superficie, específicamente en las partes más alta de la cuenca, bajo una vegetación boscosa nublada, con abundante MO. Los suelos con Factor K moderados (0,015 - 0,030) están ubicados también en zonas medianamente altas, también con vegetación de bosque, pero, menos húmedos y con menor acumulación de MO, pero aun con valores considerables. Estos suelos cubren unas 2 307 ha (15,9%) de la cuenca. La mayoría de los suelos en la cuenca poseen un Factor K moderadamente alto (0,030 - 0,045), específicamente una superficie de 7 498 ha (51,68%), correspondiendo a tierras con vegetación de bosque semideciduos, suelos de texturas medias y contenidos medios a bajos de MO. Los valores altos de Factor K (0,045 - 0,060), se ubican en las laderas bajas y el piedemonte, abarcando 3 316 ha (22,8%), en suelos de mayor intervención, especialmente con usos ganaderos, y donde en la actualidad se presentan los mayores grados de erosión.

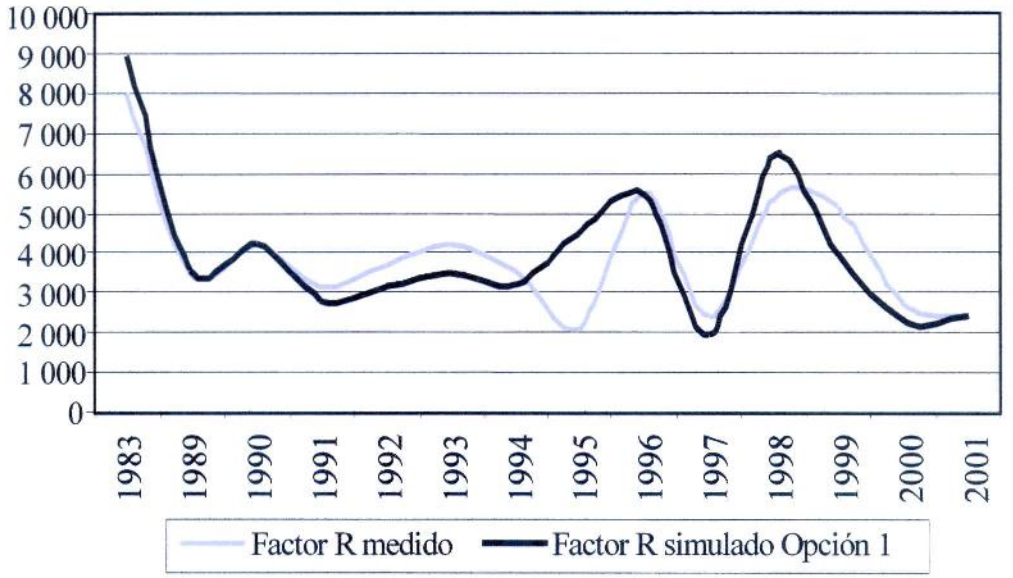


FIGURA 2. Comparación entre Factor R medido y estimado con EPIC.

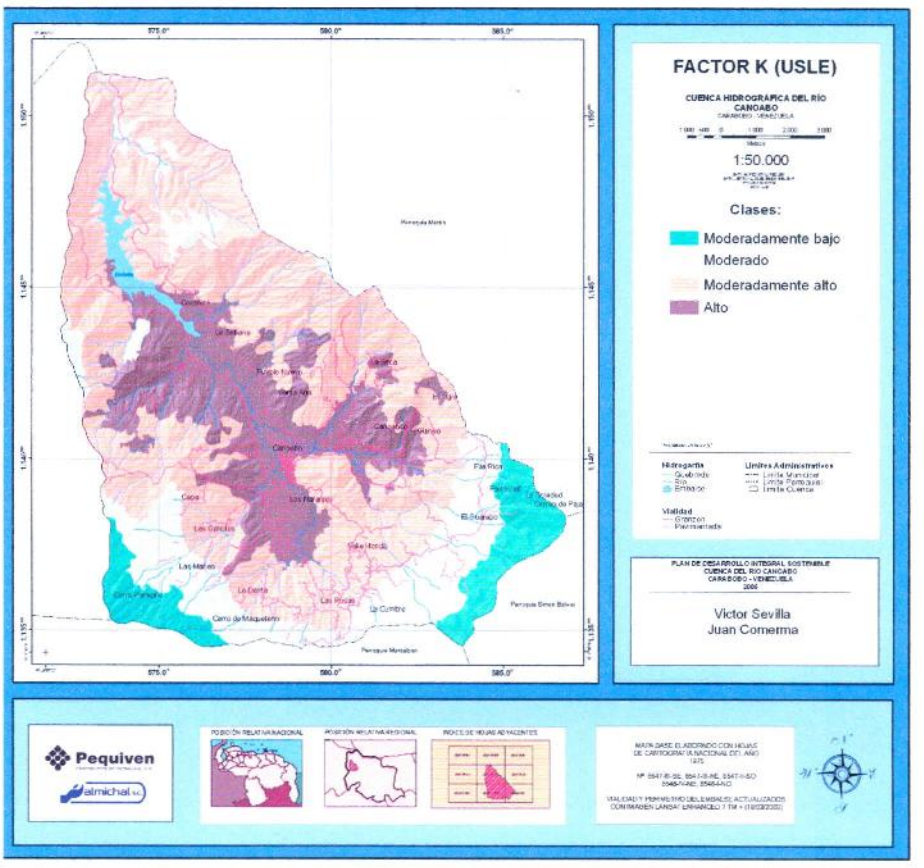


FIGURA 3. Mapa de Factor K.

El factor de la ecuación USLE que aportó mayor peso en los resultados, en cuanto a magnitud, fue el Factor R, ya que sus valores oscilaron entre 3 047 y 4 245 Mj*mm/ha*h*año. Pero en cuanto a su distribución, el gradiente (S), la longitud (L) de la pendiente y el factor protector de la cobertura vegetal (C) tiene mayor importancia.

Finalmente observando las Figura 4 y el mapa de riesgo de erosión actual mostrado en la Figura 5, se observa que las clases muy fuertes y severas representan más de la mitad de la superficie, 8 303 (57,23%), estando ubicadas en las laderas con pendientes moderadamente empinadas (20 a 45%) y con coberturas con un moderado a fuerte grado de intervención. Las categorías de muy débil y débil abarcan 4 369 ha (30,11%). Las zonas con riesgos muy débiles se circunscriben a los bosques nublados con muy bajo grado de intervención. Lo anterior destaca la función de una densa cobertura en prevenir la erosión y, corresponde muy bien con la erosión actual ligera encontrada en este sitio. La zona con débil riesgo de erosión actual corresponden al valle y a las laderas en ambos márgenes de la cuenca que, independiente de sus pendientes, aun mantiene un grado de cobertura moderada.

Al comparar el riesgo de erosión actual, con la erosión de campo (Cuadro 8), se obtuvieron interesantes situaciones que a continuación se describen:

Unas 10 778 ha, fueron clasificadas con erosión actual ligera o imperceptible, de ellas 41%, coincidieron en poseer un riesgo de erosión actual de moderado a débil, sin embargo, un 45% contrariamente mostraron un alto riesgo. Esto se debió, primero a la escala empleada (1:50 000), y a la irregularidad del relieve, que provoca discontinuidades o falta de homogeneidad en el terreno, donde no pudieron separarse áreas de fuerte erosión, ya que las mismas no poseían la mínima superficie cartografiable (12,5 ha). En segunda instancia, que grandes superficies de laderas sobre los 800 m.s.n.m., han sido deforestadas, para usarlas en ganadería, posteriormente abandonadas y repobladas naturalmente por helechos que no protegen al suelo del impacto de la gota de lluvia, pero que si enmascara en la imagen satelital una erosión laminar, fuerte, continua y acelerada.

Alrededor de 1 602 ha, presentaron fuerte erosión actual, y en ellas la coincidencia fue realmente alta con la aplicación de la ecuación USLE, ya que 75% de sus tierras son de alto a muy alto riesgo de erosión.

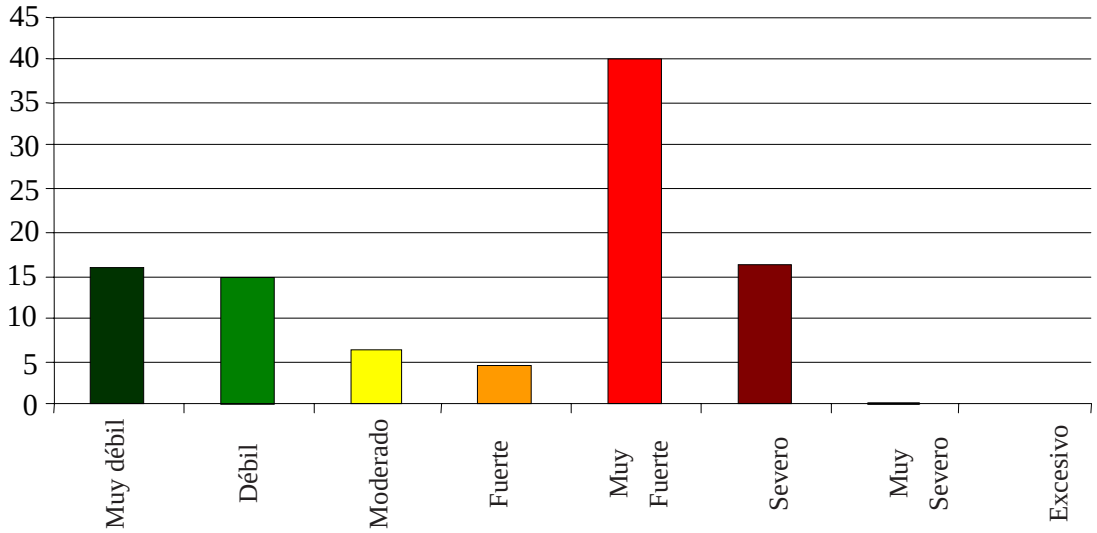


FIGURA 4. Porcentajes de clases de riesgo de erosión actual en la cuenca.

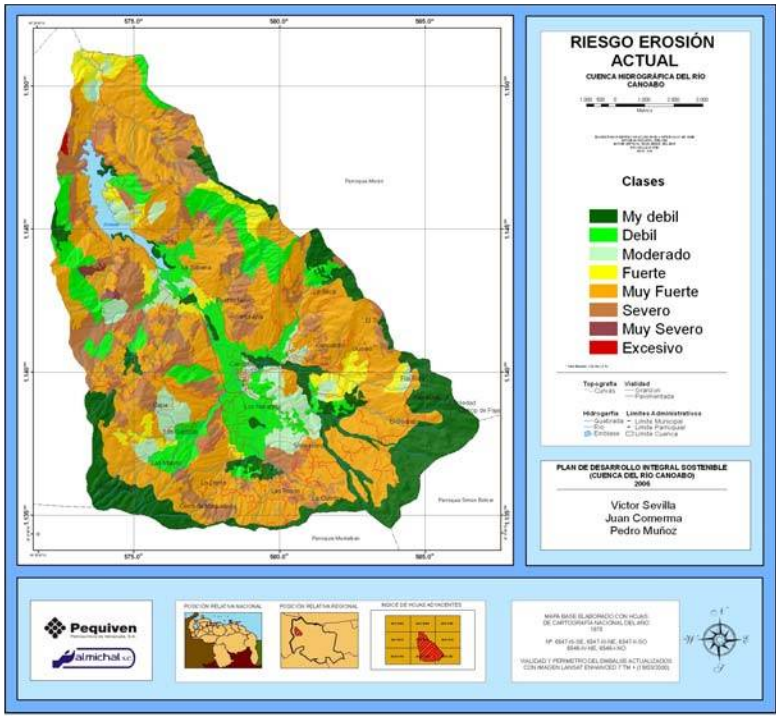


FIGURA 5. Mapa de Riesgo de Erosión Actual.

Resumiendo, es recomendable realizar el estudio de la erosión, con un grado de detalle que considere a aquellas pequeñas áreas que hayan sido intervenidas y que estén en condiciones ecológicas de riesgo. Además realizar una mayor cantidad de chequeo en el campo para conocer la situación de la erosión real, y poseer una valoración del Factor C, especialmente en coberturas que surgieron a consecuencias de la intervención. Finalmente, estudiar la erosión real actual haciendo énfasis en aquellas áreas donde el resultado del riesgo de erosión fue alto.

CUADRO 8. Comparativo entre la erosión actual y el riesgo de erosión actual (Unidades %).

Riesgo de Erosión Actual		**Erosión Actual Real**		
		Imperceptible / Ligera	**Moderada**	**Fuerte**
Muy débil (1)	Bajo riesgo	35	22	18
Débil (2)				
Moderada (3)	Moderado riesgo	6	9	8
Fuerte (4)	Alto riesgo	45	53	38
Muy fuerte (5)				
Severa (6)	Muy alto riesgo	14	16	36
Muy Severa (7)				
Extrema (8)				

Riesgo de erosión potencial

La Figura 6 presenta el mapa del riesgo potencial. Hay que recordar que se está usando la misma escala de valoración que en el caso del riesgo de erosión actual, por lo tanto, al comparar ambos valores, se refleja el efecto que tiene la completa eliminación de la vegetación en los procesos de erosión. Las categorías muy fuertes, severas y muy severas de riesgo de erosión potencial ocupan 13 400 ha (92,36%) de la cuenca. Esto indica que al eliminar la vegetación, las pendientes asumen el rol principal del proceso erosivo, y dado que en la cuenca dominan las altas pendientes, la mayoría de su superficie incrementa su riesgo. Por lo contrario en las zonas planas del valle, unas 874 ha (6,02%) clasificación como de riesgo débil y moderado. Aquí evidentemente la remoción de vegetación tendría un impacto mucho menor.

Diferencial de riesgos de erosión: los resultados mostrados en la Figura 7 muestran que en unas 8 449 ha (58,23%) de la cuenca los cambios de riesgo son menores a 2 clases, correspondiendo con el valle, el piedemonte y las laderas medias. Esto se debe al débil riesgo de erosión actual y potencial de las zonas planas; pero también existen áreas con mayores pendientes altamente intervenidas que tienen un riesgo de erosión actual muy fuerte, y en caso de eliminar el resto de su vegetación, se mantendría en muy fuerte o sólo se incrementaría a severo. Otros resultados a resaltar corresponden con zonas que cambian en 3, 4 y 5 clases las cuales cubren alrededor de 4 369 ha (30,11%). Ellas están concentradas en las áreas que actualmente tiene la mayor cobertura vegetal, en especial en el bosque nublado, con un riesgo de erosión actual de muy débil a moderado, pero que si ocurriera cualquier alteración de vegetación, si promovería altos cambios en el diferencial de riesgos, llevándolas a un riesgo de erosión potencial muy fuerte, inclusive extremos.

Este indicador resulta útil para establecer, conjuntamente con otros elementos, la fragilidad ambiental de un ecosistema, ya que promueve una mayor estratificación de la superficie de las laderas (en comparación con el riesgo de erosión potencia por sí sólo), ubicando en ellas las áreas con posibilidades de mayores impactos por cambios en la vegetación.

Para ilustrar el significado de las clases, se describen a continuación algunas de ellas:

Diferenciales Altos: ocurren en áreas con riesgo de erosión actual de mediano a bajo, debido a su buena cobertura, pero poseen un alto riesgo potencial pues al remover la vegetación en zonas de altas pendientes se produciría un gran cambio en las clases de erosión y consecuentemente un gran impacto.

Diferenciales medios: áreas con riesgos de erosión actual y potencial de moderados a altos, con magnitud de cambios por la remoción de la capa vegetal también moderados.

Diferenciales bajos: áreas de baja magnitud de impacto si se elimina la vegetación. En ese caso hay 2 situaciones: a) Zonas planas, donde el riesgo de erosión actual es bajo y sí se remueve toda la cobertura, sus bajas pendientes no provocarían incrementos importantes de los riesgos; b) Zonas de mayores pendientes, con gran intervención y remoción de la vegetación y por consiguiente importantes procesos erosivos. El riesgo de erosión actual es alto, sin embargo, al continuar la eliminación de la baja capacidad protectora de la vegetación no incrementaría en más de una clase su riesgo de erosión potencial.

Balance mordinámico: en la Figura 8, se observa que aproximadamente 8 697 ha (59,94%) de la cuenca es clasificado "Casi estable con alto riesgo", debido a la precaria estabilidad de uno o varios de los factores físicos relacionados con la erosión. Está ubicado en las laderas con pendientes fuertes, cubiertas por bosques y con una erosión actual ligera, sin embargo, este grado de erosión aumentaría en más de 3 hasta 7 clases, si se removiera la vegetación, de allí que estas zonas presenten limitaciones para actividades agrícolas o pecuarias y deberían ser preservadas y/o utilizadas con usos conservacionistas como: producción de agua, captura de CO_2, reserva biológica, entre otros.

Unas 2 174 ha (14,99%) de la cuenca, específicamente en la falda y piedemonte, se encuentran en las más críticas condiciones y deben ser recuperadas por presentar problemas moderados a fuerte de erosión. Ellas clasifican en las denominadas "moderadamente estables con muy alto riesgo y extremadamente inestables". Su posible uso debería ser de preservación con usos conservacionistas, como el forestal, debido a su alto grado actual de intervención.

Al sur de la cuenca, en los Cerros El Marquero y el Cerro de Paja se ubican 1 596 ha (11,0%) de las superficies calificadas "casi estables, pero, en equilibrio precario", debido a su altas pendientes, pero protegidas por el bosque. Su posible destino sería el de preservación con su vegetación natural.

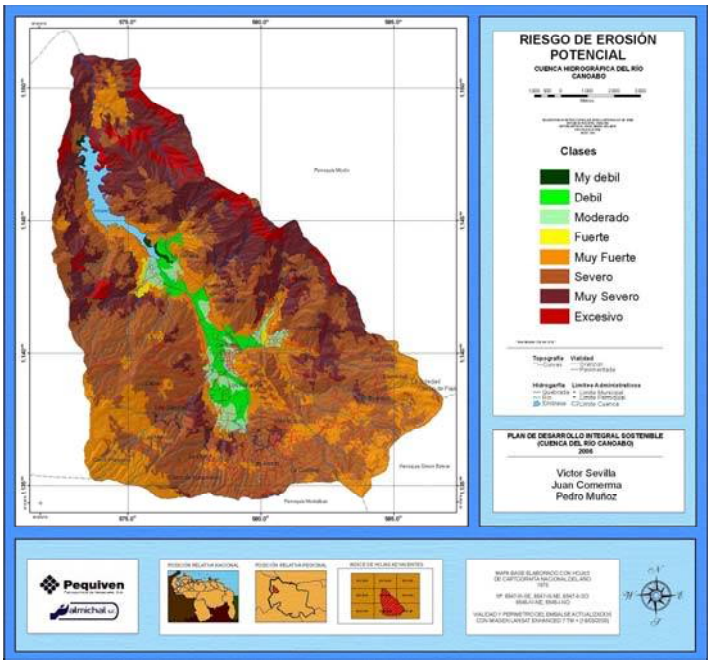


FIGURA 6. Mapa de Riesgo de Erosión Potencial.

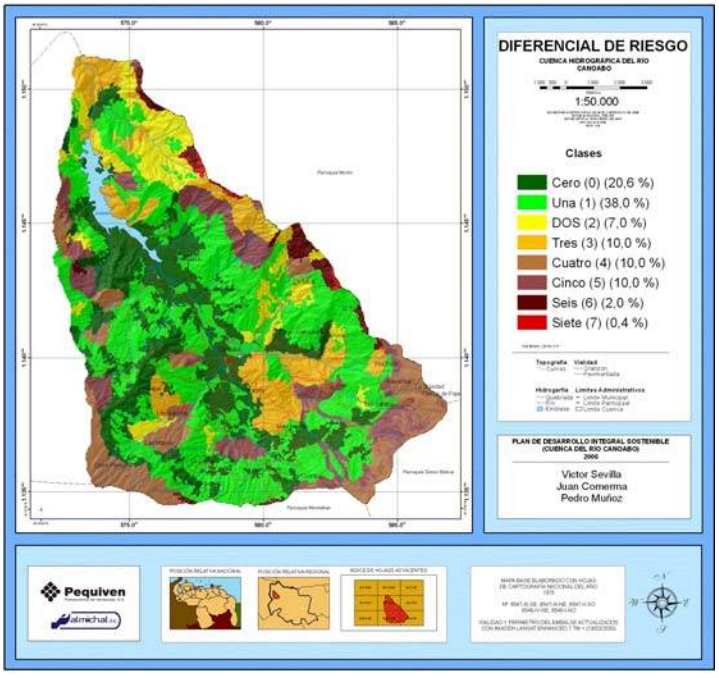


FIGURA 7. Mapa de Diferencial de Riesgo de Erosión.

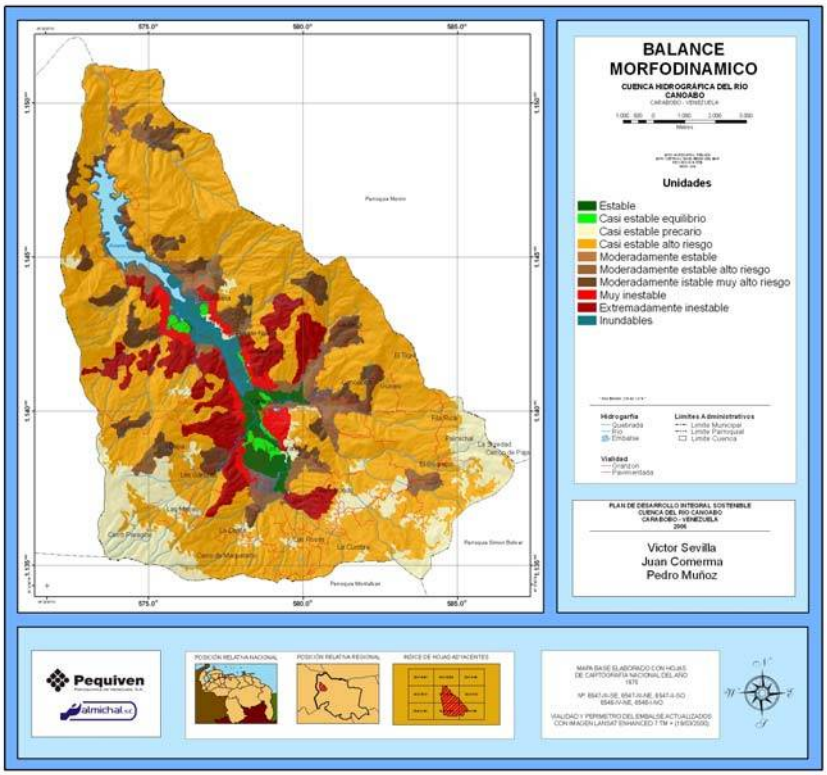


FIGURA 8. Mapa de Balance Morfodinámico.

En el piedemonte, que rodea el valle, en el sector del Guarapo y en las vigas altas, se consiguen 870 ha (5,99%) que requieren ser recuperadas por la erosión laminar progresiva. Ellas clasifican como "moderadamente estable con alto riesgo y muy inestables", según sea su erosión moderada o fuerte. En estas zonas se pueden permitir, luego de la recuperación, usos como el agroforestal y el ecoturismo.

Sólo 435 ha (2,99%) de la cuenca se encuentra en condiciones "Estables o Casi estable en equilibrio", y se ubica en la parte sur del valle. Sin embargo, podrían sumárseles 168 ha (1,15%) con erosión fuerte, si se logrará su recuperación, totalizando un 4% de tierras estables para el uso agrícola sostenible de mayor intensidad.

La parte norte del valle, hasta la cota 277 m.s.n.m., que representa 334 ha (2,30%), sufre de "Inundaciones" o son potencialmente inundables.

Es recomendable estudiar la erosión en los usos presentes en zonas de pendiente (ganadería, plantaciones de frutales, café, conucos, entre otros), y diseñar y aplicar obras de conservación en la vialidad rural ya que son los medios donde ocurre la mayor escorrentía de las laderas. También es necesario delinear y aplicar prácticas de conservación en los programas de asistencia técnica a los productores de la zona, posiblemente empleando parcelas demostrativas con fines de extensión, capacitación y educación ambiental. Con relación a los fenómenos de inundación de carácter cíclico que se presentan alrededor del embalse y que afectan las mejores tierras agrícolas, es recomendable que Hidrocentro, ejerza un control más estricto en la regulación del nivel de las aguas. Otras medidas aplicables pueden ser la construcción de diques de contención, embalses de regulación y canales de desviación.

Para cuantificar la magnitud del daño que ocurriría si las superficies fuesen intervenidas de manera descontrolada y exagerada, se realizó la comparación entre el balance morfodinámico y el diferencial de erosión. Los resultados se muestran en el Cuadro 9.

Las áreas "Estables" (1) y "Casi estable" (2), coinciden en su totalidad con el diferencial de riesgo, ya que en el caso de ser removida su vegetación, no sufrirían cambios o sólo se eleva una clase su riesgo de ser erosionadas.

Unas 1 596 ha, fueron clasificadas "Casi estable en equilibrio precario", dentro de las cuales un 60% poseen un diferencial de riesgo de por lo menos 4 clases de incremento si son deforestadas. Casi 8 697 ha, resultaron "Casi estables con alto riesgo", la clase más frecuente en la cuenca. De ellas aproximadamente la mitad podrían elevar su clase de riesgo de erosión desde 2 a 7 clases, si son intervenidas. Las aéreas inestables, contrariamente o no experimentan cambios o son muy ligeros. Esto es debido a que su fuerte erosión actual, y a la poca protección de la cobertura, hacen que si fuese removida su vegetación, no aumentaría la diferencia con el estado actual.

CONCLUSIONES

- Emplear metodologías convencionales, como la ecuación USLE, complementadas con técnicas de teledetección (NDVI), modelos de simulación (EPIC) y de pedotransferencia simples, permitieron una adecuada caracterización de la erosión, en un tiempo corto.

- EPIC demostró ser una herramienta eficiente a la hora de estimar la erosividad de las lluvias, en cuenca con escasa información de valores de lluvia máxima en 30 min.

- La cuenca evidencia signos de erosión laminar de moderada a fuerte en un 25% de su superficie, especialmente asociado a la ganadería. El 75% fue calificado de ligera.

- La cuenca posee un gran riesgo de sufrir erosión en las condiciones actuales y si se remueve la vegetación, un 90% de sus tierras pasarían a tener de muy fuerte a muy severo riesgo de erosión potencial.

- Las zonas con mayor magnitud de daño al afectar la vegetación son los bosques en laderas empinadas. La zona más estable es el valle plano del río Canoabo.

- El balance morfodinámico corrobora que la mitad de la cuenca, es casi estables, pero, con un alto riesgo de sufrir procesos erosivos, especialmente las laderas empinadas.

- Se demostró una importante correlación entre los análisis de riesgo de erosión actual, balance morfodinámico y la erosión de campo actual, la cual puede utilizarse para conocer la magnitud relativa del daño de una intervención antropica.

- De manera general la degradación en la cuenca, es consecuencia de los usos pasados y actuales. En las zonas de laderas altas, conucos de ñame y maíz, y plantaciones de cítricas como mandarina, de alta rentabilidad, pero, sin prácticas conservacionistas, han provocado procesos erosivos de moderada magnitud. En el piedemonte, el uso ganadero ha causado la peor situación de erosión. En el valle, se encontraron las mejores tierras de la cuenca, sin embargo, la mitad del mismo se ve afectado por inundaciones.

CUADRO 9. Relación balance morfodinámico y diferencial de riesgo de erosión (%).

Diferencial		Clases de Balance Morfodinámico										
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
0	**Sin Cambio**	73	55	27	10	44	50	24	64	64	28	72
1	**Bajo Cambio**	26	45	6	44	25	27	38	33	25	57	22
2	**Moderado Cambio**	1	0	6	23	31	21	26	3	11	8	6
3												
4	**Alto Cambio**	0		61	23		3	11			7	
5												
6												
7												

BIBLIOGRAFÍA

Comisión para el Plan Nacional de Recursos Hidraúlicos (COPLANARH). 1973. Metodologías utilizadas en el Inventario Nacional de Tierras. Caracas Venezuela. 80 p. (Publicación especial, N° 36).

Empresa de Electrificación del Caroní (EDELCA). 2003a. Estudio Plan Maestro de la Cuenca del río Caroní. Evaluación Ambiental, Agrícola y Forestal de las Tierras (FAO). Caracas Venezuela. 77 p.

Empresa de Electrificación del Caroní (EDELCA). 2003b. Estudio Plan Maestro de la Cuenca del río Caroní. Clasificación de las tierras de acuerdo a la erosión. Caracas Venezuela. 66 p.

Empresa de Electrificación del Caroní (EDELCA). 2003c. Estudio Plan Maestro de la Cuenca del río Caroní. Balance Morfodinámico. Caracas Venezuela. 44 p.

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

Fernández, N. 1990. La Cuenca Hidrográfica. **In:** PAEZ, M. L., N. Fernandez y O. Rodríguez. 1990. Manual de Conservacion de Suelos y Aguas. Universidad Central de Venezuela. FAGRO. Maracay.

Food and Agricultural Organization Of The United Nations (FAO). 1985. Directivas: Evaluación de Tierras para la Agricultura de Secano. Boletín de Suelos N° 52. FAO, Roma, Italy.

Hernández, K y L. Dega. 2004. Estimación de los factores K y R de la USLE, Cuenca Hidrográfica del río Canoabo. Facultad de Ciencias Ambientales y Forestales, Universidad de los Andes. Merida. 33 p.

Jegart, H. y C. Espinoza. 1990. Cuantificación de la pérdida superficial de suelos a nivel de cuenca mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). **In:** Metodología de la Evaluación de la Erosión del Suelo y su Impacto en la Productividad. CIDIAT. Mérida. p. 45-76.

López, R. 1991. Algunas consideraciones en relación al uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) en Venezuela. **In:** Metodología de la Evaluación de la Erosión del Suelo y su Impacto en la Productividad. CIDIAT. Mérida. p. 85-92.

Ministerio del Ambiente y de Recursos Naturales Renovables (MARNR). 1989. Plan de Desarrollo Integral Conservacionista para la cuenca alta del río Pao. Dirección Regional San Carlos, Cojedes. 328 p.

Myneni, R. B., F. G. Hall, P. J. Sellers and A. L. Marshak. 1995. 'The interpretation of spectral vegetation indexes', IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33:481-486.

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.

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 Sostenible de Agua. Manejo Integral de la Cuenca Alta del río Guárico, Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica Milenio. 240 p.

Sevilla, V., J. Comerma y O. Silva. 2009. Caracterización de la cuenca del río Canoabo. I Análisis climático y de producción de agua. Agronomía Trop. 59(1):33-44.

Sevilla, V. y J. Comerma. 2009. Caracterización de la cuenca del río Canoabo. II Suelos y Tierras. Agronomía Trop. 59(2):149-160.

Silva, O. 2002. Estimacion de la erosividad de las lluvias en áreas de la cuenca del río Caroní mediante el modelo EPIC. Informe técnico. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay. 24 p.

Williams, J., C. Jones y P. Dyke. 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and productivity. Trans. ASAVE. 27(1):129-144.

Wischmeier, H. H. 1959. A rainfall erosion index for Universal Soil Loss Equation, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23:246-249.

Wischmeier, W. H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses- a guide for conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 537.

Agronomía Trop. 59(3): 265-273. 2009

CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CANOABO EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA. IV. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA

CHARACTERIZATION OF THE RIVER BASIN CANOABO IN THE CARABOBO STATE, VENEZUELA. IV. AGRO-ECOLOGICAL ZONING

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

*Investigador. Pequiven. Gerencia Agroambiental. Morón, Venezuela. Email: victor.sevilla@pequiven.com
** Investigador jubilado. INIA. Email: fliacomermas@cantv.net

RESUMEN

La cuenca del Canoabo cumple una doble función al producir una importante cantidad de agua para poblaciones aguas abajo y por otra albergar 6 500 personas, la mayoría con actividades agrícolas. Estudios previos de clima, erosión y suelos ya señalados por los autores, permiten abordar una zonificación agroecológica base para el ordenamiento de sus tierras. Con esta finalidad se realizó un análisis de su fragilidad ambiental, seguido de las áreas críticas que afectan más la producción de agua y sedimentos y finalmente de la zonificación de aquellas áreas que deben ser protegidas, otras rehabilitadas y las que pueden ser usadas en actividades productivas sostenibles. Los resultados mostraron que cerca del 50% de la cuenca debería ser protegida con un área bajo régimen de administración especial (ABRAE) bastante restrictivo pues de ello depende la producción de agua y otros servicios ambientales; alrededor de un 15% requieren rehabilitación severa y moderada antes de intentar otros usos, otro 20% debe tener usos agroforestales y silvopastoriles a desarrollar y solo 5% en el valle puede intensificar usos agrícolas.

Palabras Clave: Zonificación agroambiental; fragilidad ambiental; áreas críticas ambientales.

SUMMARY

The Canoabo watershed fulfills a double purpose. It produces water for several communities down the valley, but also supports mostly agricultural activities of 6 500 people. Previous studies indicated by the authors on its climate, erosion and soils allow now to develop an agro ecological zoning, basis of a better land ordering. With this purpose it was carried out an analysis of its environmental fragility, the separation of critical areas for water and sediment production, and finally the classification into areas to be protected, to be reclaimed and those to be used in a more intensive agriculture. Results showed that nearly 50% of the watershed should be protected with rather restrictive legislation to guarantee water and other environmental services. Around 15% require reclamation mostly from severe and moderate erosion before thinking in other uses. Another 20% should have protective land uses, to be developed, like forestry, agroforestry and silvopastoril. Finally only 5%, in the valley, is recommended for more intensive agricultural uses.

Key Words: Agro ecological zoning; environmental fragility; and critical areas for water and sediment production.

RECIBIDO: abril 18, 2008

ACEPTADO: septiembre 17, 2008

INTRODUCCIÓN

En trabajos anteriores (Sevilla *et al.*, 2008a y 2008c; Sevilla y Comerma, 2008b) han señalado la importancia de la Cuenca del río Canoabo en la producción de agua, además de otros servicios ambientales y socio productivos para la zona norte del estado Carabobo, Venezuela, donde se concentran importantes complejos industriales y poblacionales. Esta mediana cuenca de cerca de 15 000 ha sólo tiene alrededor de un 30% de bosques poco intervenidos y con una alta biodiversidad en su parte alta, pero tiene una constante amenaza de deforestación que ya ha afectado, por problemas de erosión, gran parte de su superficie.

La ganadería y cultivos cítricos sin prácticas de conservación han sido la principal causa de esta erosión. Su población de alrededor de 6 500 habitantes requiere intensificar el uso de las tierras de mejor calidad en el valle, que alcanzan sólo un 12%, diseñar usos más conservacionistas para gran parte de las laderas intermedias y buscar rehabilitar y preservar las áreas bajo bosque en la cuenca alta requeridas para la prestación de servicios ambientales. Este estudio tiene el objetivo de realizar una propuesta de ordenamiento basados en los trabajos básicos previos de clima, vegetación, suelos y erosión, además de otros elementos determinados en este estudio, establecer las áreas que deben ser preservadas, rehabilitadas, y por último, aquellas que soporten usos agropecuarios sostenibles. Esta Zonificación Agroecológica aportará información clave para un plan de uso y manejo racional de la cuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar la Zonificacion Agroecológica se ha utilizado una metodología que fue inicialmente desarrollada y aplicada en el estudio de Áreas de Atención Ambiental para actividades petroleras en Venezuela por Comerma *et al.* (1999). La secuencia metodológica es similar al incluir primero la determinación de la Fragilidad Ambiental, luego la de Áreas Críticas y finalmente llegar a la recomendación de los usos. Hay pequeños cambios de adaptación al caso de una cuenca, cuyo fin primario es la producción de servicios ambientales, los cuales serán mencionados en la metodología señalada posteriormente. La novedad de este enfoque es la de darle prioridad a los aspectos ambientales, calificando en primera instancia los diferentes sectores de la cuenca en función de su susceptibilidad ante fenómenos naturales, luego según su susceptibilidad ambiental ante los usos considerados como prioritarios y finalmente, las áreas que califican como menos susceptibles serán las que podrán soportar usos agrícolas sostenibles sin comprometer los servicios ambientales.

Si bien es correcto señalar que la Zonificación Agroecológica, es producto, como se mencionó del análisis en conjunto de la fragilidad ambiental, las áreas críticas y la erosión actual, no es menos cierto que todo este análisis de zonificación, se inicia de una integración de diversos factores físico-naturales y socioeconómicos como: clima, hidrología, geología, geomorfología, suelos, capacidad de uso de las tierras, conflicto por el uso de las mismas, riesgo de erosión actual y potencial y su correspondiente diferencial. Cada uno de ellos posee metodologías particulares para su obtención, las cuales pueden ser observadas en los diferentes artículos de la caracterización de la cuenca el río Canoabo, incluidos en esta revista y cuya integración es señalada en la Figura 1.

Fragilidad Ambiental y Áreas Críticas Ambientales

a) Fragilidad Ambiental: según Comerma *et al.* (1999), el estudio de la fragilidad parte del análisis de las cualidades del medio que expresan su susceptibilidad ante fenómenos naturales, como lluvias, deslizamientos, incendios, entre otros. Se consideran tres aspectos: a) el componente del ambiente que podría ser objeto de una posible afectación; b) la magnitud del daño, es decir, la dimensión del cambio sobre la condicional inicial, y c) la capacidad de recuperación del ecosistema ante posibles daños. Para facilitar la ilustración de la metodología empleada se muestra la Figura 2, en donde se divide el método en tres etapas.

Etapa I: Capacidad de recuperación del ecosistema: se obtiene combinando las facultades intrínsecas que tiene la vegetación de recuperarse y la capacidad que poseen las tierras que la sustentan de brindarles las mejores condiciones para conseguirlo. La vegetación fue clasificada en función de un estimado de su capacidad natural de repoblar la superficie y lograr proteger al suelo contra el impacto de la lluvia. No obstante, esto no implica que la vegetación llegaría a su estado originario.

Los factores condicionantes fueron el tipo de cobertura y la altura sobre el nivel del mar, que indirectamente reflejan la disponibilidad de humedad. Luego se combinó con la capacidad de uso, la cual sirvió como indicador de la potencialidad de las tierras para facilitar la espontánea rehabilitación de dicha vegetación.

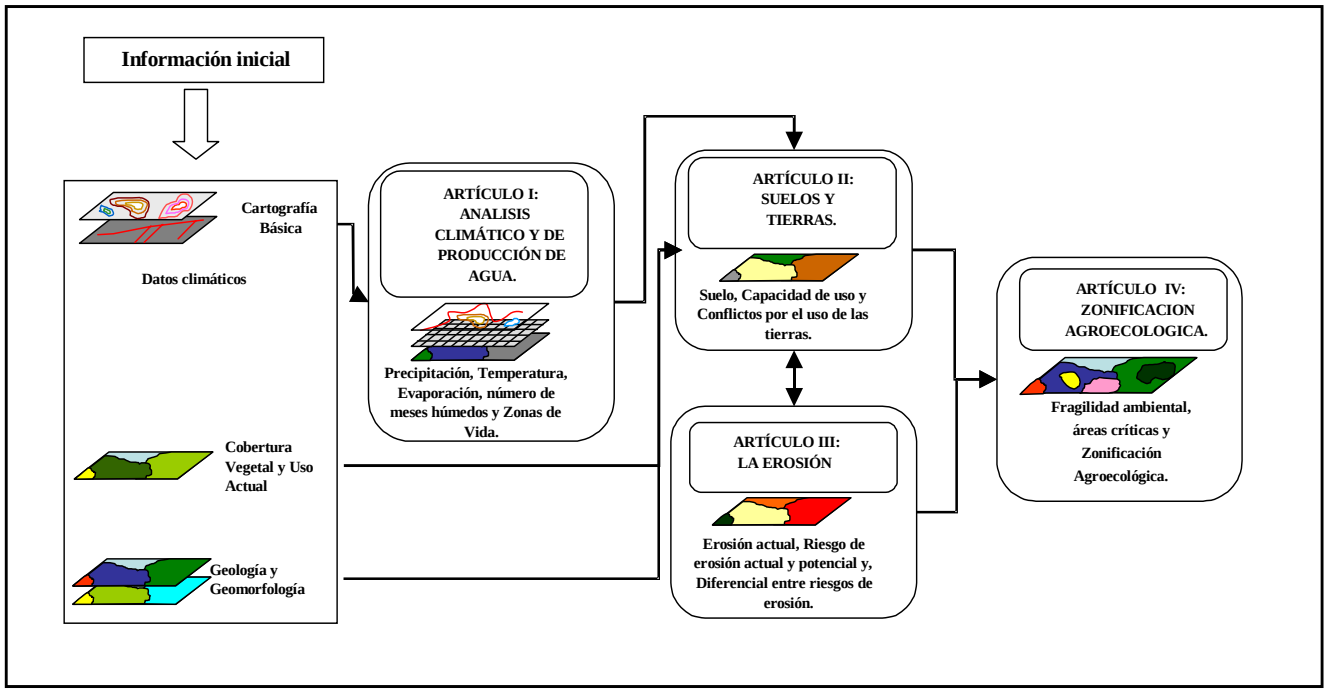


FIGURA 1. Esquema de integración de factores que dan origen a la Zonificación Agroecológica.

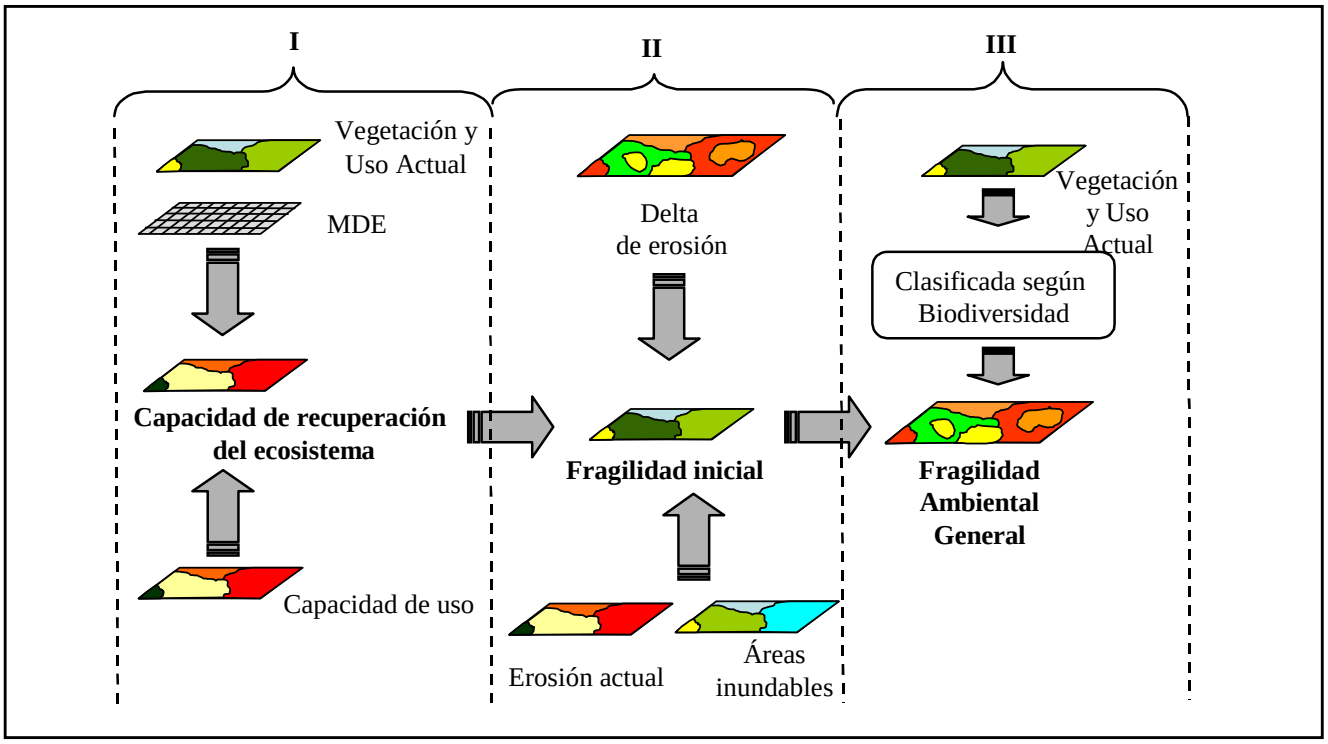


FIGURA 2. Esquema metodológico de la Fragilidad Ambiental.

Etapa II: Magnitud del daño: al resultado anterior se le adicionó primero el análisis de los diferenciales de riesgos de erosión actual y potencial. Diferenciales bajos indican leves cambios de riesgo de erosión al remover la vegetación, y diferenciales altos señalan áreas de posibles grandes cambios. Segundo se le incorporó la erosión actual para separar los dos escenarios que se plantean cuando el diferencial de riesgo es bajo, y los cuales ameritan condiciones de manejos distintos, y finalmente se unió con los sitios con riesgo de inundación. Lo anterior permitió indicar cuales áreas son susceptibles a sufrir afectaciones considerables e irrecuperables y así determinar la fragilidad inicial.

Etapa III. Componente del ambiente que podría ser objeto de una posible afectación: por último para obtener la "fragilidad ambiental general" se le incluye a la fragilidad inicial el aspecto biodiversidad de flora y fauna. Para tal fin se empleó como base el estudio de Lores (2006), donde se calificó la biodiversidad según el tipo de vegetación, el número de especies por unidad de área, y los pisos térmicos.

b). Áreas Críticas Ambientales: corresponden con zonas que, además de tener alta fragilidad, poseen cualidades de gran interés para la producción de agua. Estas cualidades incluyen, primero la capacidad de producir altas cantidades de agua, lo cual se considera positivo y, segundo, la producción alta de sedimentos como resultado de erosión, lo cual se ve como negativo. Para lo anterior se usó la información presentada en los trabajos de clima y producción de agua (Sevilla *et al.*, 2008a) y en el de riesgo de erosión potencial (Sevilla *et al.*, 2008c) de esta cuenca.

Para determinar las áreas críticas se siguió el árbol de decisión expuesto en la Figura 3, el cual se basó en criterios de expertos, resultado de diferentes estudios, como el de la cuenca del Caroní (EDELCA 2003a). Para lograr su aplicación se superpusieron los mapas de fragilidad ambiental, el de capacidad de producción de agua y el de riesgo de erosión potencial y, luego la aplicación de las reglas.

Zonificación Agroecológica

La Zonificación Agroecológica estratifica la cuenca, según su fragilidad y criticidad ambiental, hacia determinados usos y manejos que permitan su sostenibilidad y cumplir con sus objetivos ambientales y socioproductivos. Los principales usos y manejos contemplados en esta zonificación son:

- **Preservación:** áreas de alta fragilidad ambiental, y que son importante para producir agua, resguardar la biodiversidad, capturar carbono y el ecoturismo. Además, incluye a aquellas áreas que están bajo la influencia de inundaciones anuales debido a la elevación de los niveles del embalse.

- **Rehabilitación:** áreas que requieren de restauración por haber sido erosionadas o afectada su biodiversidad, por deforestaciones, incendios y malas prácticas de manejo.

- **Áreas con Posibilidad de Uso:** área de moderada o baja fragilidad, que presentan erosión actual ligera o imperceptible, y pueden ser destinadas a usos conservacionistas y/o agrícolas más intensos aunque ecológicamente aceptables.

Cada una de estas áreas puede dar origen a nuevas clasificaciones según el nivel de erosión actual que presenten y el piso altitudinal en donde se ubiquen. La Figura 4 muestra el esquema metodológico empleado para obtener la zonificacion. Las reglas aplicadas a estos mapas resultaron del análisis de expertos y a la investigación de casos similares en estudios de otras cuencas en Venezuela (EDELCA, 2003a; Pineda *et al.*, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fragilidad Ambiental y Áreas Críticas Ambientales

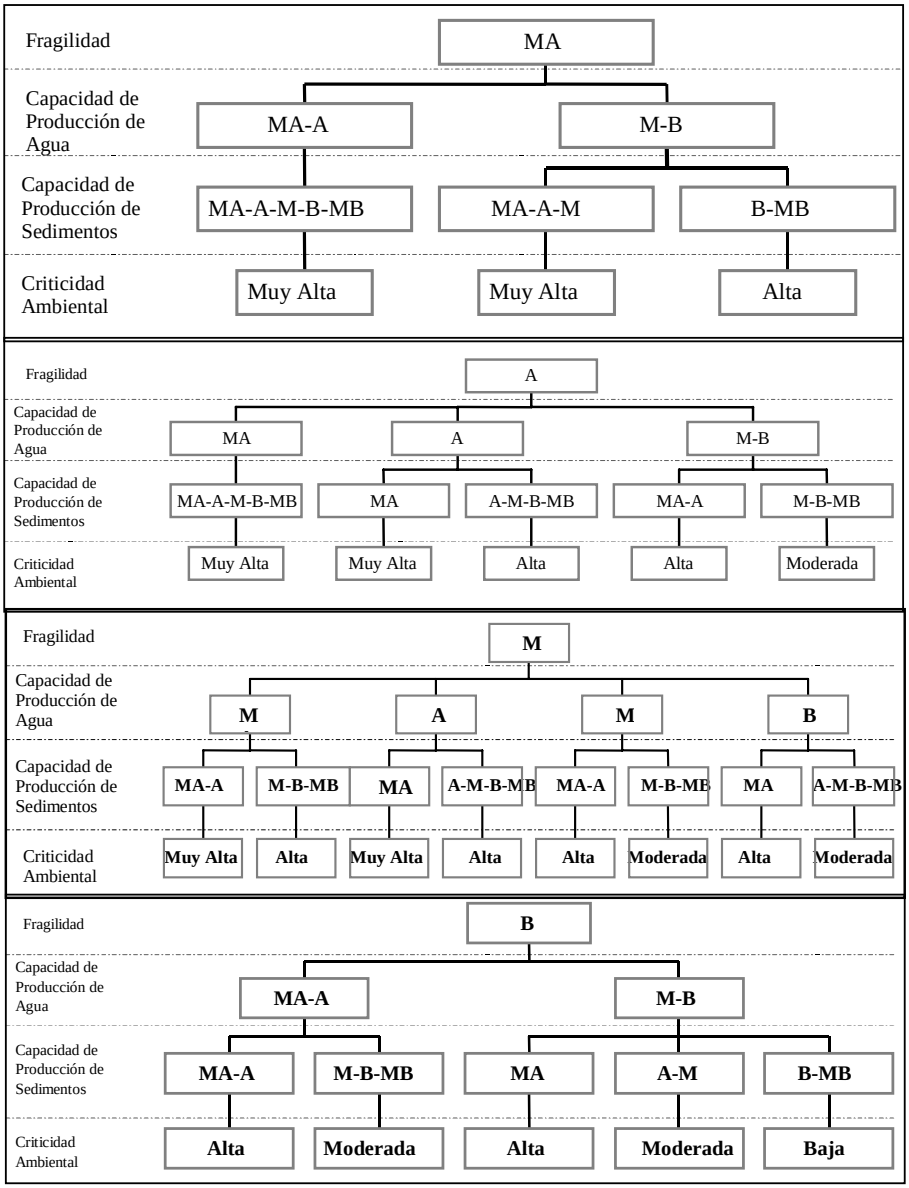
Fragilidad Ambiental: La Figura 5 muestra que 7 258 ha (50,02%) de la cuenca, es de alta a muy alta fragilidad. Las áreas de muy alta fragilidad, 2 339 ha (16,12%), son primero las faldas de las montañas muy erosionadas, donde la ganadería mal manejada, el cultivo en pendiente de cítricos y la construcción de vías, han provocado una importante degradación del ecosistema. Lo anterior se ha traducido, en casos extremos, en suelos decapitados, donde aflora la pedregosidad superficial como consecuencia de una gran erosión diferencial. En segundo término se tienen las áreas inundables ubicadas alrededor del embalse.

Las zonas de alta fragilidad, 4 919 ha (33,9%), están más dispersas, sin embargo, se concentran en las laderas medias y altas de la montañas bajo bosques nublados, donde la gran afectación sería sobre la biodiversidad y por otro lado evidencia alto riesgo potencial de erosión. Unas 5 846 ha (40,29%) de la cuenca presenta fragilidad moderada y, esta ubicada en las laderas medias y

bajas, con alta intervención y erosión moderada. Finalmente 1 169 ha (8,05%) son de baja fragilidad y están ubicadas en el valle y en el piedemonte con baja pendiente.

Áreas Críticas Ambientales

En la Figura 6 se señala que el 8 010 ha (55,21%) de la cuenca es de muy alta criticidad. Ella corresponde a las laderas bajas con erosión fuerte y laderas medias y altas bajo el bosque nublado y de alta fragilidad. En ésta se consiguen las mayores precipitaciones y una menor evapotraspiración, lo cual se traduce en mayor producción de agua, pero al mismo tiempo, son áreas con altas pendientes de alto riesgo y en donde cualquier proceso de intervención produciría erosión y gran cantidad de sedimentos que llegarían al embalse colmatándolo y reduciendo su vida útil.



Nomenclatura: A: Muy Alta; M: Moderada; A: Alta; B: Baja; MB: Muy Baja
Fuente: EDELCA 2003ª, con modificaciones propias.

FIGURA 3. Reglas para obtener las áreas críticas ambientales.

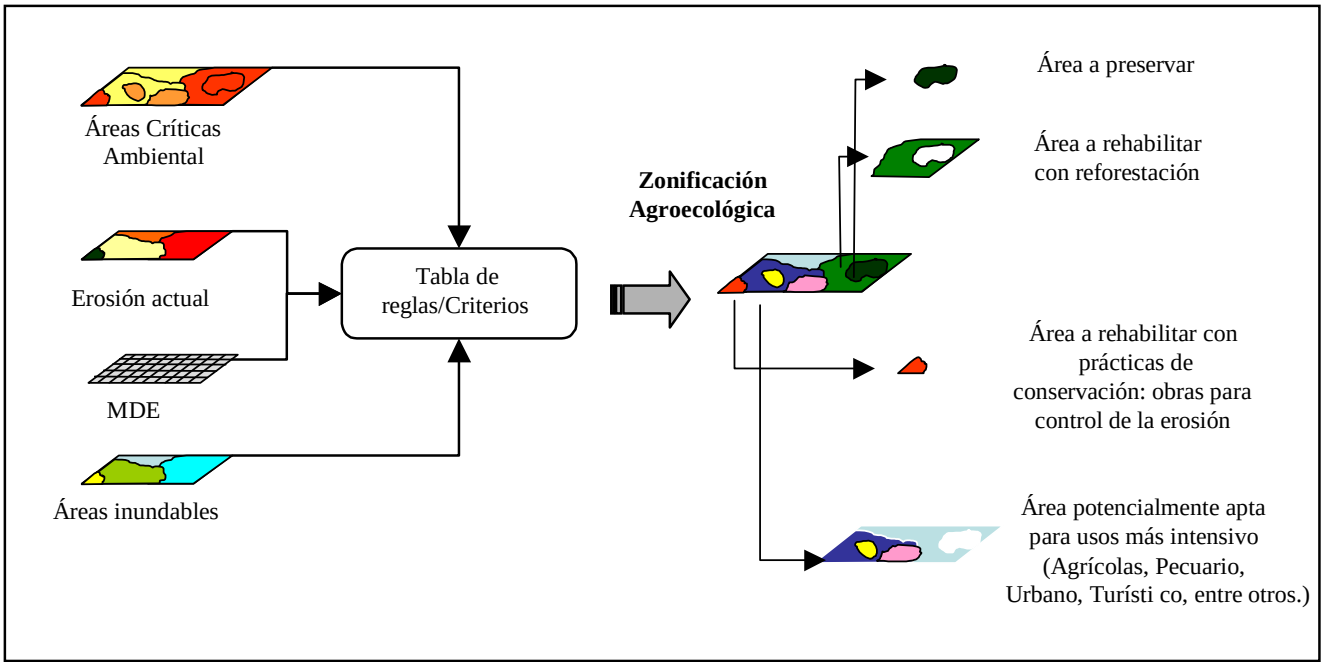


FIGURA 4. Esquema metodológico de la Zonificación Agroecológica.

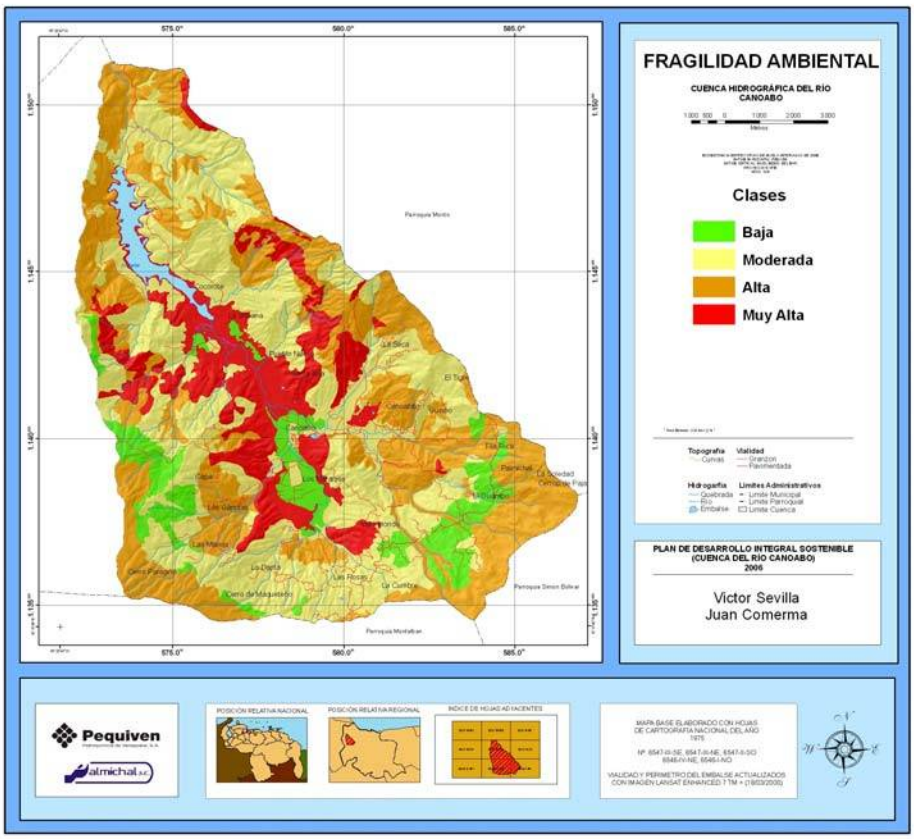


FIGURA 5. Mapa de Fragilidad Ambiental.

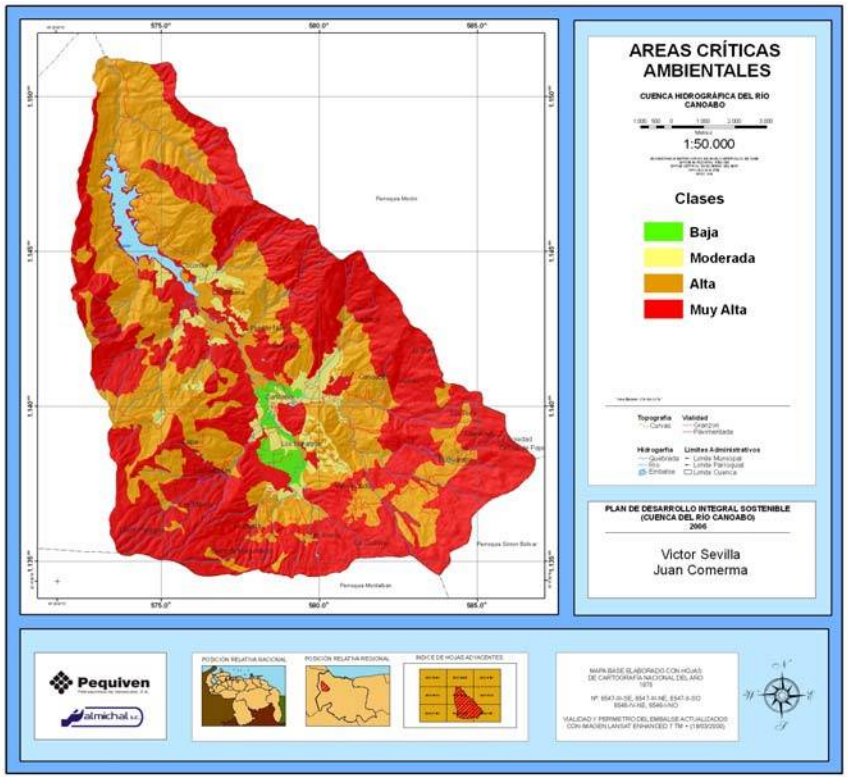


FIGURA 6. Mapa de Áreas Críticas Ambiental.

Las zonas de alta criticidad, con 5 390 ha (37,15%) de la superficie, se ubican en las laderas medias y bajas de moderada fragilidad ambiental y moderados niveles de producción de agua, pero con alta producción de sedimentos. Las áreas de moderada criticidad abarcan 728 ha (5,01%) y se ubican en el Sur de los valles del río Naranjo, Capa y Güineo, son áreas planas de baja a moderada fragilidad, baja producción de agua, y sedimentos. Sólo 145 ha (1%) de la cuenca presenta baja criticidad estando representada por las zonas planas del valle del río Canoabo con baja producción de agua y de sedimentos.

Zonificación Agroecológica

La Figura 7 representa la zonificación agroecológica, donde se separan las áreas de mayor importancia por:

Prioridad de preservación (PP): zonas que por su alta fragilidad ambiental, alta producción de agua, y/o por la alta producción potencial de sedimentos, deben ser protegidas legalmente, regularizando su uso a través de unidades de ordenamientos restrictivas dentro de ABRAE de peso.

N**ecesidad de Rehabilitación (NR):** Zonas que por presentar signos de degradación física, específicamente erosión, y riesgos de inundación, requieren de rehabilitación y mejoramiento.

Posible de Usar (PU): Áreas de posible uso conservacionista y/o agrícola más intensivo, pero, ecológicamente aceptable.

La cuenca presentó 3 148 ha (21,69%) como áreas de Muy Alta Prioridad para la Preservación (MAPP), debido a su producción de agua y alto riesgo de generar sedimentos. Estas áreas forman una herradura en la parte sur sobre los 800 m.s.n.m., en laderas cubiertas de bosque nublado de gran biodiversidad, y donde ocurren las mayores precipitaciones. Es importante señalar que algunas de estas áreas requieren ligeras y moderadas necesidades de rehabilitación, debido a algunos problemas de erosión. Esta zona debía estar protegida por un ABRAE, tal como un Parque Nacional o un Monumento Natural, y dentro de ella, poseer una unidad de ordenamiento restrictiva como la zona de protección integral que impida cualquier intervención de la misma, excepto usos como: producción de agua, captura de CO_2

y reserva de flora y fauna. Esto resulta especialmente necesario ya que muchas de las cuencas vecinas ya han sido totalmente deforestadas y la cuenca del río Canoabo aun posee una importante superficie de bosques prístinos.

Las Áreas de Alta Prioridad de Preservación (APP), ocupan 4 073 ha (28,07%), y corresponden con áreas de muy alta criticidad para la producción de aguas, ubicadas a más de 500 m.s.n.m., en bosque semideciduo y nublado. También estas zonas deben ser preservadas con unidades de ordenamiento, menos restrictivas que las anteriores, pero siempre dentro de una ABRAE. Los usos permitidos pudieran ser: producción de agua, captura de CO_2, reserva de flora y fauna y ecoturismo. Adicionalmente 331 ha (2,28%) son áreas de Alta Prioridad de Preservación, pero, por causa de riesgos de inundación.

Las zonas de Moderada Prioridad de Preservación (MOPP) ocupan 923 ha (6,36%). Ellas son áreas de alta criticidad ambiental, ubicadas entre los 500 y 800 m.s.n.m., al ser de alta producción de sedimentos más no de agua. Su prioridad de preservación es sólo de carácter moderado. Los usos permitidos pudieran incluir: captura de CO_2, ecoturismo, usos forestales y agrosilvopastoriles. Existen zonas que presentan diferentes grados de erosión: fuerte, moderada o incluso fragmentación del bosque nublado que requieren prácticas de rehabilitación, mejoramiento y conservación.

Las áreas que requieren mayor gasto en rehabilitación son las faldas de las montañas fuertemente erosionadas, unas 1 151 ha (7,93%). Las de moderadas necesidades de erosión son 976 ha (6,72%). Los usos permitidos van desde agrosilvopastoriles hasta cultivos con prácticas conservacionistas.

Los terrenos posibles a estar bajo uso, incluyen dos situaciones. Por una parte aquellos con restricciones, que están ubicados del norte al sur en las laderas bajas, bajo bosque deciduo y semideciduos, abarcando 2 829 ha (19,49%) de la cuenca y poseen moderada fragilidad y criticidad ambiental. Ellas se pudieran utilizar en actividades forestales, agroforestales y, silvopastoril. La segunda situación corresponde con aquellas áreas de baja fragilidad y criticidad ambiental, ubicadas en el fondo del valle del río Canoabo, al sur de la población del mismo nombre, en zonas planas con clases I, II y III por capacidad de uso. En estas tierras que ocupan 841 ha (5,79%) de la cuenca, se podrían tener usos agrícolas más intensos, como hortícolas, cerealeros y leguminosas.

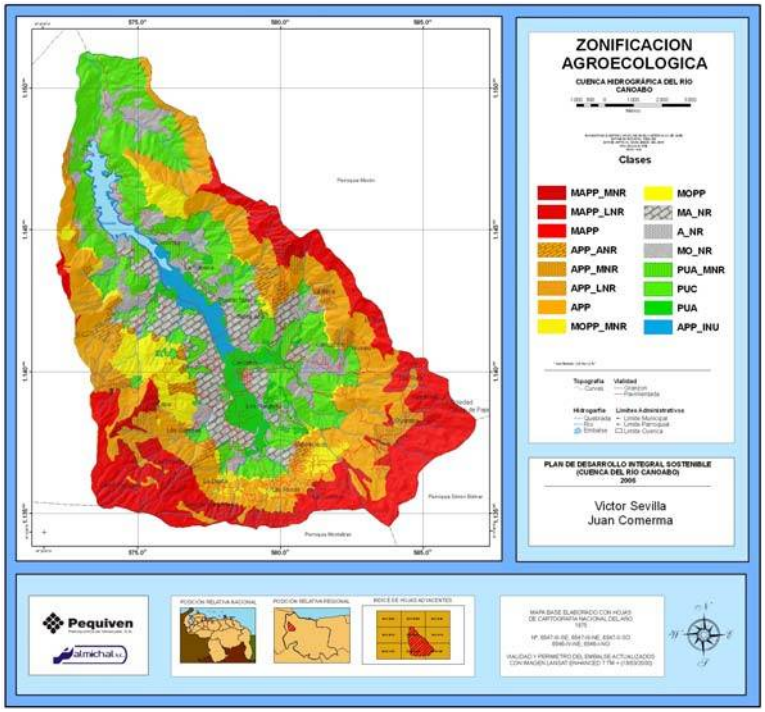


FIGURA 7. Mapa de Zonificación Agroecológica.

De manera general se hace imperante la implementación de ciertas acciones, como el establecimiento de un ABRAE con sus respectivas unidades de ordenamiento y un reglamento de uso, para proteger las áreas del Bosque Nublado, las cuales sostienen la estabilidad o equilibrio morfodinámico en esas zonas de altas pendientes, fomentar la recuperación de áreas erosionadas y de mayor criticidad, para que sean empleadas en usos ecológicamente aceptables como agroforestal, silvopastoril o plantaciones forestales e inclusive la preservación para producción de agua, captura de CO_2 o reserva biológica.

CONCLUSIONES

- El enfoque metodológico usado por el segundo autor (1999), con las adaptaciones realizadas, y que está basado en los conceptos de fragilidad y áreas críticas ambientales, para luego proponer cuáles son las áreas que deben ser preservadas, rehabilitadas y las que pueden usarse con fines agrícolas sostenibles, se considera satisfactorio.

- La cuenca del río Canoabo es en su mayoría ambientalmente frágil, debido principalmente a la inestabilidad de su ecosistema, a la baja capacidad de recuperación del medio frente a fenómenos desestabilizadores y, a la alta biodiversidad que evidenció su vegetación. Se une a esta fragilidad algunos elementos que categorizar a la cuenca como de alta criticidad, los cuales son una alta capacidad de producir y almacenar agua y también el alto potencial de producir sedimentos, negativos para la represa.

- La cuenca posee buenas condiciones para la producción sostenible de agua, especialmente aquellas áreas que forman una herradura en la parte sur, sobre los 800 m.s.n.m., y actualmente bajo un bosque denso nublado (25%). Dicha área es de Muy alta Prioridad de Preservación (MAPP), y conviene ser preservada con un ABRAE y con unidades de ordenamiento restrictivos. Adicionalmente, existe otro 25% de áreas que también son de Muy Alta Prioridad de Preservación, pero, en estos casos, debido a su alta fragilidad ambiental, a su riesgo de producir de sedimentos o a la posibilidad de sufrir inundaciones. Aproximadamente 15% de la cuenca necesita ser rehabilitado por causa de la erosión, especialmente en las zonas del piedemonte y laderas medias. Por último, un 20% de su superficie puede ser utilizadas en usos conservacionistas (forestal, agroforestal y silvopastoril) y sólo 6%, localizada en el valle, soportarían usos agrícolas más intensivos.

BIBLIOGRAFÍA

Comerma, J., C. Padilla, D. Machado y V. Sevilla. 1999. Áreas de atención ambiental para actividades petroleras en Venezuela. Informe Técnico. Mapas. PDVSA-PALMAVEN. 43 p.

EDELCA. 2003a. Estudio Plan Maestro de la Cuenca del río Caroní. Evaluación Ambiental, Agrícola y Forestal de las Tierras (FAO). Caracas Venezuela. 77 p.

Lores, C. 2006. Caracterizacion de la Cobertura Vegetal y el Uso Actual de la Cuenca del río Canoabo. Informe técnico. PEQUIVEN. Morón. 40 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 Sostenible de Agua. Manejo Integral de la Cuenca Alta del río Guárico, Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica Milenio. Informe técnico. 240 p.

Sevilla, V., J. Comerma y O. Silva. 2008a. Caracterización de la cuenca del río Canoabo. I Análisis Climático y de Producción de agua. Agronomía Trop. 59(1):33-44.

Sevilla, V. y J. Comerma. 2008b. Caracterización de la cuenca del río Canoabo. II. Suelos y Tierras. Agronomía Trop. 59(2):149-160.

Sevilla, V. y J. Comerma. 2008c. Caracterización de la cuenca del río Canoabo en el estado carabobo, Venezuela. III. La erosión de los suelos. Agronomía Trop. 59(2):249-264.

Agronomía Trop. 59(3): 275-287. 2009

INFLUENCIA DE LA PODA Y DE LA APLICACIÓN DE NITRATO POTÁSICO Y TIOSULFATO POTÁSICO SOBRE EL MANGO EN MARACAIBO, VENEZUELA. I. FLORACIÓN

INFLUENCE PRUNING AND POTASSIUM NITRATE AND POTASSIUM TIOSULPHATE APPLICATION OVER THE HANDLE IN MARACAIBO, VENEZUELA. I. FLOWERING

Osmar Quijada R.*, Baudilio Herrero V., Rosa González**, Ángel Casanova*** y Ramón Camacho***

*Investigadores. INIA - Zulia. Maracaibo, estado Zulia. Venezuela. E-mail: oquijada@inia.gov.ve
**Profesores. Universidad de Valladolid. España. Palencia. España. E-mail: baudilio@agro.uva.es
***Profesor. Universidad del Zulia. LUZ. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. E-mail: acasanova@hotmail.com.

RESUMEN

La planicie de Maracaibo presenta condiciones agroecológicas aceptables para la producción de mango. Se evaluó la influencia de la poda y de la aplicación de nitrato potásico (KNO_3) y tiosulfato potásico (TSK) sobre la floración de los cultivares de mango Irwin y Tommy Atkins en la planicie de Maracaibo, Venezuela. La investigación se realizó en el Centro Frutícola del Estado Zulia (CENFRUZU), en el municipio Mara. Con un diseño factorial de poda a 2 niveles (sin poda y con poda) e inductor floral a 2 niveles (KNO_3 al 6% y TSK al 1%) más un control sin poda y sin inductor, se realizaron al azar en plantas de Irwin y Tommy Atkins, con 4 plantas por tratamiento, repitiéndose 2 ciclos productivos, diferenciados por la fecha de aplicación, denominándolos inducción temprana y tardía. En total, se realizaron 4 ensayos sobre lotes diferentes. Se evaluaron: los períodos de floración, de máxima floración y la relación entre la floración y las condiciones climatológicas de la región. La floración de Irwin y Tommy Atkins se produjo con temperaturas mínimas por encima de 23 °C, después de la época más lluviosa. En la inducción temprana la aplicación de KNO_3 combinado con la poda adelantó el período de floración en más de 30 días en Irwin y 21 días en Tommy Atkins. Este tratamiento produjo una reducción en la duración del período de floración. El TSK adelantó en 21 d la floración de los 2 cultivares. Los resultados obtenidos indican que el KNO_3 combinado con la poda, sobre el Irwin, adelantó el período de floración en la inducción temprana, y concentró los períodos de floración y de máxima floración en esta región.

Palabras Clave: Mango; *Mangifera indica*; floración; poda; promotores.

SUMMARY

The plain terrain of Maracaibo has an acceptable agroecological condition to the handle production. Pruning influence was evaluated and the application over the flowering of potassium nitrate (KNO_3) and potassium tiosulphate (TSK) in cultivars Irwin and Tommy Atkins. The research was made at Centro Frutícola (CENFRUZU) at Mara Municipality, Zulia State, Venezuela, treatments of pruning at two levels (without pruning and with pruning), and 2 flowering inductors levels (KNO_3 6% and TSK 1%), also was used a control, without pruning and without inductor, was realizated at random using 2 Irwin and Tommy Atkins with 4 plants per treatment, was reloaded in 2 productive cicles for every cicle 2 different test were carried out differenced by date of treatments aplication and named early induction and late induction. Four test was realized over diferent lots. Was evaluated floral variables, and the floral seasons. The flowering of Irwin and Tommy Atkins was after high rainfall period and temperature over 23 ºC. In early induction KNO_3 combined with pruning accelerate the flowering period in one month for Irwin, and three weeks for Tommy Atkins. This treatment also diminished considerably the flowering period duration. TSK accelerate in three weeks the flowering of the studied varieties. The results of this research showed that the KNO_3 combined with pruning over the Irwin reached, accelerate the flowering at the early induction and concentrate the periods of flowering and maximum flowering in this region.

Key Words: Handle; *Mangifera indica*; flowering; pruning; promotors.

RECIBIDO: octubre 15, 2008

ACEPTADO: abril 23, 2009

INTRODUCCIÓN

El mango, *Mangifera indica* L., es un fruto de importancia económica, a nivel mundial la cosecha en el 2004 fue de 26,3 millones de toneladas, la India ocupó el primer lugar con el 41,1%, segundo lugar China con el 13,8%, tercer lugar Tailandia con 6,6% y México ocupó el cuarto lugar con el 5,7% del total. Las exportaciones mundiales de mango del 2003 alcanzaron un valor de 560,4 millones de dólares, destaca México como primer exportador con 23,5% del total exportado (FAO, 2005)

En Venezuela, muestra una floración estacional, casi todos los cultivares florecen durante los meses de diciembre, enero y febrero. Sus frutos se cosechan a finales de abril, mayo, junio y julio, dependiendo del cultivar y de las condiciones ambientales imperantes en cada zona (Avilán *et al*., 1992).

Las condiciones climáticas ejercen una gran influencia sobre el comportamiento del mango. En el trópico, la floración del mango es más errática o irregular con respecto a la floración en el subtrópico, donde es más regular y consistente. Diversos estudios han demostrado que las bajas temperaturas inducen la floración en mango (Núñez-Elisea y Davemport; 1995; Chaikiattiyos *et al*., 1994; Davenport, 2007).

Davenport (2007) plantea que la floración involucra la regulación hormonal del brote para la iniciación e inducción, acontecimientos resultantes en la formación de un brote reproductivo. Un equilibrio o relación de fitohormonas reguladoras endógena, aunque la auxina de las hojas y citoquininas, de las raíces, aparentemente gobiernen el ciclo de iniciación independiente de las influencias inductivas. Se cree que la inducción de los brotes vegetativos o reproducción es dominada o gobernada por una relación entre promotor florigeno regulado por la temperatura (PF) y un promotor vegetativo (PV) asociado a la edad, durante la iniciación del ramo.

La mayoría de las copas comerciales empleadas en Venezuela, son monoembriónicas de origen subtropical que expresan un alto desarrollo vegetativo con elevadas temperaturas (Avilán, 2000), lo cual, además de afectar el proceso de floración, dificulta los controles fitosanitarios y la cosecha, e incide negativamente en la productividad del cultivo (Campbell, 1988; Whiley *et al*., 1991; Chaikiattiyos *et al*., 1994).

En los trópicos, el manejo de la floración fuera de la época normal de floración en los árboles de mango se está logrando con éxito con la sincronización de la iniciación del brotes mediante la poda o remoción de punta (Tip pruning), y el uso de aspersiones de nitrato, asociado o junto con el manejo de la edad de la rama para inducir la floración, lo que puede ser realizado durante cualquier época del año (Davenport, 2007).

Entre los promotores florales conocidos, destacan el nitrato de potasio (KNO_3), nitrato de amonio y nitrato de calcio, que han sido probados para incrementar el rendimiento y controlar la floración del mango en el trópico (Rojas y Leal, 1997; Quijada, 1999; Cárdenas, 2003; Tripathi, 2003; Yeshitela *et al*., 2005).

Desde 1992 se vienen realizando experimentos en diferentes cultivos usando tiosulfato de amonio (TSA) y tiosulfato de potasio (TSK), como fertizantes líquidos, y como promotores florales en mango (Añez, 2004). El poco conocimiento del efecto que tienen estos productos en condiciones tropicales, obliga a realizar investigaciones tendientes a su mejor y mayor utilización (Casanova y Castillo, 2002).

La planicie de Maracaibo, localizada en la región noroccidental del estado Zulia, Venezuela, tiene un potencial apreciable para la producción de frutales, especialmente los de origen tropical. Esta zona esta caracterizada por presentar vegetación de bosque tropical muy seco con una precipitación anual promedio de 500-600 mm., temperatura promedio de 28 ºC, evaporación anual de 2000 - 2300 mm., y humedad relativa de 75% (Tong *et al*., 1991).

Ante esta situación, se planteó la necesidad de evaluar en las condiciones agroecológicas de la planicie de Maracaibo las respuestas de las variedades de mango Irwin y Tommy Atkins, bajo el efecto de la poda, asociada a la aplicación de KNO_3 y TSK, en dos épocas de inducción, con la finalidad de estudiar su floración y producción en relación con las condiciones climáticas de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el Centro Frutícola del Estado Zulia (CENFRUZU), municipio Mara del estado Zulia, ubicado geográficamente entre las coordenadas 08º12'30" y 11º47'30" de latitud norte; 70º44'15" y 73º22'43" de longitud oeste y a una altitud entre 40 y 50 metros sobre el nivel del mar.

Según Ewel *et al*. (1976) corresponde a una zona de vida de bosque tropical muy seco. Las precipitaciones oscilan de 500 a 600 mm anuales, con un régimen bimodal que presenta 2 períodos lluviosos, el primero de menor magnitud de mayo a junio y otro de mayor magnitud de septiembre a noviembre. La evapotranspiración potencial media es de 2 200 mm anuales, la temperatura media anual de 28 °C y una humedad relativa de 65-73%.

Se evaluaron los cultivares Irwin y Tommy Atkins seleccionados por presentar el mejor comportamiento productivo para la planicie de Maracaibo según Quijada *et al*. (2004)**.** Las plantas utilizadas para el desarrollo de este estudio fueron injertadas sobre el patrón "Bocado" y fue realizada cuando los patrones tenían una edad de 9 meses aproximadamente. Para la fecha del trabajo tenían una edad de 8 y 9 años respectivamente, años que están comprendidos en el "Período de Crecimiento" (Avilán, 1980). Plantadas a una distancia de 10 x 10 m y tienen un plan trimestral de fertilización con fórmula completa 12-12-17 con 2,4 y 2,8 kg correspondiente a cada año estudiado y aplicado manualmente.

Se contempló el uso de reguladores de inducción floral, empleándolos de forma aislada y combinados con poda, se utilizó la poda de 50 cm desde el ápice de las ramas en toda la copa de la planta de forma centrípeta, realizándose de 5 a 6 meses antes de la aplicación de los promotores florales, según el siguiente cronograma:

Inducción temprana: Para el ciclo 2003-2004 se realizó del 3 al 7 junio del año 2003, mientras que para el ciclo 2004-2005 fue llevado a cabo entre el 1 y 4 de junio del 2004.

Inducción tardía: Para el ciclo 2003-2004 se realizó del 5 al 9 julio año 2003, mientras que para el ciclo 2004-2005 fue efectuado entre el 4 y 8 de julio del 2004.

Se emplearon 2 promotores florales: el KNO_3, aplicado en la dosis de 6%, (60 g de KNO_3 en 1 l de agua) y el TSK a la dosis de 1%. Ambos inductores fueron aplicados por vía foliar en horas de la mañana, con una asperjadora, suministrando 4 litros de solución por planta con la finalidad de cubrir uniformemente la misma.

Se realizaron un total de 4 ensayos, correspondientes a 2 ciclos productivos (2003-2004 y 2004-2005). En cada ciclo se aplicaron los tratamientos inductivos en 2 fechas diferentes.

a. Inducción Temprana

Para el ciclo 2003-2004 se utilizaron tratamientos el 3 de diciembre del año 2003, mientras que para el ciclo 2004-2005 se aplicó el día 1 de diciembre del 2004. Esta inducción tuvo la finalidad de lograr cosechas fuera del período normal de producción del mango en la región.

b. Inducción Tardía

Para el ciclo 2003-2004 se utilizaron los tratamientos el 6 de enero del año 2004, mientras que para el ciclo 2004-2005 fue ejecutado el 5 de enero del 2005. Estas aplicaciones correspondieron a la época donde normalmente ocurre la floración natural del mango en la región (Avilán *et al*., 1992), con la finalidad de incrementar la producción de flores.

Variables Evaluadas

Período de floración (PF)

El inicio se consideró cuando las panículas florales representaban del 5 al 10% de la superficie de la copa y el final cuando no había más emisiones florales o que no sobrepasaban el 5%.

Período de máxima floración (PMF)

Intérvalo de tiempo (días) entre la fecha de la aplicación del inductor y el momento cuando ocurrió la mayor emisión floral de las plantas, es decir, cuando las plantas estaban florecidas entre 55 y 75%.

Relaciones de las variables de floración con la climatología

Se realizó un registro de las condiciones climatológicas correspondientes a la estación meteorológica del Centro Vitícola del Zulia y se relacionaron con las variables de floración. Las variables climatológicas analizadas fueron las temperaturas media, máxima y mínima, las precipitaciones y la humedad relativa. Esta estación se encuentra aproximadamente unos 3 km de distancia en línea recta del área experimental.

Diseño experimental

El diseño fue un arreglo factorial a dos niveles de poda (po=sin poda y p_1=con poda) y 2 niveles de promotores florales (KNO_3 y TSK), más un control sin poda y sin promotor (Para cada cultivar) ver Cuadro1. Los trata-

mientos fueron localizados al azar con 4 repeticiones. La unidad experimental está compuesta por un solo árbol. El experimento se repitió en 2 ciclos y para cada uno se realizaron 2 ensayos (inducción temprana y tardía).

CUADRO 1. Tratamientos de poda e inductores de floración sobre dos cultivares de mango aplicados durante floración temprana y tardía.

Variedad	Nº de Tratamientos	Tratamientos
Irwin	T0 (Control)	Sin Poda + Sin Inductor
	T1	Sin Poda + KNO_3
	T2	Sin Poda + TSP
	T3	Poda + KNO_3
	T4	Poda + TSP
Tommy Atkins	T0 (Control)	Sin Poda + Sin Inductor
	T1	Sin Poda + KNO_3
	T2	Sin Poda + TSP
	T3	Poda + KNO_3
	T4	Poda + TSP

Se realizó un análisis de varianza separadamente para cada ensayo y se determinaron los efectos de: tratamiento, cultivar, interacción variedad x tratamiento y se compararon las medias con el control. Los efectos de poda, promotor e interacción poda x promotor se analizaron por contrastes ortogonales.

Se aplicó un análisis de varianza del conjunto de los cuatro experimentos, con el propósito de determinar efectos de la época (momento de la inducción) y ciclo productivo, así como las interacciones entre los ciclos productivos y los tratamientos.

Los datos se sometieron previamente a una verificación de outliers y a un Test de normalidad usando la prueba Shapiro-Wild (Shapiro y Wild, 1965).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación entre la floración y las variables climatológicas

Floración *vs.* temperatura

En el Cuadro 2 se presentan las temperaturas correspondientes a los años 2003, 2004 y 2005, apreciándose que durante los meses que precedieron a los períodos de floración, oscilaron entre una temperatura máxima de 32,6ºC a 35,1ºC y mínimas entre 23,2 y 26,7ºC.

Las temperaturas mínimas durante los meses que precedieron y durante la floración se situaron entre 23 y 25°C (septiembre-enero), correspondiendo a diciembre la temperatura mínima más baja durante los 3 ciclos, mes que presentó mayor número de días con temperaturas mínimas diarias.

Durante los 2 períodos no se observaron temperaturas inferiores a 20 ºC (Cuadros 3 y 4), lo cual coincide con Rodríguez (2004), para la misma región. Para las condiciones subtropicales de México por Nuñez-Elisea *et al*. (1995) y Osuna–Enciso *et al*. (2000), tienen que registrarse temperaturas inferiores a 20 ºC para que ocurra la inducción floral. La amplitud térmica media mensual (AT) durante los 3 meses que precedieron a la floración (septiembre octubre y noviembre) varió entre 7,9 ºC y 8,4 ºC para los 2 ciclos, mientras que durante los 2 meses cuando ocurrió la floración (diciembre-enero) varió entre 7,4 ºC y 7,8 ºC para cada ciclo. Se aprecia una disminución del gradiente de temperatura durante los meses que precede y ocurre la floración con respecto a los demás meses del año.

Floración *vs.* precipitación

Posterior a los 2 meses de mayor precipitación (septiembre y octubre) de cada ciclo, empieza una paulatina disminución del régimen pluviométrico (Cuadro 5), esto es quizas el estímulo que requiere la planta para inducir la floración del mango en la región, considerándose el momento apropiado para la aplicación de los promotores florales con la finalidad de adelantar la floración (inducción temprana).

Precipitaciones altas 2 meses antes de la inducción floral y escasa en la prefloración, son consideradas como situación propicia para la floración del mango, esto coincide con lo expresado por (Whiley, 1993; Nuñez-Elisea *et al*., 1995; Avilán *et al*., 2003; Yeshitela *et al*., 2005).

CUADRO 2. Temperaturas máxima, mínima y media y amplitud térmica, expresado en ºC, en la planicie de Maracaibo (2003-2005).

Meses	Año 2003				Año 2004				Año 2005			
	Tmax	Tmin	Tmed	AT	Tmax	Tmin	Tmed	AT	Tmax	Tmin	Tmed	AT
Enero	34,2	24,3	27,5	9,9	32,2	24,3	26,8	7,9	33,8	24,5	27,2	9,3
Febrero	34,6	24,8	27,7	9,4	33,9	24,5	27,4	9,4	34,1	24,7	26,8	9,4
Marzo	34,3	24,6	27,7	9,7	34,7	24,3	28,7	10,4	34,5	25,7	28,9	8,8
Abril	34,2	25,1	28,7	9,2	34,6	25,3	28,5	9,3	34,6	25,6	29,1	9,0
Mayo	34,7	26,2	29,8	8,5	34,8	26,0	28,4	8,8	34,5	25,8	28,4	8,7
Junio	34,6	25,8	28,4	9,8	34,6	26,4	29,0	8,2	34,7	25,6	28,9	9,1
Julio	34,7	25,4	29,1	8,8	34,4	25,7	28,9	8,7	34,8	26,6	29,6	8,2
Agosto	36,8	27,4	29,6	9,4	35,6	27,1	29,2	8,5	35,1	27,8	29,1	7,3
Sept.	35,1	26,7	28,6	8,4	34,7	26,9	27,8	7,8	34,5	25,7	29,3	8,8
Oct.	32,8	24,6	27,5	8,2	32,1	24,4	27,6	7,7	33,0	24,6	27,9	8,4
Nov.	32,6	24,7	27,6	7,9	31,8	24,8	26,9	7,0	32,0	24,2	26,9	7,8
Dic.	32,0	24,6	27,1	7,4	31,1	24,1	26,9	7,0	31,1	24,1	26,8	7,0
PROMEDIO	34,21	25,4	28,3	8,1	33,6	25,3	28,0	8,3	33,9	25,4	28,2	8,5

Tmáx= Temperatura Máxima Tmín= Temperatura Mínima Tmed.= Temperatura media AT= Amplitud térmica
Datos: Estación del Centro Vitícola del estado Zulia.

CUADRO 3. Número de días con temperaturas mínimas durante los meses de septiembre del 2003 a enero de 2004 en la planicie de Maracaibo.

Meses	Ciclo 2003-2004					
	25°C	24°C	23°C	22°C	21°C	20°C
Septiembre	2	1	0	0	0	0
Octubre	4	4	1	0	0	0
Noviembre	4	8	1	0	0	0
Diciembre	12	10	4	0	0	0
Enero	6	4	1	0	0	0

Datos: Estación del Centro Vitícola del estado Zulia.

CUADRO 4. Número de días con temperaturas mínimas durante los meses de septiembre del 2004 a enero de 2005 en la planicie de Maracaibo.

Meses	Ciclo 2003-2004					
	25°C	24°C	23°C	22°C	21°C	20°C
Septiembre	3	1	0	0	0	0
Octubre	5	1	1	0	0	0
Noviembre	6	10	3	0	0	0
Diciembre	12	10	6	0	0	0
Enero	8	6	2	0	0	0

Datos: Estación del Centro Vitícola del estado Zulia.

CUADRO 5. Datos meteorológicos del Centro Vitícola del Estado Zulia-Venezuela (2003-2005).

Meses	Año 2003			Año 2004			Año 2005		
	Prec	T	HR	Prec	T	HR	Prec	T	HR
Enero	0,0	27,5	71	2,6	26,8	74	10,5	27,2	74
Febrero	0,0	27,7	69	0,0	27,4	70	34,0	26,8	75
Marzo	0,0	27,7	70	0,0	28,0	68	0,0	28,9	70
Abril	46,4	28,7	77	41,8	28,5	75	12,4	29,1	73
Mayo	8,0	29,2	72	107,6	28,4	77	11,8	28,4	80
Junio	33,5	28,4	78	6,0	29,0	73	35,4	28,9	77
Julio	30,2	29,1	73	31,1	28,9	72	10,3	29,6	72
Agosto	26,5	29,6	74	73,4	29,2	73	76,4	29,1	76
Septiembre	165,2	28,6	78	101,4	27,8	80	87,0	29,3	74
Octubre	104,2	27,5	85	109,0	27,6	83	110,5	27,9	72
Noviembre	53,8	27,6	83	69,0	26,9	84	64,3	26,9	84
Diciembre	47,9	27,1	81	11,1	26,9	77	41,5	26,8	78
Total	515,7	–	–	553	–	–	494,1	–	–
Promedio	42,96	28,3	75,9	46,08	27,95	75,5	41,18	28,24	75,4

Prec= Precipitación (mm) T= Temperatura HR= Humedad Relativa
Datos: Estación del Centro Vitícola del estado Zulia.
Coordenada geaográficas: 08º 12' 30" y 11º 47' 30" Latitud Norte.
70º 44' 15" y 73º 22' 43" Longitud oeste.
Entre 40 y 45 metros sobre el nivel del mar.

El período de escasa precipitación tiende a reducir o paralizar el desarrollo vegetativo, además crea las condiciones para que la cantidad de hojas maduras donde se sintetiza la sustancia inductora de la floración se incremente (Nuñez-Elisea *et al*., 1995). Resultados similares han sido obtenidos en clima tropical (Pongsomboon *et al*., 1997.; Baily *et al*., 1999). Sin embargo, en climas subtropicales el efecto del estrés hídrico como iniciador de la floración no ha sido consistente (Chiakiattiyos *et al*., 1994; Nuñez-Elisea *et al*., 1995).

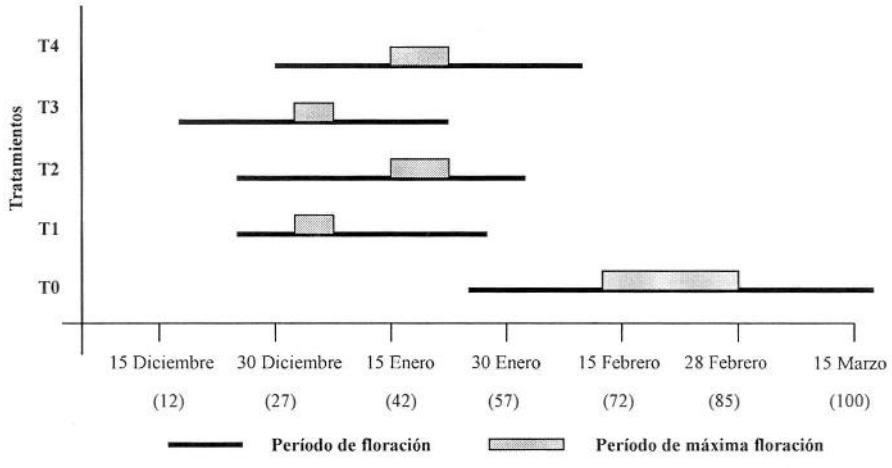
Floración *vs.* humedad relativa

En los meses que precedieron y durante la ocurrencia de la floración, en cada ciclo productivo, la humedad relativa se incrementó en el rango de 80 a 85% (Cuadro 5), correspondiendo a los meses de octubre y noviembre, meses con mayor precipitación en la región. Disminuyendo posteriormente durante los meses de floración para las inducciones (temprana y tardía).

Al respecto, Young y Sauls (1979) establecen que una elevada humedad relativa interfiere en la polinización del mango y favorece la aparición de enfermedades. En este sentido, Ravishankar *et al*. (1979) consideran que una disminución de la humedad relativa desde 79,5% hasta 56,5% y una sequía moderada son favorables para la diferenciación floral.

Efecto de los inductores sobre el período de floración

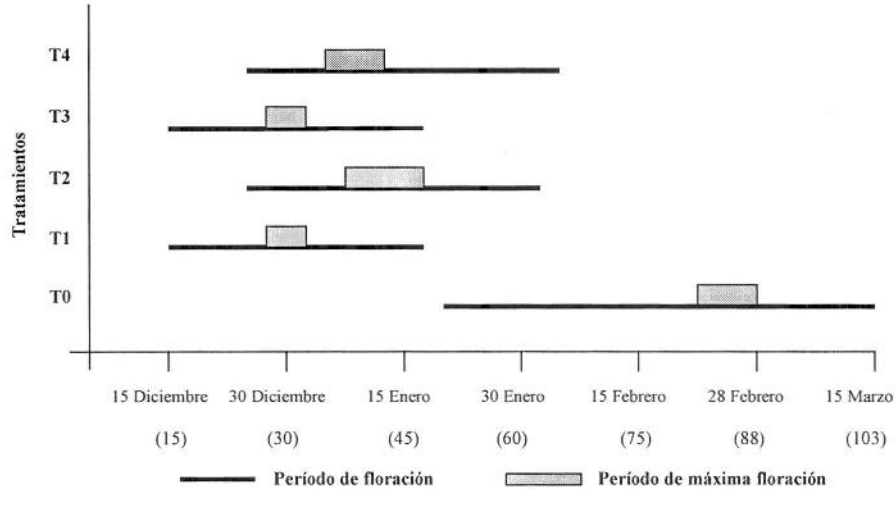
Para la inducción temprana los promotores indujeron un adelanto significativo de la floración respecto a los controles de las 2 variedades (Figuras 1, 2, 3 y 4). El KNO_3 en todos los casos, adelantó unos 34 d la floración en Irwin y 21 d en Tommy Atkins para los 2 ciclos, mientras que el TSK la adelantó en los 2 cultivares 20 d. Adelantos por aplicaciones de promotores florales y podas han sido logrados por Davenport y Nuñez-Elisea (1986); Avilán *et al*. (1998); Quijada (1999); Tripathi (2002); Cárdenas (2003); Yeshitela *et al*. (2005).



( ): Días transcurridos después de la aplicación de los tratamientos. Fecha de podas 3-7/6/2003
Fecha de aplicación 3/12/2003.

T0 (sin poda + sin inductor); T1 (sin poda + nitrato de potasio); T2 (sin poda + tiosulfato de potasio), T3 (poda + nitrato de potasio) y T4 (poda + tiosulfato de potasio).

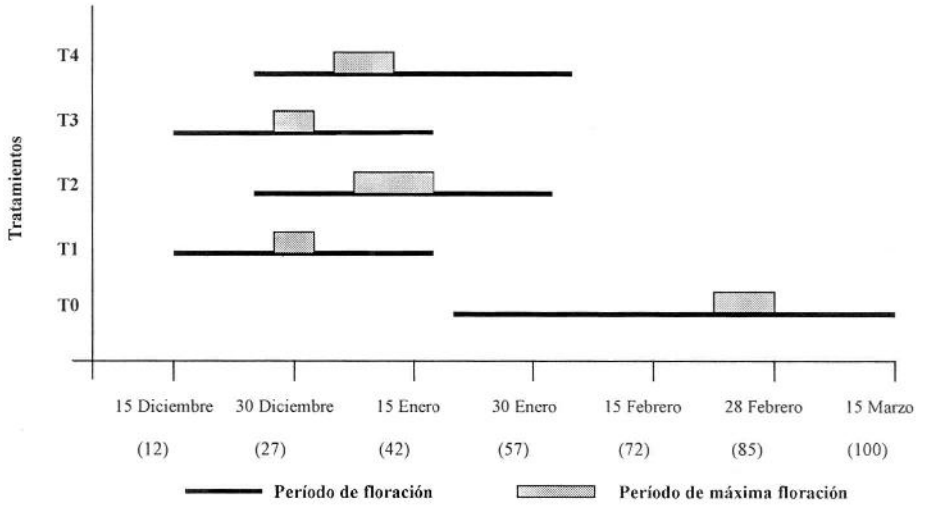
FIGURA 1. Período de floración (PF) y máxima floración (MF) para el Irwin en la inducción temprana para el ciclo productivo 2003-2004.



( ): Días transcurridos después de la aplicación de los tratamientos. Fecha de podas 1-4/6/2004. Fecha de aplicación 1/12/2004.

T0 (sin poda + sin inductor); T1 (sin poda + nitrato de potasio); T2 (sin poda + tiosulfato de potasio), T3 (poda + nitrato de potasio) y T4 (poda + tiosulfato de potasio).

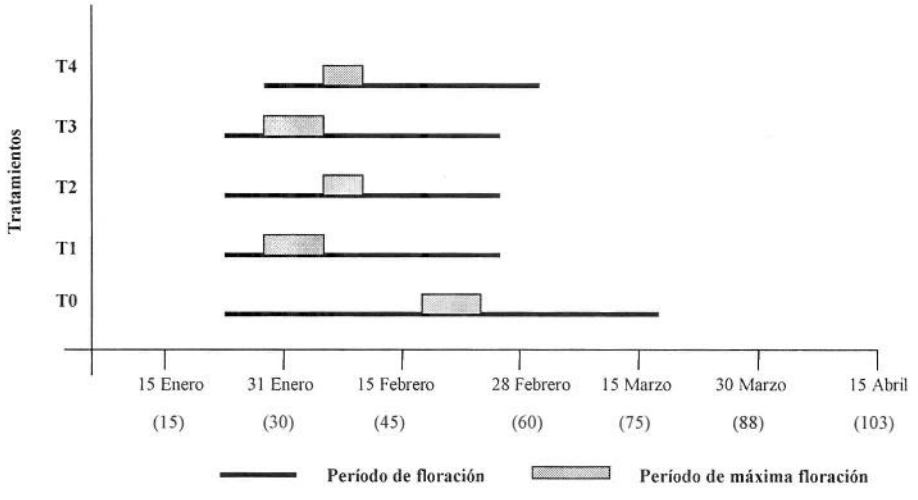
FIGURA 2. Período de floración (PF) y máxima floración (MF) para el Irwin en la inducción temprana para el ciclo productivo 2004-2005.



( ): Días transcurridos después de la aplicación de los tratamientos. Fecha de podas 3-7/6/2003Fecha de aplicación 3/12/2003.

T0 (sin poda + sin inductor); T1 (sin poda + nitrato de potasio); T2 (sin poda + tiosulfato de potasio), T3 (poda + nitrato de potasio) y T4 (poda + tiosulfato de potasio).

FIGURA 3. Período de floración (PF) y máxima floración (MF) para el Tommy Atkins en la inducción temprana para el ciclo productivo 2003-2004.



( ): Días transcurridos después de la aplicación de los tratamientos. Fecha de podas 1-4/6/2004 Fecha de aplicación 3/12/2004.

T0 (sin poda + sin inductor); T1 (sin poda + nitrato de potasio); T2 (sin poda + tiosulfato de potasio), T3 (poda + nitrato de potasio) y T4 (poda + tiosulfato de potasio).

FIGURA 4. Período de floración (PF) y máxima floración (MF) para el Tommy Atkins en la inducción temprana para el ciclo productivo 2004-2005.

El KNO_3 fue más efectivo en la inducción de la floración del mango, en comparación al TSK, como también fue más efectivo sobre el Irwin que sobre Tommy Atkins, ya que esta última, tardó mayor número de días en florecer. Para México, Medina Urrutia (1994), señala que este cultivar es intermedio, pero en Venezuela se ha comportado como tempranero (Quijada *et al.*, 2004). El Tommy Atkins ha sido señalado por tener poca respuesta al KNO_3 (Cárdenas, 2003).

Para la inducción tardia no se presentaron mayores diferencias en el inicio de la floración durante los 2 ciclos (Figuras 5, 6, 7 y 8), ya que todos los tratamientos, sobre los 2 cultivares, florecieron casi simultáneamente. Lo que pareciera indicar que los promotores no inciden en la brotación durante esta inducción a diferencia de la inducción temprana.

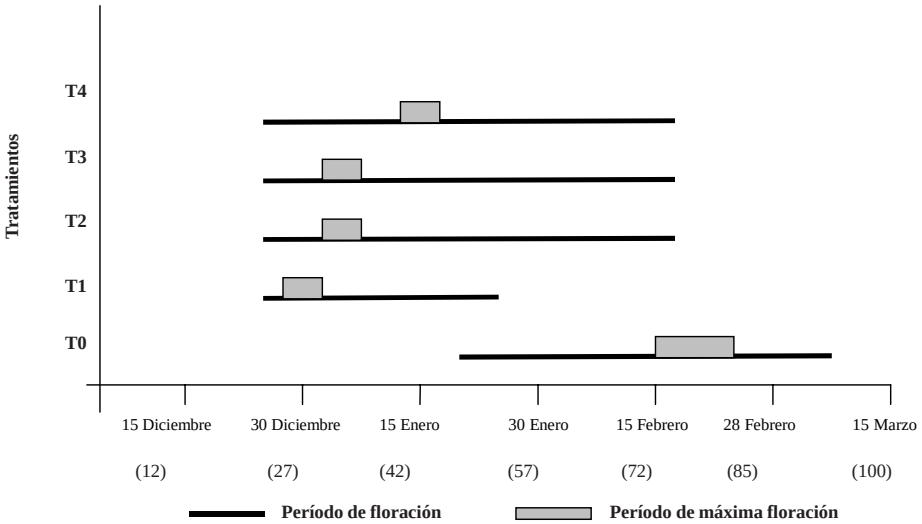
El inicio de las floraciones ocurridas durante esta inducción coinciden con las floraciones naturales para la planicie de Maracaibo (Quijada *et al*., 2004), quizas por ser las mismas condicones y para las condiciones subptropicales en México (Davenport y Nuñez-Elisea, 1990).

El KNO_3 durante las 2 inducciones produjo mayor concentración de la floración, siendo más efectivo combinado con la poda y en 'Irwin', ya que presentó menor número de días en floración. Soto *et al*. (2004) señalan que el inico de la floración depende del vigor del cultivar y que la poda también influye con el inicio de la misma, esto pareciera estar en concordancia a lo expresado por (Davenport, 2003), La floración del mango sólo se produce en las zonas tropicales con temperaturas cálidas en brotes de tallos que han alcanzado la edad suficiente, desde los últimos flujos vegetativos, de 4 a 5 meses, según el cultivar.

El TSK adelantó en menor medida el inicio de la floración en las dos variedades. Este comportamiento fue similar para las dos inducciones. Los controles y tratamientos florecieron simultáneamente en las dos variedades y en los dos ciclos, pero los primeros presentaron una floración más larga.

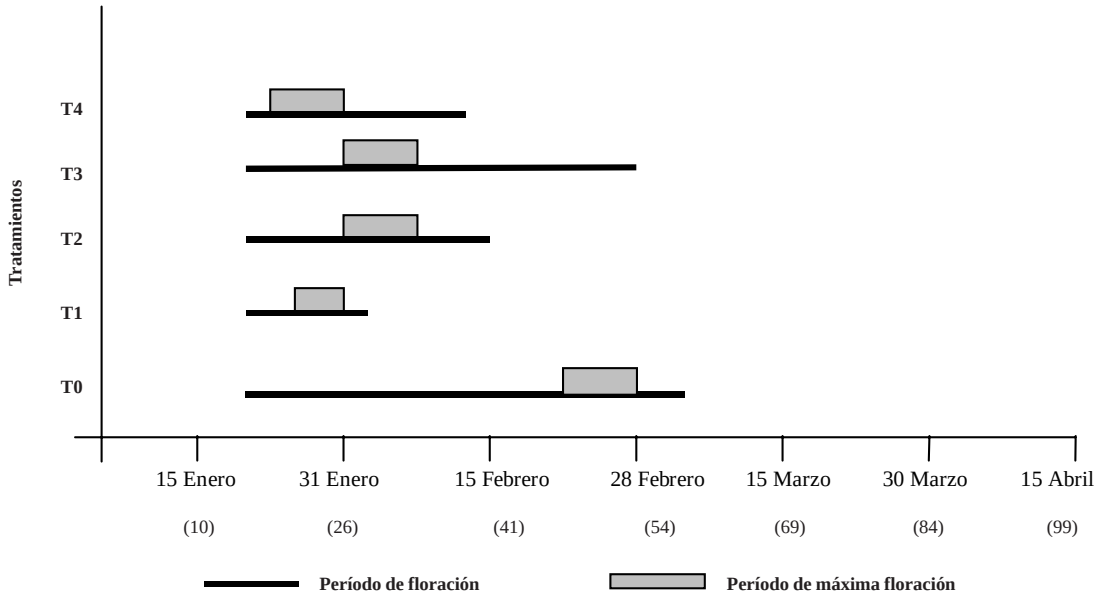
Período de máxima floración

Para las 2 inducciones el KNO_3 adelantó el período de máxima floración, en el caso de la inducción temprana, independientemente de la poda, sobre el Irwin ubicó entre 30 y 35 d el período de máxima floración en los 2 ciclos productivos posterior a la aplicación del pomotor y a unos 10 d de iniciada la floración, mientras que sobre el Tommy Atkins el KNO_3 combinado con la poda lo hizo posteriormente.



( ): Días transcurridos después de la aplicación de los tratamientos. Fecha de podas 5-9/6/2003.
Fecha de aplicación 6/1/2004.T0 (sin poda + sin inductor); T1 (sin poda + nitrato de potasio);
T2 (sin poda + tiosulfato de potasio), T3 (poda + nitrato de potasio) y T4 (poda + tiosulfato de potasio).

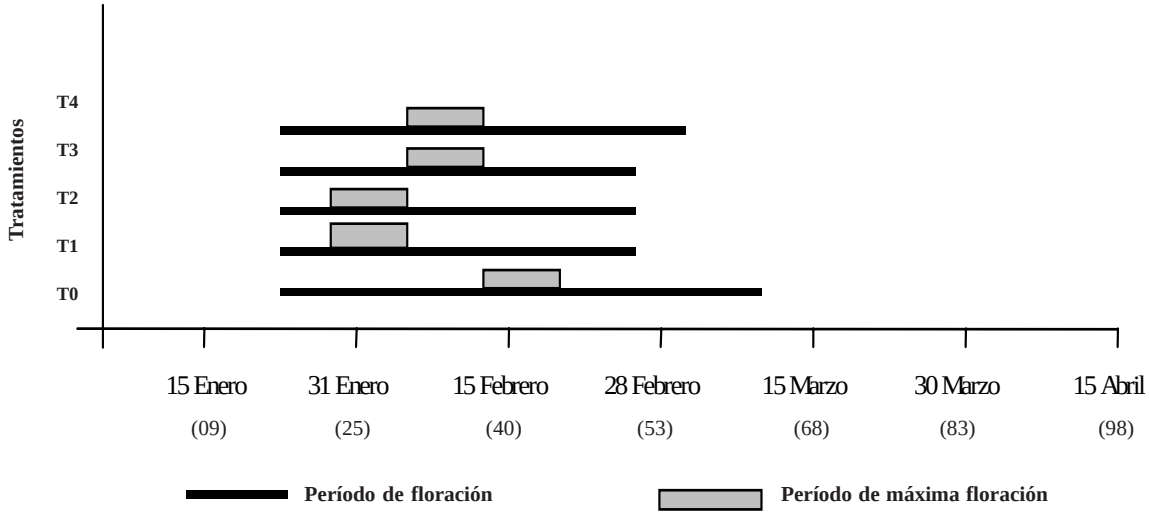
FIGURA 5. Período de floración (PF) y máxima floración (PMF) para el Irwin en la inducción tardía para el ciclo productivo 2003-2004.



( ): Días transcurridos después de la aplicación de los tratamientos. Fecha de podas 4-8/6/2004. Fecha de aplicación 5/1/2005.

T0 (sin poda + sin inductor); T1 (sin poda + nitrato de potasio); T2 (sin poda + tiosulfato de potasio), T3 (poda + nitrato de potasio) y T4 (poda + tiosulfato de potasio).

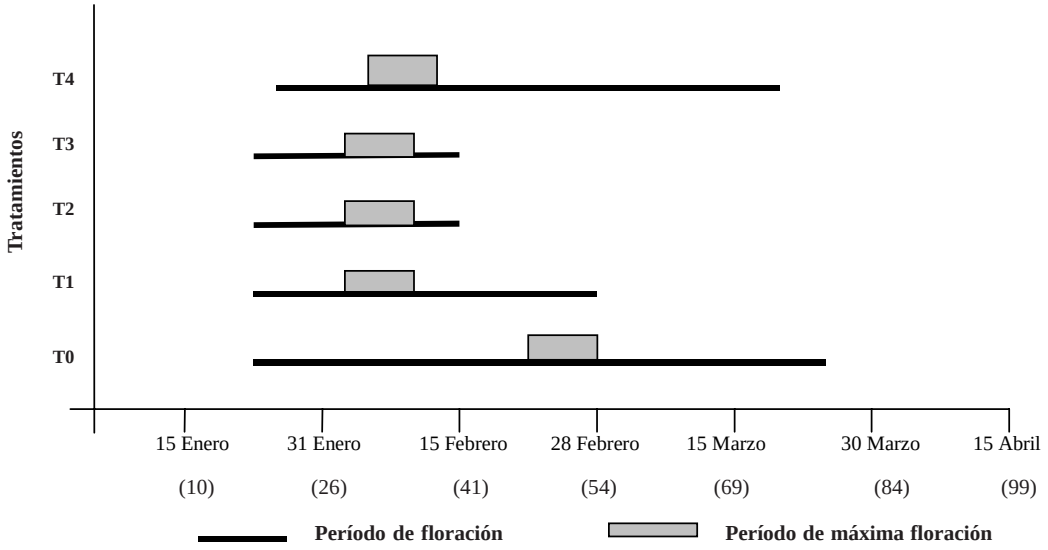
FIGURA 6. Período de floración (PF) y máxima floración (PMF) para el Irwin en la inducción tardía para el ciclo productivo 2004-2005.



( ): Días transcurridos después de la aplicación de los tratamientos. Fecha de podas 5-9/6/2004. Fecha de aplicación 6/1/2004.

T0 (sin poda + sin inductor); T1 (sin poda + nitrato de potasio); T2 (sin poda + tiosulfato de potasio), T3 (poda + nitrato de potasio) y T4 (poda + tiosulfato de potasio).

FIGURA 7. Período de floración (PF) y máxima floración (MF) para el Tommy Atkins en la inducción tardía para el ciclo productivo 2003-2004.



( ): Días transcurridos después de la aplicación de los tratamientos. Fecha de podas 4-8/6/2004 Fecha de aplicación 5/1/2005.

T0 (sin poda + sin inductor); T1 (sin poda + nitrato de potasio); T2 (sin poda + tiosulfato de potasio), T3 (poda + nitrato de potasio) y T4 (poda + tiosulfato de potasio).

FIGURA 8. Período de floración (PF) y máxima floración (MF) para el Tommy Atkins en la inducción tardía para el ciclo productivo 2004-2005.

Por otra parte, el KNO_3 presentó menor período de máxima floración en los 2 cultivares con respecto al TSK. Referente al TSK, concuerda con Añez (2004). Para inducción tardía, TSK, independientemente de la poda, presentó sobre el Irwin un período de máxima floración más corto en comparación con el KNO_3 en el período 2203-2004.

CONCLUSIONES

- La floración en Irwin y Tommy Atkins en las 2 inducciones se produjo con temperaturas mínimas superiores a 23ºC y siempre precedida por las máximas precipitaciones y máxima humedad relativa durante el año.

- La inducción temprana promovió un adelanto de la floración para todos los tratamientos de ambos cultivares, siendo mayor este adelanto en Irwin que en Tommy Atkins. Esta diferencia pudiera atribuirse a que los brotes del Tommy Atkins requieren de mayor número de días o madurez para florecer.

- El KNO_3, combinado con la poda, fue el más efectivo, adelantandola con respecto a los testigos, más de 30 d en la variedad Irwin y unos 20 d la Tommy Atkins. El TSK adelantó la floración unos 20 d en los 2 cultivares.

- Los tratamientos concentraron los períodos de floración y de máxima floración, donde el KNO_3 tendió a concentrar en un tiempo más corto los períodos de floración y de máxima floración en comparación con el TSK, siendo más efectivo cuando se combinó con la poda.

BIBLIOGRAFÍA

Añez, M. 2004. Influencia del paclobutrazol y los tiosulfatos de amonio y de potasio sobre el desarrollo vegetativo, reproductivo y la calidad del mango (*Mangifera indica* L.) cv. Haden. Tesis de Doctorado. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. 184 pp.

Avilán, L. 1980. El índice de fructificación de frutales perennes. Agronomía Trop. 30(1-6):147-157.

Avilán, L. 2000. Manejo de altas densidades de población en frutales tropicales perennes tipo arbóreo. **In:** Memorias VII Congreso Nacional de Fruticultura. San Cristóbal. p. 19-28.

Avilán L., F. Leal y D. Bautista. 1992. Manual de Fruticultura. Editorial América, 2ª Ed. Caracas. 2: 1 471 pp.

Avilán L., Rodríguez y M., Ruiz J. 1998. Selección de cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Período 1952-1996. Proceedings of Interamericana Society for Tropical Horticultura. 42:191-214.

Avilán, L., G. Martínez., C. Marín, M. Rodríguez, J. Ruiz y H. Escalante. 2003. Las podas cuadradas y piramidal truncada con o sin aserrado en la producción del mango. Agronomía Trop. 53(3):239-257.

Baily, I. S., M. Harris and A. Whiley. 1999. Effect of water stress on flowering and yields of "Kenssington Pride" (*Mangifera indica* L.). **In:** Proceeding of the Sixth International Symposium on Mango. ISTH. Tailandia. p. 277-281.

Campbell C**.** 1988. Progress in mango. Proceeding American Society Horticultural Science 32:8-19.

Cárdenas, K. 2003. Efecto de la poda, paclobutrazol y los nitratos de calcio y potasio sobre el crecimiento y desarrollo del mango (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. Tesis de Maestría. Barquisimeto, estado Lara. Universidad Lisandro Alvarado. Facultad de Agronomía, 98 pp.

Casanova, E. y J. Castillo. 2002. Potencial petroquímico para la producción de fertilizantes de uso en sistemas de riego. Visión Tecnológica 9:151-159.

Chaikiattiyos, S., C. Menzel and T. Rasmussen. 1994. Floral induction on tropical fruit trees. Effects temperature and water supply. Journal of Horticultural Science 69:397-415.

Davenport, T. 2003. Pruning strategies to maximine tropical production from the time planting to restoration of old orchards. HortSience Vol. 41:544-548.

Davenport, T. 2007. Reproductive physiology of mango. Braz. J. Plant Physiol 19(4):363-376.

Davenport T. and R. Núñez-Elisea 1986. Is endogenous ethylene involved in mango floral induction. Acta Horticulturae 291:85-87.

Davenport, T. and R. Núñez-Elisea. 1990. Ethylene and other endogenous factors possibly involved in mango flowering. Acta Horticulturae 275:441-447.

Ewel J., A. Madrid y J. Tosi. 1976. Zonas de vida de Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría. 2ªed. Editorial Sucre. Caracas. 265 pp.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2005. Estadísticas agrícolas de la *FAO*. [http://faostat.fao.org/faostat/collections?subset=agricultura.].

Medina-Urrutia, V. 1994. Adelanto de floración en mango 'Tommy Atkins' con aplicaciones de paclobutrazol. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 38:56-61.

Núñez-Elisea R. and T. Davenport. 1995. Effect of leaf age, duration y cool temperature treatment, and photoperiod on bud dormancy release and floral initiation in mango. Scientia Horticulturae 62(1-2):63-74.

Osuna-Enciso, T., E. Engleman, E. Becerril-Román, R. Mosqueda Vásquez, M. Soto-Hernández y A. Castillo-Morales. 2000. Iniciación y diferenciación floral en mango "Manila". Agrociencia 32:573-581.

Pongsomboon, W., S. Subhadrabandhu and R. Stephenson. 1997. Some aspects of the ecophysiology of flowering intensity of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Nam Dokmal in a semitropical monsoon Asian climate. Scientia Horticulturae 70:45-56.

Quijada, O. 1999. Efecto de la aplicación de tres dosis de nitrato de potasio y el número de aplicaciones sobre la floración del mango Haden en la Planicie de Maracaibo. Rev. Fac. Agron. LUZ 16:414-424.

Quijada, O., B. Herrero, G. Castellano, M. Matheus y R. Camacho. 2004. Evaluación de variedades de mango *(Mangifera indica* L.) II. Producción y eficiencia productiva. Rev. Fac. Agron. LUZ. 21:253-261.

Ravishankar, L., M. Rao and K. Bajapa. 1979. Fruit bud differentiation in mango "Alphonso" and "Tapapuri" under mild tropical rainy conditions. Science Horticulturae 10:95-99.

Rodríguez, M. 2004. Influencia de algunos factores climáticos y efecto de la fertilización sobre el cuajado y partenocarpía del mango (*Mangifera indica* L.) cv., Haden en la planicie de Maracaibo. Tesis de maestría. Maracaibo, estado Zulia. Universidad del Zulia. Facultad de Agronomía. 102 pp.

Rojas, E. and F. Leal**.** 1997. Effects of pruning and potassium nitrate spray on floral and vegetative bud break of mango cv. Haden. Acta Horticulturae 455-529.

Shapiro, S. and M. B. Wild. 1965. An analysis of variance test for normality. Biometrika 52:591-611.

Soto, E., L. Avilán., E. Unai, M. Rodríguez y J. Ruiz. 2004. Comportamiento y características de algunos cultivares promisorios de mango. Agronomía Trop. 54(2):179-202.

Tong, F., D. Medina y D. Esparza. 1991. Variabilidad en poblaciones de guayaba (*Psidium guajava* L.) del municipio Mara del estado Zulia. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 8:15-27.

Tripathi, P. C. 2002. Effect of thiourea, potassium nitrate and urea on new shoot production and fruiting in deshehari mango. Progressive Horticulture 34:268-270.

Whiley, A. 1993. Enviroment effects on phenology and physilogy of mango. Acta Horticulturae 341:168-176.

Whiley, A., T. Rasmussen, B. Wolstenholme, J. Seranah and B. Cull. 1991. Inter Pactation of growth response of some mango cultivars grown under controlled temperatures. Acta Horticulturae 291:22-31.

Yeshitela, T., P. J. Robberts and P. J. Stassen. 2005. Effects of pruning on flowering, yields and fruit quality in mango (*Mangifera indica* L.). Australian Journal of Experimental Agriculture 45:1 325-1 330.

Young, T. W and W. Sauls. 1979. The mango industry in Florida. Florida Cooperative Extension Service, Bull. 189. 70 pp.

INFLUENCIA DE LA PODA Y DE LA APLICACIÓN DE NITRATO POTÁSICO Y TIOSULFATO POTÁSICO SOBRE EL MANGO EN MARACAIBO, VENEZUELA. II. PRODUCCIÓN E ÍNDICES DE EFICIENCIA PRODUCTIVA

INFLUENCE OF THE PRUNING AND POTASSIUM NITRATE AND POTASSIUM TIOSULPHATE APPLICATION OVER THE HANDLE IN MARACAIBO, VENEZUELA. II. PRODUCTION AND EFFICIENCY INDEX

Osmar Quijada*, Baudilio Herrero, Rosa González**, Ángel Casanova*** y Ramón Camacho***

*Investigadores. INIA - Zulia. Km 7. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. E-mail: oquijada@inia.gov.ve
**Profesores. Universidad de Valladolid. Palencia. España. E-mail: baudilio@agro.uva.es
*** Profesor. Universidad del Zulia. LUZ. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. E-mail: acasanova@hotmail.com.

RESUMEN

Se evaluó la influencia de la poda y de la aplicación de nitrato potásico (KNO_3) y tiosulfato potásico (TSK) sobre la producción e índices de eficiencia productiva de los cultivares Irwin y Tommy Atkins. La investigación se realizó en el Centro Frutícola del Estado Zulia (CENFRUZU). Los tratamientos correspondieron a un diseño factorial de poda a 2 niveles (sin poda y con poda) e inductor floral a 2 niveles (KNO_3 al 6% y TSK 1%) más un control sin poda y sin inductor, se utilizaron 4 plantas por tratamiento. El experimento se repitió en 2 ciclos productivos (2003-2004 y 2004-2005). Para cada ciclo, se realizaron 2 ensayos, denominándolos como inducción temprana e inducción tardía. En total, se ejecutaron 4 ensayos. El tratamiento con KNO_3 combinado con poda incrementó hasta 8 veces el número de frutos y 6,5 veces el peso de los mismos en Irwin, para la inducción temprana. Mientras que para la inducción tardía se incrementó en un 212% el número de frutos y 210% su peso. Para Tommy Atkins el KNO_3 aplicado sin poda, incrementó en un 315% el número de frutos y en un 303% el peso de los mismos, durante la inducción temprana. Los resultados obtenidos indican que la aplicación de KNO_3 combinado con poda, sobre mango Irwin, produjo una mayor producción e índices productivos para las 2 inducciones.

Palabras Clave: *Mangifera indica* L.; mango; producción; poda; nitrato potásico; tiosulfato potásico.

SUMMARY

The pruning influence and potassium nitrate (KNO_3) and potassium tiosulphate (TSK) application was evaluated over the production and efficiency index the handle variety Irwin and Tommy Atkins. The research was carries at Centro Frutícola (CENFRUZU), Zulia State, Venezuela. The treatment corresponds to a factorial design of pruning at 2 levels (with and without pruning) and flowering inductors at 2 levels (KNO_3 at 6% and TSK at 1%) with a control without pruning and not inductors. The experiment was reloaded in 2 productive cycles (2003-2004 and 2004-2005). A factorial design was used, with 2 treatments of pruning at 2 levels (with and without pruning), 2 flowering inductor levels (KNO_{-3} 6% and TSK 1%), also was used a control, without pruning) and inductor. The treatments were located at random using 2 varieties: Irwin and Tommy Atkins with 4 plants per treatment. For each cycle, 2 essay was realized, named early and late induction. Four essays were made at total. It was evaluated production variables, production and efficiency index KNO_3 treatments combine with pruning increased 8 fruits number and was 6.5 weight fruits for Irwin during early induction; for this variety increased fruits number at 212% and 210% at weight fruits during late induction. KNO_3 without pruning increased 315% fruits number at 315% and 303% in weight fruits in Tommy Atkins during early induction. The results of this research showed that KNO_3 combined with pruning over Irwin reached the best behavior characteristics, and productive indexes, during both inductions over booth varieties compared with others applied treatments.

Key Words: *Mangifera indica* L.; handle; production; pruning; potassium nitrate; potassium tiosulphate.

RECIBIDO: septiembre 15, 2008 ACEPTADO: febrero 26, 2009

INTRODUCCIÓN

El mango, *Mangifera indica* L., ocupa el quinto lugar en la producción mundial de frutos y es cultivado tanto en el trópico como en el subtrópico. La exportación de esta fruta hacia los mercados estadounidense y europeo ha crecido sensiblemente gracias a la creciente demanda y a los altos precios, y sólo en estados Unidos creció en un 40% entre 1996 y 2004 (Galán-Saúco, 2004).

A nivel nacional, las épocas de producción del mango se ubican en los meses de abril, mayo, junio y julio, dependiendo del cultivar y de las condiciones ambientales imperantes en cada zona, lo que ocasiona una sobreoferta, con su incidencia negativa sobre el precio obtenido por el agricultor, provocándole altas pérdidas (Avilán *et al*., 1998).

En la planicie de Maracaibo, los cultivares Irwin y Tommy Atkins han presentado un mejor comportamiento productivo con respecto a otras variedades (Quijada *et al*., 2004). Estas podrían incrementar su eficiencia productiva, a través del control vegetativo de las plantas y de la aplicación de inductores florales, pudiendo adelantarse la cosecha, con la posibilidad de acceder en una mejor época a los mercados de exportación.

Entre los inductores de floración conocidos, destacan el nitrato de potasio (KNO_3), el nitrato de amonio y nitrato de calcio, los cuales han sido probados para incrementar el rendimiento y controlar la floración del mango en el trópico (Cárdenas, 2003; Davenport, 1998; Ferrari y Sergent, 1996; Tripathi, 2002; Yeshitela *et al*., 2005).

La introducción de fertilizantes líquidos en el mercado nacional es una labor relativamente reciente. Desde 1992 se vienen realizando experimentos en diferentes cultivos usando tiosulfato de amonio (TSA) y tiosulfato de potasio (TSK), los cuales han presentado ventajas agronómicas (Casanova y Castillo, 2002). Pero existe poco conocimiento sobre su efecto en el cultivo del mango en condiciones tropicales, lo que promueve a realizar investigaciones tendientes a su mejor y mayor utilización.

Ante esta situación, se planteó la necesidad de evaluar efecto de la poda, asociado a la aplicación de KNO_3 y TSK sobre los cultivares Irwin y Tommy Atkins en las condiciones agroecológicas de la planicie de Maracaibo, con la finalidad de mejorar su productividad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo en el Centro Frutícola del Estado Zulia (CENFRUZU), ubicado en el km 21 de la carretera vía a San Rafael de El Moján del municipio Mara del estado Zulia (Venezuela).

Según Ewel *et al*. (1976), corresponde a una zona de vida de bosque tropical muy seco. Las precipitaciones oscilan de 500 a 600 mm anuales, con un régimen bimodal que presenta 2 períodos lluviosos, el primero de menor magnitud de mayo a junio y otro de mayor magnitud de septiembre a noviembre. Existen períodos secos de diciembre a abril y de julio a agosto. La evapotranspiración potencial media es de unos 2 200 mm anuales, la temperatura media anual de 28 °C y una humedad de 65-73%.

Se evaluaron los Irwin y Tommy Atkins seleccionados por presentar el mejor comportamiento productivo para la planicie de Maracaibo según Quijada *et al*. (2004). Las plantas utilizadas para el desarrollo del estudio fueron injertadas sobre el patrón 'Bocado' cuando los patrones tenían una edad de 9 meses aproximadamente. Para la fecha del trabajo las plantas tenían una edad de 8 y 9 años, respectivamente, años de evaluación que están comprendidos en el "Período de Crecimiento" (Avilán, 1980). Plantadas a una distancia de 10 x 10 m.

Se aplicaron técnicas de inducción floral, empleándolas de forma aislada y combinadas: se utilizó la poda de 50 cm desde el ápice de las ramas en toda la copa de la planta, realizándose 5 a 6 meses antes de la aplicación de los inductores de floración. Se emplearon 2 inductores de floración: el KNO_3, que fue aplicado en la dosis de 6%, (60 g de KNO_3 en 1 l de agua) y el TSK a la dosis de 1% en agua. Ambos inductores fueron aplicados por vía foliar en horas de la mañana, suministrando 4 l de solución por planta con la finalidad de cubrir uniformemente la misma.

Se realizaron un total de 4 ensayos, correspondientes a 2 ciclos productivos (2003-2004 y 2004-2005). En cada ciclo se aplicaron los tratamientos inductivos en dos fechas diferentes.

Inducción Temprana:

Para el ciclo 2003-2004 se realizó la aplicación de los tratamientos el 3 de diciembre del año 2003, mientras que para el ciclo 2004-2005 se efectuó el 1 de diciembre del 2004. Esta inducción tuvo la finalidad de lograr

cosechas fuera del período normal de producción del mango en la región.

Inducción Tardía:

Para el ciclo 2003-2004 se realizó la aplicación de los tratamientos el 6 de enero del año 2004, mientras que para el ciclo 2004-2005 se aplicó el 5 de enero del 2005. Estas aplicaciones correspondieron a la época donde normalmente ocurre la floración natural del mango en la región (Avilán *et al*., 1992).

Producción

Se evaluó la producción, registrándose el número y peso de frutos por planta y se calculó la producción total por planta, expresándose en kilogramos (kg) por mes y kg totales por planta.

Eficiencia productiva de las plantas

Índice de fructificación

Se midió en frutos/m^2, dividiéndose el número de frutos por la superficie lateral de la planta (Avilán, 1980).

Índice de eficiencia productiva

Se define por la relación de kilos de fruta producida entre el volumen de copa del árbol, expresado el volumen en m^3 (Avilán, 1980).

Diseño experimental

Los tratamientos corresponden a un arreglo factorial de poda a 2 niveles (po=sin poda y p1=con poda) e Inductor floral a 2 niveles (KNO_3 y TSK), más un control sin poda y sin inductor. Los tratamientos fueron localizados al azar con 4 repeticiones. La unidad experimental está compuesta por un solo árbol. El experimento se repitió en 2 ciclos productivos (2003-2004; 2004-2005) y para cada ciclo se realizaron 2 ensayos diferenciados como: inducción temprana e inducción tardía (Cuadro 1).

Se realizó un análisis de varianza separadamente para cada ensayo y determinando los efectos de: tratamiento, variedad, interacción variedad x tratamiento y se compararon las medias con el control.

Los efectos de poda, inductor e interacción poda x inductor se realizaron por contrastes ortogonales. Fue llevado a cabo la prueba de Tukey para hacer comparaciones múltiples de medias de variedades al nivel α=0,05.

CUADRO 1. Tratamientos de poda e inductores de floración sobre 2 cultivares de mango aplicados durante floración temprana y tardía en la planicie de Maracaibo.

Variedad	Nº Tratamientos	Tratamientos
Irwin	T0 (Control)	Sin Poda + Sin Inductor
	T1	Sin Poda + KNO_3
	T2	Sin Poda + TSP
	T3	Poda + KNO_3
	T4	Poda + TSP
Tommy Atkins	T0 (Control)	Sin Poda + Sin Inductor
	T1	Sin Poda + KNO_3
	T2	Sin Poda + TSP
	T3	Poda + KNO_3
	T4	Poda + TSP

Se realizó un análisis de varianza del conjunto de los 4 experimentos, con el propósito de determinar efectos de la época (momento de la inducción) y ciclo productivo, así como las interacciones entre los ciclos productivos y los tratamientos.

Los datos se sometieron previamente a una verificación de outliers y a un Test de normalidad usando la prueba Shapiro-Wild (Shapiro y Wild, 1965).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de frutos por planta (NFP)

Para el NFP en las inducciones tempranas y tardía se encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) entre los tratamientos aplicados para los 2 ciclos productivos (Cuadro 2).

Los tratamientos aplicados incrementaron notablemente el NFP en las 2 variedades para las 2 inducciones y en los 2 ciclos productivos, siendo significativamente mayor en la inducción temprana que en la inducción tardía.

CUADRO 2. Comportamiento productivo de 2 cultivares de mango durante las inducciones temprana y tardía en los ciclos productivos 2003-2004 y 2004-2005.

Variedad	TRAT	Inducción temprana				Inducción tardía			
		Número de frutos		Peso de frutos (kg planta^{-1})		Número de frutos		Peso de frutos (kg planta^{-1})	
		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
Irwin	T0	175d	189c	64,98	70,83c	250c	319b	77,35c	113,74b
	T1	621b	577b	192,62b	190,88b	384bc	393b	120,64ab	126,99b
	T2	458c	515b	133,36c	153,91b	298c	348b	87,04c	107,59b
	T3	1 553a	1 284a	456,10[a]	407,18[a]	599a	590a	193,00a	194,57[a]
	T4	98bc	586b	178,64bc	192,36b	464ab	432b	143,75b	46,00ab
Tommy A.	T0	143d	219c	64,13c	107,28b	113b	207bc	53,65c	109,33ab
	T1	521a	584[a]	221,72[a]	281,90[a]	317a	349a	144,84[a]	165,55[a]
	T2	316b	376b	151,10b	172,12b	118b	182c	57,09bc	93,47b
	T3	234c	88bc	127,97b	146,05b	235a	286ab	112,11ab	140,50ab
	T4	107d	183c	46,48c	103,77b	211ab	260abc	106,53abc	156,52[a]

T0 = Sin poda + sin inductor (CONTROL). T1 = Sin poda + nitrato de potasio. T2 = Sin poda + tiosulfato de potasio.
T3 = Poda + nitrato de potasio. T4 = Poda + tiosulfato de potasio.

El KNO_3 y el TSK incrementaron el NFP para las 2 inducciones en las 2 variedades. Para todos los casos el KNO_3 presentó mayor producción que el TSK, como también la producción fue superior en la inducción temprana que en la tardía, lo que pareciera indicar que este producto tiene mayor efectividad en la inducción temprana que en la tardía.

'Irwin' presentó una mejor respuesta a la aplicación del KNO_3 en comparación a 'Tommy Atkins'. Incrementos en el NFP aplicando el KNO_3 sobre 'Tommy Atkins' también han sido referidos por otros autores (Avilán *et al*., 1998 y Cárdenas, 2003).

El NFP, obtenidos para los 2 cultivares fue superior a los señalados por diferentes autores (Avilán *et al*., 2007; Ferrari, 1995, Tripathi *et al*., 2002 y Yeshitela *et al*., 2005, cuando aplicaron tratamientos de poda, inductores de floración o reguladores de crecimiento, solos o combinados. De la misma manera, son altos cuando se comparan con los señalados sin aplicación de podas o inductores de floración (Avilán *et al*., 1998; Donadio *et al*., 1994; Guzmán-Estrada, 1995 y Quijada *et al*., 2004).

En relación a la vecería, se estima que ésta no afectó a las plantas durante el ensayo, ya que se encuentran en el período de crecimiento productivo según Avilán (1980), es decir, son jóvenes y de forma natural van incrementando su producción.

Peso de frutos por planta

Para el peso de frutos en las 2 inducciones se encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) entre los tratamientos aplicados para los 2 ciclos productivos (Cuadro 2). Los tratamientos aplicados durante la inducción temprana lograron triple efecto positivo, ya que incrementaron la producción por planta, indujeron un adelanto de la producción para la región y concentraron el período de cosechas. La producción (kg^{-1} planta) obtenida para todos los tratamientos en los 2 cultivares para las 2 inducciones, fue superior a la obtenida en los testigos de ambas variedades, deduciéndose que el mango responde positivamente a la aplicación de inductores de floración y poda, como también lo muestran otros autores (Avilán *et al*., 1998; 2007; Ferrari, 1995; Medina Urrutia, 1994).

El efecto inducido por el KNO_3 sobre 'Irwin' fue diferente que sobre 'Tommy Atkins' y fue mayor cuando se combinó con la poda, lo que permite señalar que el nitrato induce un mayor incremento de la producción en 'Irwin' que sobre 'Tommy Atkins'. El efecto del KNO_3 sobre 'Tommy Atkins' ya ha sido comentado anteriormente.

El TSK incrementó la producción de frutos por planta, pero en menor medida que el logrado por el KNO_3. Los 2 cultivares y en las 2 inducciones presentaron producciones más altas cuando se combinaron con la poda, siendo el efecto mayor sobre 'Irwin' que sobre 'Tommy Atkins'. Resultados similares señalan Añez (2002), cuando comparó diferentes inductores de floración sobre 'Haden'.

Los rendimientos obtenidos fueron mayores a los observados por Añez (2004) cuando aplicó TSK sobre el cultivar Haden e igualmente mayores a los logrados por otros autores (Medina-Urrutia y Nuñez-Elisea, 1997; Avilán *et al*., 2003; Yeshitela *et al*., 2005), cuando aplicaron KNO_3 combinado con poda y superiores a los estudiados para los mismos cultivares en la misma región, sin la aplicación de tratamientos (Quijada *et al*., 2004).

Estos efectos logrados representan una ventaja, al considerar que con la inducción temprana se ubicó una parte de la cosecha en el período de déficit de mango a nivel mundial y colateralmente, permitiría lograr mejores precios del mango en el mercado nacional e internacional. El significativo incremento obtenido por los diferentes tratamientos en los dos cultivares, permitiría mejorar los ingresos de los productores, incluso en la época natural de producción del mango en la región.

Índice de fructificación (ÍF)

Para esta variable durante las 2 inducciones se evidencian diferencias significativas ($P<0,05$) entre los tratamientos aplicados en los 2 cultivares y en los 2 ciclos productivos (Cuadro 3). En todos casos, los tratamientos incrementaron el ÍF en comparación con el control.

CUADRO 3. Comportamiento productivo de 2 cultivares de mango durante las inducciones temprana y tardía en los ciclos productivos 2003-2004 y 2004-2005.

Variedad	Trat.	Inducción temprana				Inducción tardía			
		ÍF (N° frutos/m²)		I Prod. (Peso frutos/m³)		ÍF (N° frutos/m²)		I Prod. (Peso frutos/m³)	
		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
Irwin	T0	2,72c	2,55c	0,51c	0,44c	4,25c	4,90b	0,69b	0,69b
	T1	10,37b	8,33b	1,66ab	1,31ab	7,95ab	7,21ab	1,41ab	1,41ab
	T2	6,49bc	6,55bc	0,89bc	0,86b	5,69bc	5,82ab	0,91b	0,91b
	T3	22,39a	6,67[a]	3,10a	2,35[a]	9,08[a]	8,15a	1,42ab	1,42ab
	T4	8,72b	7,68bc	1,20b	1,32ab	9,50[a]	8,08a	1,71a	1,71a
Tommy A.	T0	1,40c	1,98b	0,24c	0,39b	1,56c	2,60a	0,37c	0,37c
	T1	6,89a	6,97a	1,32[a]	1,97[a]	4,12[a]	4,08a	0,90b	0,90b
	T2	3,58bc	3,89b	0,77b	0,75b	2,11bc	2,84a	0,52c	0,52c
	T3	4,42ab	4,58ab	1,52a	1,20ab	2,80abc	3,39a	1,60a	1,60a
	T4	1,32c	2,01b	0,26c	0,50b	3,52ab	3,96a	0,89b	0,89b

T0 = Sin poda + sin inductor (CONTROL). T1 = Sin poda + nitrato de potasio. T2 = Sin poda + tiosulfato de potasio. T3 = Poda + nitrato de potasio. T4 = Poda + tiosulfato de potasio.

Los tratamientos aplicados incrementaron los ÍF (frutos m^{-2}) respecto a los controles, también fueron mayores en la inducción temprana en comparación con la tardía, indicando que la utilización de inductores florales y podas induce incrementos en el NFP.

El KNO_3 produjo mayor incremento del ÍF en 'Irwin' que en 'Tommy Atkins' para las 2 inducciones, mientras que el TSF produjo un incremento significativo sólo en 'Tommy Atkins' para la inducción tardía, y fue mayor cuando se combinó con la poda, lo que permite suponer que presentaron efectos diferenciales en la 2 inducciones.

Los ÍF obtenidos en la inducción temprana son significativamente superiores a los señalados por otros autores (Avilán *et al*., 1998; Soto *et al*., 2004; Añez, 2002) cuando aplicaron KNO_3 solo o combinado con poda. Los ÍF disminuyeron para la inducción tardía, pero todavía se mantuvieron por encima de los observados por los autores mencionados.

Al comparar los ÍF obtenidos (Cuadro 4) para los 2 cultivares y los tratamientos con los "ÍF" estudiados por Avilán (1980), se establece que todos los tratamientos sobre 'Irwin' en las 2 inducciones se ubicaron dentro de la categoría alta (A). Mientras que para la inducción tardía, los tratamientos con KNO_3 sobre 'Irwin', a excepción cuando fue combinado con la poda, se ubicaron en la categoría baja (B) y los tratamientos con TSK en los 2 cultivares se ubicaron en la categoría baja (B).

Índice de eficiencia productiva (ÍE)

Para el ÍE productiva de las plantas en las 2 inducciones se encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) entre los tratamientos aplicados para los 2 ciclos productivos (Cuadro 3). Los tratamientos aplicados incrementaron los índices productivos de las plantas (kg m^{-3}) respecto a los controles, como también fueron mayores en la inducción temprana en comparación con la tardía, indicando que la utilización de inductores de floración, solos o combinados con las podas, permite incrementar la producción de frutos.

El KNO_3 y el TSK indujeron un mayor índice productivo en 'Irwin' que en 'Tommy Atkins'. Este incremento fue mayor cuando se combinaron con la poda. La obtención de mayor índice productivo se presenta como el resultado de los tratamientos y también influyó el porte de las plantas, ya que 'Irwin' mostró mayores índices productivos en comparación con 'Tommy Atkins', quizás por presentar menor volumen de copa, haciéndola más eficiente productivamente.

CUADRO 4. Índices de fructificación (N° de frutos m^{-2}) de 2 cultivares de mango durante las inducciones temprana y tardía en los ciclos productivos 2003-2004 y 2004-2005.

Variedad	TRAT	Inducción temprana				Inducción tardía			
		Ciclo 1	Nive l	Ciclo 2	Nivel	Ciclo 1	Nive l	Ciclo 2	Nivel
Irwin	T0	2,72	B	2,55	B	4,25	M	4,90	M
	T1	10,37	A	8,33	A	7,95	A	7,21	A
	T2	6,49	A	6,55	A	5,69	A	5,82	A
	T3	22,39	A	16,75	A	9,08	A	8,15	A
	T4	8,72	A	7,68	A	9,50	A	8,08	A
Tommy A.	T0	1,40	B	1,98	B	1,56	B	2,60	B
	T1	6,89	A	6,97	A	4,12	M	4,08	M
	T2	3,58	M	3,89	M	2,11	B	2,84	B
	T3	4,42	M	4,58	M	2,80	B	3,39	M
	T4	1,32	B	2,01	B	3,52	M	3,96	M

A= Alto. M= Medio B= Bajo

T0 = Sin poda + sin inductor (CONTROL). T1 = Sin poda + nitrato de potasio. T2 = Sin poda + tiosulfato de potasio. T3 = Poda + nitrato de potasio. T4 = Poda + tiosulfato de potasio.

Los resultados obtenidos son concordantes con las variables que la originan, donde el mayor NFP fue obtenido por el tratamiento 3 (poda + KNO_3) en las 2 variedades, conllevando que el mismo tratamiento obtuviera mayor índice productivo.

Los índices productivos obtenidos contrastan con los valores logrados por Avilán *et al*. (2003) y Yeshitela *et al*. (2005) cuando aplicaron podas sobre diferentes variedades de mango, como también son superiores a los señalados sin la aplicación de tratamientos para los mismos cultivares en la planicie de Maracaibo (Quijada *et al*., 2004), en la región oriental de Venezuela (Chaurán y Avilán, 1982) y en la región central de Venezuela (Avilán *et al*., 2003).

CONCLUSIONES

- Todos los tratamientos incrementaron significativamente la producción y sus componentes por planta en los dos cultivares estudiados tanto en la inducción temprana como tardía.

- El KNO_3 combinado con la poda incrementó hasta 8 veces el NFP y 6,5 veces el peso del fruto por planta en 'Irwin', durante la inducción temprana. El TSK tuvo un efecto menor que el KNO_3 sobre el rendimiento.

- Los tratamientos aplicados produjeron incrementos significativos en los índices de eficiencia productiva de las plantas en los 2 cultivares y en las 2 inducciones.

- El KNO_3 combinado con la poda incrementó los ÍF en las mismas proporciones que la producción de frutos en ambos cultivares durante las inducciones temprana y tardía.

BIBLIOGRAFÍA

Añez, M. 2002. Influencia del Paclobutrazol y los Tiosulfatos de amonio y de potasio sobre el desarrollo vegetativo, reproductivo y la calidad del mango (*Mangifera indica* L.) cv. Haden. Tesis de Doctorado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. 184 pp.

Avilán, L. 1980. El índice de fructificación de frutales perennes. Agronomía Trop. 30(1-6):147-157.

Avilán L., M. Rodríguez y J. Ruiz. 1998. Selección de cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Período 1952-1996. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 42:191-214.

Avílan L., Martínez, C. Marín, M. Rodríguez, J. Ruiz y H. Escalante. 2003. Las podas cuadradas y piramidal trucada con o sin aserrado en la producción del mango. Agronomía Trop. 53(3):239-257.

Avilán L., E. Soto, M. Pérez, C. Marín, M. Rodríguez y J. Ruiz. 2007. Evaluación de la forma de copa y el aserrado de las ramas en 'Haden', 'Tommy Atkins', 'Edward' y 'Kent' sobre los rendimientos y eficiencia productiva. Ciclos 2000 al 2003. Agronomía Trop. 57(1):51-59.

Cárdenas, K. 2003. Efecto de la poda, paclobutrazol y los nitratos de calcio y potasio sobre el crecimiento y desarrollo del mango (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. Tesis de Maestría. Barquisimeto estado Lara. Universidad Lisandro Alvarado, 98 pp.

Casanova E. y J. Castillo. 2002. Potencial petroquímico para la producción de fertilizantes de uso en sistemas de riego. Visión Tecnológica 9:151-159.

Chaurán O.y L. Avilán. 1982. Determinación del "índice de fructificación" para algunas variedades de mango en la región oriental de Venezuela. Agronomía Trop. 30(1-6):257-264.

Davenport, T. 1998. Management of mango flowering and vegetative growth in the tropics. Centro de Documentación CIET, Universidad de Florida, 18 pp.

Donadio, L. C., N. Soares and O. Sempionato. 1994. Evaluation of mango varieties in São Paulo, Brazil. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 38:32-36.

Ewel, J., A. Madrid y J. Tosi. 1976. Zonas de vida de Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría, 2aed, Editorial Sucre, Caracas. 265 pp.

Ferrari, D. 1995. Regulación del crecimiento e inducción del mango (*Mangifera indica* L.) var. Haden. Tesis de maestría. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. 128 pp.

Ferrari D. y E. Sergent. 1996. Promoción de la floración y fructificación del mango (*Mangifera indica* L.) cv. Haden, con nitrato de potasio. Rev. Fac. Agron. UCV. 22:1-8.

Galán-Saúco, V. 2004. Mango production and word market: Current situation and future prospects. Acta Horticulturae. I: 107-116.

Guzmán-Estrada, C. 1995. Fruit drops and yield of five mango cultivars in Southern Sinaloa. **In:** Proceeding V International Mango Simposium, Tel Aviv. 459-464 pp.

Medina-Urrutia, V. 1994. Adelanto de floración en mango 'Tommy Atkins' con paclobutrazol. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 38:56-61.

Medina-Urrutia, V. and R. Nuñez-Elisea. 1997. Mechanical pruning to control tree size, flowering and yield of mature 'Tommy Atkins' mango trees. Acta Horticulturae 455:305-313.

Quijada, O., B. Herrero, G. Castellano, M. Matheus y R. Camacho. 2004. Evaluación de variedades de mango (*Mangifera indica* L.) II. Producción y eficiencia productiva. Rev. Fac. Agron. LUZ. 21:253-261.

Shapiro, S. S. and M. B. Wild. 1965. An analysis of variance test for normality. Biometrika 52:591-611.

Soto, E., L. Avilán, E. Unai, M. Rodríguez y J. Ruiz. 2004. Comportamiento y características de algunos cultivares promisorios de mango. Agronomía Trop. 54(2):179-202.

Tripathi, P.C. 2002. Effect of thiourea, potassium nitrate and urea on new shoot production and fruiting in deshehari mango. Progressive Horticulture 34:268-270.

Whiley, A., T. Rasmussen, B. Wolstenholme, J. Seranah and B. Cull. 1991. Inter Pactation of growth response of some mango cultivars grown under controlled temperatures. Acta Horticulturae 291:22-31.

Yeshitela, T., P. J. Robbert and P. J. Stassen. 2005. Effects of pruning on flowering, yields and fruit quality in mango (*Mangifera indica* L.). Australian Journal of Experimental Agriculture. 45:1 325-1 330.

Agronomía Trop. 59(3): 297-308. 2009

HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA *in vitro* Y MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE LA HARINA HORNEADA Y EXTRUIDIDA DE ARRACACHA[1]

In vitro ENZYMATIC HYDROLYSIS AND ELECTRONIC MICROSCOPY OF THE BAKED AND EXTRUDED ARRACACHA FLOUR[1]

Auris García* y Emperatriz Pacheco*

[1]Trabajo financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela. CDCH-UCV.
* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Laboratorio de Bioquímica de Alimentos del Instituto de Química y Tecnología. Maracay, estado Aragua, Venezuela. Código Postal 2105. E-mail: aurisgarcia@hotmail.com.

RESUMEN

Con la finalidad de analizar el efecto de los tratamientos térmicos de secado sobre la hidrólisis enzimática *in vitro* del almidón en las harinas de arracacha, *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft, de los morfotipos blanco y amarillo, se obtuvieron las harinas por los métodos de convección a la temperatura de 70 a 80 ºC y en un secador de doble tambor rotatorio a la presión de vapor de 40 Psi. Observando, los cambios en la estructura de los gránulos de almidón a través de micrografías vistas en el microscopio electrónico de barrido (MEB). Los resultados demostraron que las harinas de ambos morfotipos fueron sensibles a la hidrólisis de la enzima α-amilasa pancreática, resultando las obtenidas en doble tambor rotatorio de alta digestión enzimática con respecto a las horneadas por el método de convección, a causa de la mayor incidencia del tratamiento térmico de secado sobre los cambios estructurales a nivel de las regiones amorfas de los gránulos de almidón, que vistos al MEB demostraron la pérdida de birrefringencia del mismo.

Palabras Clave: *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft; arracacha; harinas; hidrólisis enzimática; microscopia electrónica de barrido de gránulos de almidón.

SUMMARY

In order to analyze the effects of the drying thermal treatments, upon the *in vitro* enzymatic hydrolysis of the starch, in the arracacha flours, *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft, of the white and yellow morph types; the flours were obtained using convection methods at 70º - 80 ºC temperature, and in a double spinning drum dryer, with a steam pressure of 40 Psi. The changes in the structure of the starch granules were observed through the micrographics seen in the sweeping electronic microscope (MEB). The results showed that the flours of both morph types were sensible to the hydrolysis of the pancreatic α-amylase enzyme; the flours obtained in the double spinning drum dryers, resulted of high enzymatic digestion, in comparison to the baked flours by the convection method, due to the higher incidence of the drying thermal treatment upon the structural changes at the level of the amorphous regions of the starch granules; which as seen under the MEB showed the loss of the birefringence of the same.

Key Words: *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft; arracacha; flours; enzymatic hydrolysis; scanning electronic microscopy of starch granules.

RECIBIDO: enero 19, 2009

ACEPTADO: abril 29, 2009

INTRODUCCIÓN

El estudio de la hidrólisis enzimática del almidón *in vitro* permite obtener una información relativa de la biodisponibilidad del almidón *in vivo*. Por ello, las evaluaciones nutricionales de materiales amiláceos *in vivo,* tienden a ser validadas por ensayos de digestibilidad enzimática *in vitro,* que se refieren al porcentaje (%) de digestibilidad aparente de la materia seca, en la dieta de referencia, siendo diferente el comportamiento según el complejo a tratar, tales como harinas nativas, gelatinizadas, harinas con alto contenido de proteínas o grasas (Hoover, 2001).

En este sentido, se indicó que en función de la susceptibilidad de los almidones a la hidrólisis enzimática por acción de la α-amilasa pancreática, la velocidad de digestión *in vitro*, se clasifica en rápidamente digerible, cuando el sustrato amiláceo en incubación con la enzima a la temperatura de 37 ºC, se convierte en maltosa en 20 min, lentamente digerible, si bajo las condiciones anteriores se convierte en glucosa a los 120 min y almidón resistente, si el sustrato amiláceo se resiste a la acción de las enzimas digestivas (Engliyst y Cummings, 1985; Engliyst *et al*., 1992).

Con relación a la hidrólisis de diferentes tipos de sustratos, Rodríguez y Silva (2003), Tester *et al*. (2006) señalaron que los gránulos de almidón nativos se caracterizan por resistir a la hidrólisis de las amilasas pancreática. Sin embargo, en almidones gelatinizados o pregelatinizados la acción de la enzima tiende a ser más rápida y eficaz por transformar este sustrato en corto tiempo en azúcares y dextrinas, representando esta respuesta el potencial de energía disponible.

Hung y Morita (2005) demostraron que en materiales amiláceos nativos de yuca, *Manihot esculenta* Crantz y batata, *Ipomoea batata*, se presentó una digestibilidad lenta, dada a la presencia de fracciones de almidón resistentes. Sin embargo, estos autores indicaron que al cabo de 2 horas de acción de la enzima α- amilasa en este mismo sustrato, hubo un aumento de la tasa de hidrólisis hasta un 88,5%. En otras muestras de *canna edulis* y papa, *Solanum tuberosum*, estos investigadores observaron que el tiempo de hidrólisis fue menor mostrando un bajo grado de hidrólisis (51 y 48%, respectivamente), el cual fue atribuido a la posible existencia de una fosforilización o a la formación de complejos.

Con relación a este último aspecto, Tovar *et al*. 1990, Sreenath *et al*. (1992), Planchot *et al*. (1994), Gupta *et al*. (2003), Hoover y Zhou (2003) mencionaron que una de las formaciones de complejos más conocidas se establece entre la amilosa y los lípidos (amilosa-lipidos), explicando que el grado de hidrólisis en este complejo tiende a ser menor, debido a la inclusión helicoidal del lípido, que limita el acceso de la enzima α- amilasa a su sitio activo, aunque al parecer esta condición no confiera una resistencia completa a la hidrólisis enzimática. Por otra parte, estos autores al referirse a los almidones químicamente fosfórilados, explicaron que tienden a causar una restricción para la acción de la α- amilasa, debido a que los grupos fosfatos en los gránulos de almidón parcial o totalmente hinchados se repelen y promueven un menor grado de hidrólisis enzimática.

Al analizar la secuencia hidrolitíca de los polisacáridos de raíces y tubérculos, se señaló que la digestión de estos almidones puede ser variable y al respecto existe controversias, que indican que la digestión tiende a ser lenta, debido a que la hidrólisis ocurre al azar a lo largo de la cadena por la enzima α- amilasa, mientras otros consideran que esta se hace lenta, porque se sucede desde el interior del gránulo de almidón, iniciándose desde el centro y finalizando en la periferia principalmente en las regiones amorfas (Wang *et al*., 1997; Zhang y Oates, 1999; Serrano y Franco, 2005).

En una experiencia con harina de batata, *Ipomoea batata*, obtenida por dos técnicas de secado, Yadav *et al*. (2006a) determinaron que la hidrólisis del almidón deshidratado en tambor rotatorio fue mayor (66%) al compararlo con el almidón nativo (49%) y con el deshidratado por convección (63,5%), siendo estas variaciones atribuidas a las diferencias genéticas entre cultivares de batata, altos contenidos de almidón resistentes, fibra dietaría y a las modificaciones de la estructura física del gránulo por efecto del tratamiento calórico.

Las experiencias de Tovar *et al*. (2002), Rodríguez y Silva (2003), Polaina (2004), Svihus *et al*. (2005), Hung y Morita (2005) permitieron explicar que existen varias razones del porque de la heterogeneidad en el comportamiento de la digestibilidad de los almidones en los alimentos, entre las que citaron las características estructurales, composicionales y la cantidad de almidón resistente (AR), el cual físicamente puede encontrarse en el almidón dentro de estructuras que lo encapsulan o atrapan, siendo este identificado como del tipo 1 (AR1), mientras los presentados en forma de gránulos no gelatinizados o crudos fueron denominados del tipo B (AR2) y los retrogradados como del tipo AR3.

Las modificaciones por tratamientos térmicos de deshidratación no sólo cambian las propiedades fisicoquímicas del almidón, sino que transforman la estructura granular a un polímero amorfo vítreo, que dependiendo de la intensidad del flujo calorífico se relaciona con algunos eventos de la gelatinización. Siendo estos confirmados al observar en imágenes al microscopio electrónico de barrido (MEB), fragmentos dispersos o la fusión de la forma semicristalina del gránulo y eventualmente películas de masa continuas de forma amorfa (Lynn y Cochrane, 1997; Rao y Tattiyakul, 1999; Tester y Debon, 2000; Karisson y Eliasson, 2003; Rodríguez *et al*., 2005).

En este sentido, Moorthy (2002) y Espin *et al*. (2002), coincidieron en señalar que las harinas de algunas raíces y tubérculos, obtenidas por convención muestran al MEB, la inexistencia de alteraciones drásticas sobre el gránulo de almidón por efecto de las bajas temperatura (45 °C), así como estructuras con tamaños y formas característicos, según la especie. Al respecto, Bemiller (1997), Buléon *et al*. (1998) y Van Den Einde *et al*. (2003), coincidieron en señalar que al someter a los gránulos de almidón a un proceso de secado por convección usando altas temperaturas (80 °C), se promueve la formación de poros superficiales o internos, fisuras o fractura y ruptura de las lamedas o hilo de unión de las regiones cristalinas y amorfas, vistos al MEB.

Algunas de estas observaciones fueron hechas por Jayakody *et al*. (2007) en muestras de gránulos de almidón en innala, *Solenostemon rotundifolius*, obtenidos por secado de convección a 45 °C, quienes visualizaron a los gránulos de manera dispersa y con formas hemisféricas casi intactas. Mientras, Rodríguez *et al*. (2005) en gránulos de almidón de *A. xanthorriza*, secados a temperaturas de 60 °C, observaron una superficie estriada y la presencia de una mezcla de formas poliédricas y globulares, considerando Laurentín *et al*. (2003) y Shamai *et al*. (2003), que esta temperatura de secado pareciera alterar un poco la estructura del gránulo, por presentar los mismos un bajo volumen ($2,25 \pm 0,014$ ml g^{-1}), alta porosidad (70,04%) y una reducción de tamaño.

De manera similar, Leonel *et al*. (2004) evidenciaron en gránulos de almidón de batata, *Ipomoea batata*, secado por atomización a la temperatura de 80 a 120 °C con el uso del MEB, la existencia de grumos con alteraciones en la superficie de los gránulos, los cuales desarrollaron una matriz continua en forma de racimos, indicativos del evento de gelatinización, que no fue detallado en el material secado por convección a temperatura de 50 °C.

Por otro lado, en un estudio realizado por Liu *et al*. (2006), Serrano y Franco (2005) sobre el efecto del tratamiento térmico en gránulos de almidón de yuca, *Manihot esculenta* Crantz, secados por convección a 50 °C y vistos al MEB presentaron una superficie lisa y una gran variedad de tamaños predominando las formas redondas y otros de forma truncada irregular. Mientras a la temperatura de 60 ºC detallaron muchos fragmentos de los gránulos con superficies rugosas y pérdida del hilo de ligamento de las regiones amorfas y cristalinas.

Con relación a los cambios estructurales Yadav *et al*. (2006b) y Ruiz (2006) coincidieron en explicar que el secado en tambor rotatorio produce una parcial o completa destrucción de la estructura cristalina de los gránulos de almidón, que se ha corroborado por el patrón de difracción de rayos X (Sandoval *et al*., 2005). Sobre la base de lo discutido y dado el interés de conocer las potencialidades de algunas tuberosas de producción autóctona en la región de la Cordillera Andina Venezolana para su aprovechamiento agroindustrial, se planteó en esta investigación evaluar la hidrólisis enzimática *in vitro* y la microscopia electrónica de la harina horneada y extrudida de arracacha, *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft, dada la respuesta de relevante interés que esta genera aplicable en la formulación de alimentos a partir de este material amiláceo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las materias primas correspondieron a las harinas de arracacha de la variedad Xanthorrhiza, morfotipos blanco y amarillo, fueron obtenidas de raíces procedentes del municipio Tovar, estado Mérida. El acondicionamiento del material vegetal para la obtención de la harina se hizo siguiendo el esquema tecnológico propuesto por Pacheco (2001), que consistió en la selección, lavado, desinfección con jabón cuaternario al 1%, enjuagado con suficiente agua, pelado abrasivo, tratamiento por inmersión con una solución de ácido cítrico al 1% para controlar el oscurecimiento enzimático, escurrido y cubeteado (0,5x0,5cm) para el secado por convección.

Las harinas obtenidas por el método de secado por convección, se procesaron a las temperatura de bulbo seco de 70 y 80 °C con una velocidad fija de flujo de aire seco caliente de 11 m/s, en un equipo secador

industrial de bandejas marca Procter y Swchwartz, SCM Corporatión Philadelphia, PA. U.S.A., por un tiempo de 4 y 3 horas, respectivamente.

Mientras las harinas elaboradas por secado en doble tambor rotatorio, se realizaron en un equipo de laboratorio marca Bruflovak de la Food Chemical Equipment Co, a una presión de vapor de saturación de 40 psi, temperatura de secado a 130,47 °C, velocidad de secado de 0,88 rpm, a partir de una mezcla de la harina elaborada por convección a 70 °C acondicionada en una relación de harina: agua de 1: 2. La muestra seleccionada para la comparación de las harinas obtenidas en doble tambor rotatorio, correspondió a la harina instantánea comercial en hojuelas gelatinizadas de arroz (marca Baby Quaker elaborado por Alimentos Polar-Venezuela) por su similitud con la harina en estudio. La enzima usada para las pruebas de digestibilidad *in vitro* fue la alfa amilasa pancreática porcina de actividad 10 000 UI, marca Sigma Chemical Co (A-3176-St. Louis, EEUU).

Plan de muestreo y análisis estadístico

Para la obtención de las harinas horneadas por el método de secado de convección, se tomó de forma aleatoria 3 muestras de raíces frescas de cada morfotipo, siendo conformada cada muestra por un promedio de 10 kg y para elaborar las harinas en tambor rotatorio se uso una muestra total de 8 kg de la harina horneada a 70 °C, asignando 4 kg por morfotipo. Con relación a las pruebas estadísticas se estableció para los datos de digestibilidad *in vitro* del almidón, seguir un modelo completamente aleatorizado aplicando un análisis de varianza de 2 vías para comparar todas las observaciones en función de la media de cada grupo y las pruebas de comparación de medias de Tukey para un nivel de confianza del 95% en los casos donde la varianza detectó diferencias significativas entre las medias comparadas referidas a los niveles de hidrólisis enzimática (Montgomery, 1991). Los análisis se realizaron por el programa computarizado de Statistix para soporte técnico de Windows 2000.

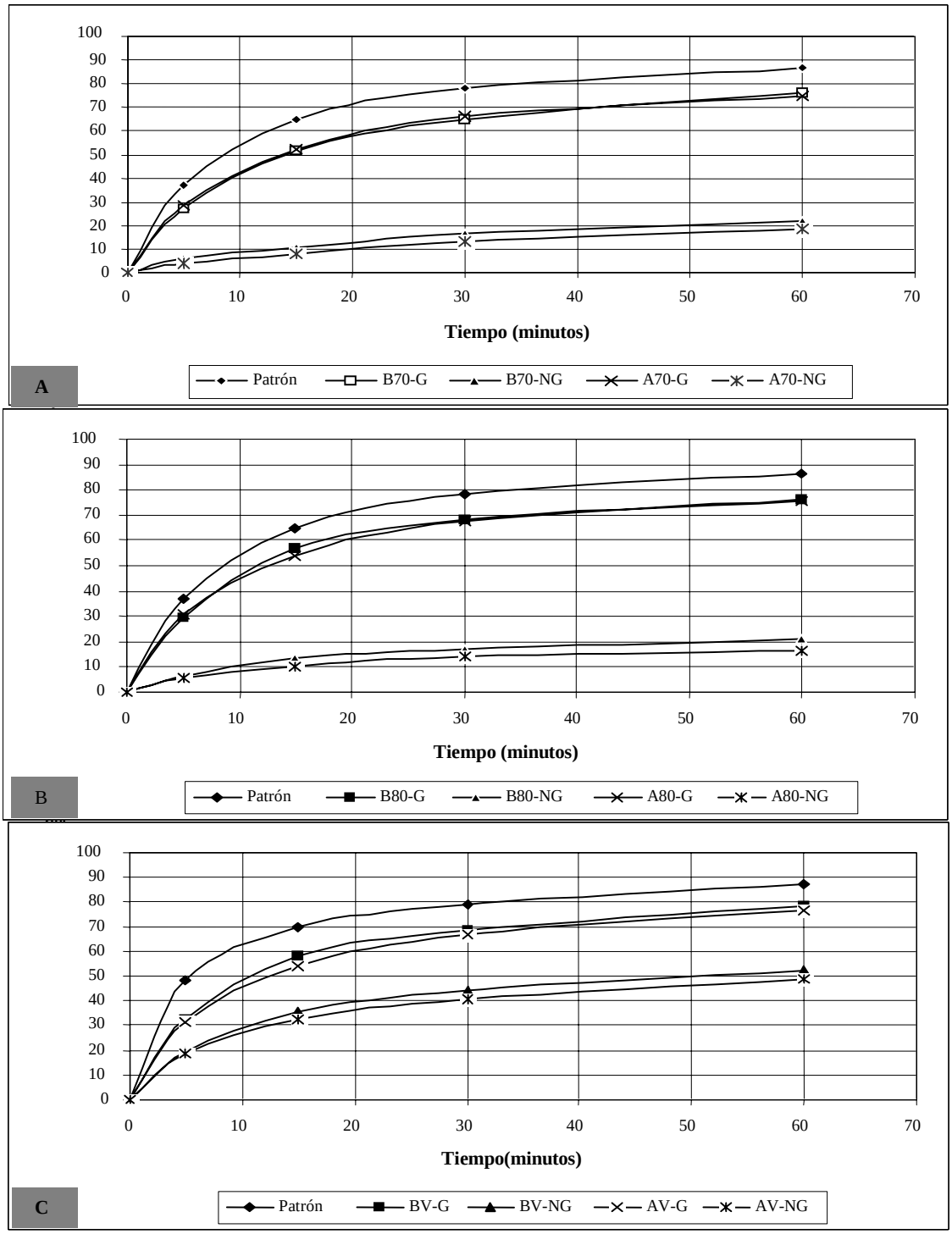
Análisis de la hidrólisis enzimática *in vitro* del almidón en las harinas: se realizó por el método de Holm *et al*. (1985), el cual permitió determinar la tasa de digestión del almidón en los alimentos como se ingieren. El almidón se hidrolizó con α-amilasa pancreática porcina, reduciéndose este en azucares señalados como equivalentes de maltosa, determinados por espectrofotométria a una absorbancia de 530 nm. Los resultados se expresaron como porcentaje de hidrólisis enzimática. Para la interpretación de los resultados se tomo como referencia los contenidos de almidón disponible (método multienzimático de Holm *et al*., 1986), almidón resistente (método de Goñi *et al*., 1996) y fibra dietaría (método enzimático-gravimétrico de Prosky *et al*., 1992). Para analizar el comportamiento de los niveles o grados de hidrólisis de las distintas muestras, se compararon estas previamente gelatinizada a la temperatura de 98 °C por 20 min y sin gelatinizar con respecto a la muestra de referencia (hojuelas gelatinizadas de arroz), que fue considerada de mayor digestibilidad enzimática por la acción de la α- amilasa pancreática.

Análisis de MEB: las muestras de las distintas harinas en estudio, se prepararon en los porta-espécimen utilizando un soporte de doble tape de grafito, sometiendo posteriormente la muestra a un cobertor iónico de ~100 Aº en un equipo de cobertor iónico EIKO IB3, observando los efectos de la temperatura de deshidratación sobre el material en un rango de 600 a 1500 x en un MEB marca HITACHIS-2300.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se observa la velocidad de hidrólisis de la enzima α- amilasa en las harinas horneadas por convección, previamente gelatinizada en medio acuoso, encontrándose que en el tiempo de 5 a 30 min, las harinas blancas tratadas a 70 °C, tienden a incrementar la hidrólisis del almidón desde 27,31 ± 0,11 a 65,04 ± 0,10% y las amarillas de 28,40 ± 0,07 a 66,36 ± 0,10%, encontrándose transcurridos 60 min una mayor relación de hidrólisis en la harina de arracacha blanca (76,30 ± 0,10%) que en la amarilla (73,84 ± 0,09%) sin que existan diferencias significativas (P≥0,05) entre ellas.

Estas respuestas al compararla con la muestra estándar (hojuelas gelatinizado de arroz) tomada como referencia por reflejar la máxima hidrólisis de un sustrato amiláceo, se pudo detectar que las harinas en estudio mostraron una menor, pero no baja susceptibilidad a la amilólisis, registrada en función al tiempo. Infiriéndose, que la velocidad de reacción para las muestras gelatinizadas en estudio, tienden a una digestión del almidón disponible intermedia, pero que continua al tiempo de 60 min alcanzando valores máximos promedios entre 76,30 y 73,84%, no siendo más altos estos promedios posiblemente por la presencia de cierta fracción de almidón, que se resiste a esta amilólisis.



A: Harinas de arracacha deshidratadas por convección a 70 ºC; **B:** Harinas de arracacha deshidratadas por convección a 80 °C; **C:** Harinas de arracacha deshidratadas en doble tambor rotatorio. Muestra patrón o estándar: almidón de maíz gelatinizado. **A70-G:** harina de arracacha amarillo deshidratada a 70 °C -gelatinizada. **B80-NG:** harina de arracacha blanca deshidratada a 80 °C- no gelatinizada. **AV:** harina de arracacha amarillo deshidratada en tambor rotatorio

FIGURA 1. Velocidad de hidrólisis enzimática por acción de la α- amilasa pancreática en las harinas de arracacha deshidratadas por convección y en tambor rotatorio.

De acuerdo a la clasificación nutricional de los almidones propuesta por Englyst y Cummings (1992) basado en la velocidad con que un alimento libera glucosa bajo las condiciones específicas de estudio, esta respuesta correspondería a un almidón que tiende a ser rápidamente o altamente digerible, ya que la conversión en glucosa ocurre en un tiempo menor a los 120 min, pero no a los 20 min para referirse a los almidones rápidamente digeribles, siendo por esto tentativamente una digestión de tipo intermedia.

En el caso de las harinas sin gelatinizar, se determinó que las muestras de los morfotipos blanco y amarillo horneadas por convección a 70 °C, siguen una tasa de hidrólisis muy lenta, aunque entre ellas pareciera que la enzima en dichas condiciones tiene con más facilidad a interactuar con la harina del morfotipo amarillo. Pero, evidentemente al compararla con las muestras gelatinizadas (73,84-76,30%), la tasa de amilólisis (22,10-18,22%) fue significativamente baja (α:0, 05), siendo esto posible a la existencia de fibra dietaría o de carbohidratos en una conformación difícil de ser hidrolizada por la enzima, tal vez parecida a los almidones resistentes o debido a la presencia de fracciones formando complejos inaccesibles a la acción de la enzima que en conjunto reducen la acción enzimática de la α- amilasa pancreática.

Esta aseveración se complementa por el comportamiento anterior, de los gránulos de almidón gelatinizados, donde se determinó que este proceso incrementa la disrupción de la estructura del almidón aumentando linealmente la susceptibilidad de los polisacáridos en suspensión a la degradación por la amilasa pancreática en su actividad de liberación de la glucosa.

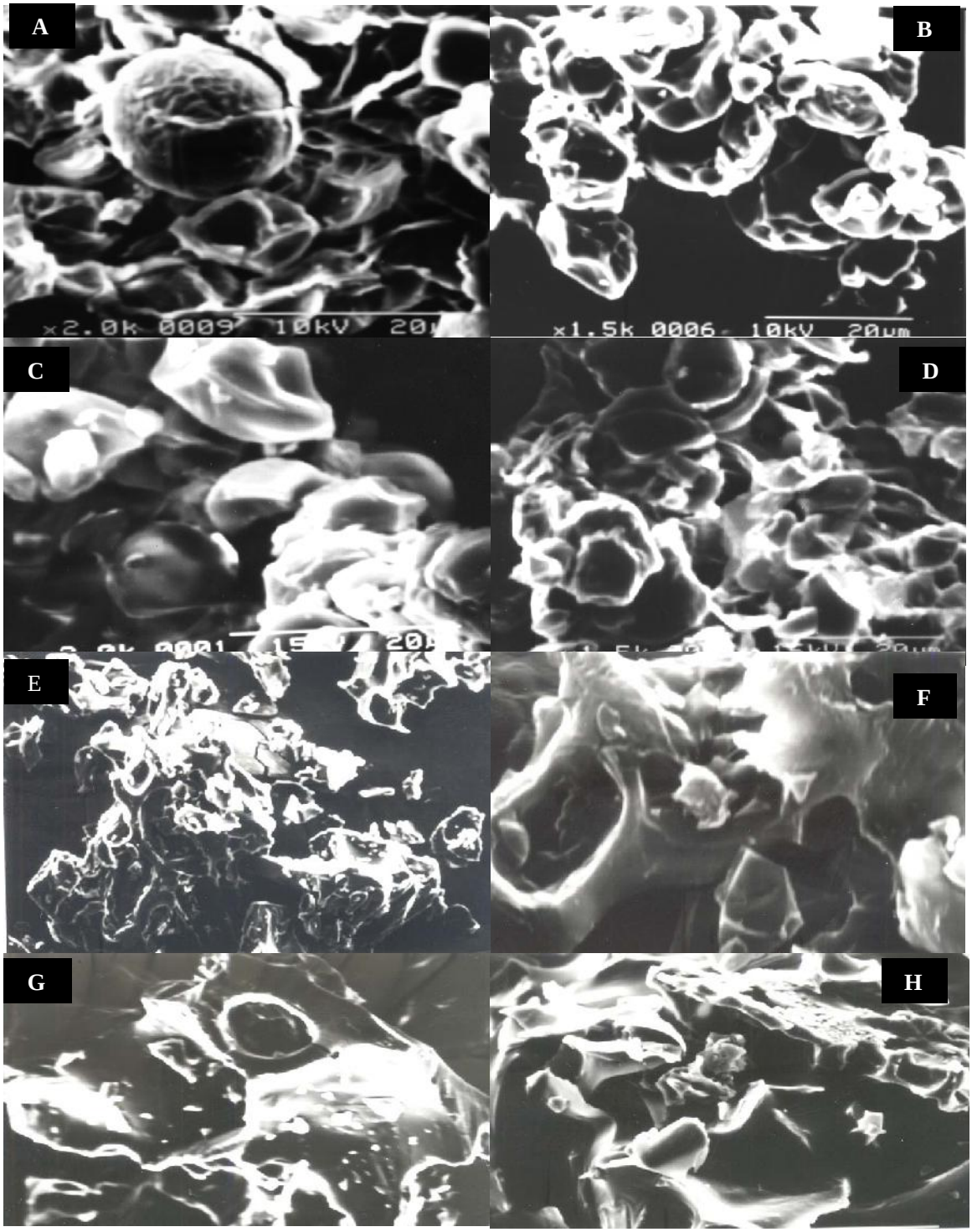
En el caso de las harinas horneadas por convección a 80 °C previamente gelatinizadas (Figura 1B), se encontró una tasa de hidrólisis más rápida desde la velocidad de inicio de la reacción, tanto en las harinas del morfotipo blanco (29,98 ± 0,05%) como amarillos (30,80 ± 0,11). Aunque, al compararlas con las muestras obtenidas a 70 °C (Figura 1A), estas mantuvieron incrementos sostenidos de la tasa de amilólisis por el tiempo de exposición de 60 min a la acción de la enzima, alcanzando valores promedios de 29,98 ± 0,05 a 76,38 ± 0,08 y 30,80 ± 0,11 a 75,05 ± 0,07, respectivamente.

Es probable que las diferencias entre las muestras obtenidas por convección, se debieran a la severidad del tratamiento térmico a la temperatura de 80 °C por 3 h con respecto a la temperatura de 70 °C sobre el gránulo de almidón. Esto por favorecer la disrupción o liberación de posibles estructuras complejas, alterar su integridad y conformación (tamaño y distribución de las fracciones de amilosa, amilopectina y de otros constituyentes), que reducen cualquier impedimento físico, para la acción consecutiva de la enzima en los puntos activos y específicos a nivel del polisacárido. Esta tendencia fue observada en la muestra vista al MEB (Figura 2A y 2B), donde los gránulos de almidón presentaron alteraciones en su forma de globulares a poliédricas, estructura y tamaño definidos a formas agregadas o de masa continua con un menor grado en los gránulos tratados a la temperatura de 80 °C (Figura 2C y 2D), que mostraron fusión incompleta en la fracción de amilosa y amilopectina, indicativas de la pérdida de la cristalinidad.

Sin embargo, se encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) en el grado de hidrólisis de este sustrato al compararlo con la muestra estándar a los 60 min (85,41 ± 0,10 a 86,54 ± 0,08), debido a la posible presencia de una fracción que se resiste a la hidrólisis por acción de la enzima en estudio, que representó un promedio de 5,98 ± 0,08 g/100g del almidón resistente y de 4,66 ± 0,03 a 4,87 ± 0,03 g/100g de fibra dietaría, tanto en las harinas del morfotipo blanco y amarillo. Siendo, este material amiláceo considerado de rápido o altamente digerible, ya que la diferencia en la conversión de glucosa con respecto a esta muestra fue aproximadamente un 13,20%.

Al comparar estos resultados con las experiencias de la literatura, se encontró que estos presentaron una tasa de hidrólisis enzimática similar a las descritas para los materiales nativos gelatinizados y aquellos sometidos a severos tratamientos térmicos, donde se evidenció una rápida y alta actividad enzimática, pero con una leve reducción de la digestión del almidón por la presencia de compuestos que limitan la afinidad de la enzima α-amilasa a la hidrólisis progresiva, de acuerdo a lo explicado por Tester *et al.* (2006).

Mientras, el comportamiento de las muestras sin gelatinizar fueron similares a las identificadas por Espín *et al*. (2002), en materiales amiláceos de raíces y tubérculos, al mostrar en el medio de dispersión de la enzima, una velocidad de hidrólisis lenta, el cual se atribuyó a la cantidad de amilosa contenida y a la dificultad de la enzima para actuar sobre la extensa cadena de distribución de la amilopectina (α1-6), ya que esta actúa principalmente sobre la cadena lineal (α1-4).



A: Harina de arracacha blanco deshidratada a 70 °C; **B:** Harina de arracacha amarilla deshidratada a 70 °C; **C:** Harina de arracacha blanco deshidratada a 80 °C; **D:** Harina de arracacha amarilla deshidratada a 80 °C; **E:** Harina de arracacha blanco secado en tambor rotatorio: Harina de arracacha amarilla secado en tambor rotatorio; **G:** Harina de arracacha blanco secado en tambor rotatorio; **H:** Harina de arroz comercial (marca Baby Quaker).

FIGURA 2. Micrografía electrónica de barrido de la harina de arracacha deshidratada por convección y en doble tambor rotatorio.

La baja tasa de amilólisis que fue observada, se relacionó con la presencia de los contenidos de almidón resistente y fibra dietaría en el medio. Además, de haberse considerado la probable influencia de ciertas cantidades de fosfatos monoesteres, lípidos y fosfolípidos, así como de los gránulos de almidón con cambios estructurales originados por el efecto del tratamiento térmico aplicado (grado de gelatinización del gránulo de almidón). En consecuencia se entendió que las harinas horneadas por convección, mostraran niveles de hidrólisis, muy bajos para describir la velocidad con que el alimento libera glucosa en las condiciones específicas del ensayo. Esta posible respuesta fue discutida por Hung y Morita (2005), quienes concluyeron que estos factores y la retrogradación de los almidones, podrían ser la razón de la limitada acción de la enzima pancreática para generar tal respuesta.

Los valores de velocidad de digestión hidrólitica de los polisacáridos en estudio, determinaron que a los 15 min de acción de la enzima α- amilasa pancreática ocurre una hidrólisis enzimática en más de un 50% y al cabo de los 60 min estos promedios aumentan entre un 73 a 76%. Siendo esta respuesta favorable por permitir recomendar a estas harinas para ser incluidas como ingrediente en la formulación de alimentos, donde su preparación requiera ser sometidos a cocción por corto tiempo (por ejemplo sopas, cremas o productos horneados). Ya que se ha demostrado que los alimentos cocidos u horneados son de más fácil y rápida digestión enzimática, como consecuencia de que el tratamiento calórico produce la ruptura de los gránulos de almidón y un cambio irreversible en la estructura cristalina de la molécula (gelatinización), facilitando de este modo la acción de la enzima α-amilasa pancreática en el proceso de digestión natural (Hung y Morita, 2005; Farhat *et al*., 2001; Gallant *et al*., 1992).

Al comparar las harinas horneadas por convección con las obtenidas en doble tambor rotatorio (Figura 1C), se encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) por el mayor grado de hidrólisis enzimática, determinada en las harinas no gelatinizadas desde el inicio de la acción de enzima amilasa pancreática (20,41-21,88%), la cual fue incrementando hasta los 60 min a valores promedios de $56,66 \pm 0,12$ a $58,21 \pm 0,10$, lo cual puede representar una velocidad de hidrólisis intermedia y por ello inferir posiblemente un índice glucémico menor. De acuerdo a estos resultados, pareciera que el tiempo de exposición de la muestra a una alta temperatura de secado, influyó en las características de la velocidad de la digestión hidrolítica de las harinas, dadas las modificaciones internas y periféricas que tuvo el gránulo de almidón por efecto del tratamiento hidrotérmico.

Un comportamiento similar, fue encontrado en las muestras previamente gelatinizadas, permitiendo esta respuesta inferir que el tratamiento térmico aplicado para la obtención de las harinas en doble tambor rotatorio, favorecen la velocidad de hidrólisis enzimática de la enzima a-amilasa, dando lugar a que estas sean rápida y altamente digeribles, como la muestra estándar analizada bajo las mismas condiciones.

De acuerdo a estos resultados, se podría considerar que las diferencias en la digestibilidad *in vitro* del almidón entre estas harinas, dependen no sólo de la fuente botánica, sino de las condiciones y la influencia de los factores físico en el proceso de deshidratación del material amiláceo, dadas las modificaciones que este promueve sobre el gránulo de almidón, como por ejemplo en el tamaño granular, área de la superficie del gránulo, proporción de la amilosa/amilopectina, cantidad de complejos que puedan formarse entre la amilosa y los lípidos, regiones cristalinas y extensión de la cadena de amilopectina (Serrano y Franco, 2005; Polaina, 2004; Osorio *et al*., 2004).

Tal como se observó en la micrografía de MEB (Figuras 2E, 2F y 2G) donde se muestra los cambios del gránulo a formas de escamas y de material agregado sin áreas definidas, tipo masa discontinua, similares a las observadas en la muestra comercial de harina en hojuelas de arroz (Figura 2H) en la harina de yuca obtenida en tambor rotatorio por González y Pérez (2003) y por Leonel *et al*. (2004) en muestras de gránulos de almidón de batata sometidas a deshidratación por atomización con aire caliente a temperatura de 80-120 °C, donde evidenciaron la pérdida de la birrefringencia. Así como las vistas por Yadav *et al*. (2006a) en muestras sometidas al secado en tambor rotatorio, donde detallaron una parcial a completa destrucción de la estructura cristalina de los gránulos de almidón. Indicando Serrano y Franco (2005) que al existir una menor cristalinidad de los gránulos hay una mayor tasa de hidrólisis, dada por la presencia de un gránulo de almidón parcial o completamente gelatinizados.

Por otro lado, esta respuesta permite recomendar el uso de las harinas horneadas por convección, previamente gelatinizadas para incrementar la disponibilidad enzimática del almidón, debido al efecto de este tratamiento sobre los gránulos de almidón. Estas propuesta coincide con lo discutido por Tovar *et al*. (1991), Gunaratne y

Hoover (2002), Tovar *et al*. (2005), quienes explicaron que la susceptibilidad de los almidones aumenta con la temperatura óptima de acción de la enzima α- amilasa, aunque su actividad y velocidad hidrolítica, se vea afectada por la naturaleza de la superficie del gránulo, la cristalinidad, a la presencia de almidón resistente y fibra dietaría, factores importantes para definir la capacidad de la enzima de lograr la disrupción del gránulo y su entrada rápida al interior del mismo (ver Cuadro).

La harina obtenida en doble tambor rotatorio posee un contenido de almidón resistente (1,53 ± 0,09 g/100g) y de fibra dietaría (9,65 ± 0,05 g/100g) mayor que en la muestra estándar o de referencia (hojuelas gelatinizadas de arroz), considerándose que estos contenido posiblemente influyen en la velocidad de hidrólisis de la enzima (Polaina, 2004; Pandey *et al*., 2000; Rendleman, 2000). Sin embargo, estas harinas tuvieron una tasa de amilosis más alta que las horneadas por convección, siendo entonces posible que presenten un mayor índice glucémico.

Esta aseveración se sustenta por las experiencias de Islas *et al*. (2006) quienes concluyeron que el almidón potencialmente disponible, el aumento del almidón total resistente y el almidón retrogradado, juegan un papel importante en la reducción de la tasa de digestibilidad del almidón, por efecto de la endoenzima α- amilasa en los alimentos e incluso durante el almacenamiento. Así como que una alta velocidad de amilólisis *in vitro* permite la predicción de una alta respuesta glucémica postprandial de un alimento (Tovar *et al*., 2005).

CONCLUSIONES

- Las harinas de ambos morfotipos fueron sensibles a la hidrólisis de la enzima α- amilasa pancreática, resultando las obtenidas en doble tambor rotatorio de alta digestión enzimática con respecto a las horneadas por el método de convección (tasa amilolítica intermedia) a causa de la mayor incidencia del tratamiento térmico de secado sobre los cambios estructurales a nivel de las regiones amorfas de los gránulos de almidón, vistos al MEB. Considerándose por ello que estas harinas podrían ser usadas como materia prima alternativa para formular productos instantáneos, como por ejemplo bebidas, papillas o atoles, que usualmente son elaborados con la harina de trigo (*Triticum sativum* L.).

CUADRO. Contenido de almidón, almidón resistente y fibra dietaría en las harinas de arracacha obtenidas por convección y en doble tambor rotatorio.

Harinas	Humedad (g/100g)	Almidón (g/100g)	Almidón resistente (g/100g)	Fibra dietaria (g/100g)
HA70	9,68 ± 0,03[a]	74,36 + 0,04[a]	5,99 ± 0,03[a]	4,20 ± 0,02[c]
HB70	9,76 ± 0,04[a]	74,47 + 0,03[a]	5,97 ± 0,02[a]	4,66 ± 0,03[b]
HA80	9,66 ± 0,02[a]	74,24 + 0,02[a]	5,79 ± 0,02[b]	4,72 ± 0,02[a]
HB80	9,64 ± 0,03[a]	74,38 + 0,02[a]	5,71 ± 0,03[b]	4,87 ± 0,03[a]
HADT	3,84 ± 0,06[b]	68,44 + 0,02[a]	1,49 ± 0,02[c]	4,87 ± 0,03[a]
HADT	3,81 ± 0,04[b]	68,56 + 0,04[b]	1,53 ± 0,09[c]	4,87 ± 0,03[a]

* Letras iguales no existe diferencias significativas en una misma columna.
**HA70: Harina de arracacha amarilla obtenida por convección a 70 °C.
HB70: Harina de arracacha blanca obtenida por convección a 70 °C.
HA80: Harina de arracacha amarilla obtenida por convección a 80 °C.
HB80: Harina de arracacha blanca obtenida por convección a 80 °C.
HADT: Harina de arracacha amarilla obtenida en doble tambor rotatorio.
HBDT: Harina de arracacha blanca obtenida en doble tambor rotatorio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de la Planta Piloto de Vegetales- FAGRO-UCV, Planta Piloto de la Fundación CIEPE- Estado Yaracuy, Dr. Olivar Castejón-Director del Centro de Microscopia Electrónica de la Universidad de Carabobo (CIADANA)- Estado Aragua y a la ayuda de la técnica Gloria Betancourt (Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Agronomía-UCV).

BIBLIOGRAFÍA

Bemiller, J. 1997. Starch modification: challenges and prospects. Starch/Starke, 49(4):27-131.

Buléon, A., P. Colonna, V. Planchot and S. Ball. 1998. Starch granules: Structure and biosynthesis. International Journal of Biological Macromolecules, 23:85-112.

Engliyst, H. and J. Cummings. 1985. Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine. American Journal of Clinical Nutrition. 42:778-787.

Englyst, H., S. Kingman and J.Cummings. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. European Journal of Clinical Nutrition, 46 (suppl. 2):33-50.

Espín, S., X. Chiriboga y J. Altamirano. 2002. Caracterización química y digestibilidad de los almidones de siete especies de raíces y tubérculos andinos del Ecuador. **In:** resúmenes XI Congresso Italo-Latino-americano di Etnomedicina"Alberto Di Capua" Atti_Resumenes.Universitá degli Studi di Pavia. Pavia, Italia. p.155.

Farhat, J., A. Becker, B. Valles, R. Neale and S. Hill. 2001. Effect of the extent of conversion and retrogradation on the digestibility of potato starch. Starch/Stärke, 53:431-436.

Gallant, I., A. Bouchet, S. Buleón and S. Pérez.1992. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. European Journal Clinical Nutrition, 46(1):3-16.

Goñi, I., L. García and F. Saura. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods products. Food Chemistry,56(4):445-449.

González, Z. y E. Pérez. 2003. Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pregelatinizados y calentados con microondas. Acta Científica Venezolana, 54:127-137.

Gunaratne, A. and R. Hoover. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physico-chemical properties of tuber and root starches. Carbohydrate Polymers, 49(4):425-437.

Gupta, R., G. Paresh, H. Mohapatra, V. Kumar and B. Chauhan. 2003. Microbial α-amylases: a biotechnological perspective. Process Biochemistry, 38(11):1 599-1 616.

Holm, J., I. Bjorck, A. Drews and N. Asp. 1986. A rapid method for the analysis of starch. Starch/Starke, 38:224-229.

Hoover, R. 2001. Composition, molecular, structure and physicolchemical properties of tuber and root starches. Review. Carbohydrate Polymers, 45:253-267.

Hoover, R., and Y. Zhou. 2003. *In vitro* and *in vivo* hydrolysis of legume starches by α- amylase and resistant starch formation in legumes. A review. Carbohydrate Polymers, 54(4):401-417.

Hung, P. and N. Morita. 2005. Physicochemical properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam. Carbohydrate Polymers, 61(3):314-321.

Islas, J., R. Rendón, E. Agama, F. Gutiérrez, J. Tovar, G. Arámbula and L. Bello. 2006. *In vitro* digestion rate and resistant starch content of tortillas stored at two different temperatures. Food Science and Technology. 39(8):947-951.

Jayakody, L., R. Hoover, Q. Liu and E. Donner. 2007. Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka. Carbohydrate Polymers. 69:148-163.

Karisson, M. and E. Eliasson. 2003. Gelatinization and retrogradation of potato starch in situ as assessed by differential scannig colororimetry. Lebensm Wiss Tecnology. 36:735-741.

Laurentín, M., J. Cárdenas, E. Ruales, E. Pérez and J. Tovar. 2003. Preparation of indigestible pyrodextrins from different starch sources. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51:5 510-5 515.

Leonel, M., A. Dal Bianco and M. Reis. 2004. Physicochemical and microscopical characterizations of sweet potato, canna, cassava and cocoyam starches and their expansion properties after photochemical modification. Brazilian of Journal Food Technology, 7(2):129-137.

Liu, Q., E. Donner, Y. Yin, R. Huang and M. Fan. 2006. The physicochemical properties and in vitro digestibility of selected cereals, tubers and legumes grown in China. Food Chemistry, 99(3):470-477.

Lynn, A. and M. Cochrane. 1997. An evaluation of confocal microscopy for the study of starch granule enzymic digestion. Starch/ Stärke, 49:106-111.

Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Editorial Iberoamericana. Caracas. 589 p.

Moorthy, S. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tubers starch. A review. Starch/ Stärke, 54:559-564.

Osorio, P., E. Agama, R. Carmona, J. Tovar, O. Paredes and L. Bello. 2004. Resistant starch and *in vitro* starch digestibility of cooked "ayocote" bean (*Phaseolus coccineus*). Revista Interciencia, 29:510-514.

Pacheco, E. 2001. Evaluación nutricional de sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde digestibilidad *in vitro* del almidón. Acta Científica Venezolana, 52:278-282.

Pandey, A., P. Nigam, C. Zoccol, V. Soccol, D. Singht and R. Mohan. 2000. Advances in microbial amylases. Biotechnology and Applied Biochemistry, 31(2):135-152.

Polaina, J. 2004. Structure, function and molecular engineering of enzymes involved in carbohydrate digestion. Revista Mensaje Bioquímico, México. 28:61-76.

Planchot, P., D. Colonna, J. Gallant and B. Bouchet. 1994. Extensive degradation of native starch granules by α- amylase from *Aspergillus fumigatus*. Journal of Cereal Science, 21:163-171.

Prosky, L., N. Asp, E. Schweiser, J. Devries and Y. Furda. 1992. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food product. Interlaboratory study. Journal Association Official Analytical Chemistry, 75:1 017-1 023.

Rao, M. and J. Tattiyakul. 1999. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. Carbohydrate Polymers. 38:123-132.

Rendleman, J. 2000. Hydrolytic action of a-amylase on high amylose starch of low molecular mass. Biotechnology Applied Biochemistry. 31:171-178.

Rodríguez, D., M. Espitia, Y. Caicedo, Y. Cordoba, Y. Baena y C. Mora. 2005. Caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmotécnicas del almidón de arracacha (*Arracacha xanthorriza*). Revista Colombiana de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, 34(2):140-146.

Rodríguez, L. and S. Silva. 2003. Resistant starch and its physicochemical properties. Revista de Nutrición, 16(2):219-226.

Ruiz, G. 2006. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Revista Ingeniería y Ciencia, 2(4):5-28.

Sandoval, A., E. Rodríguez y A. Fernández. 2005. Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido para la caracterización de las modificaciones del almidón. Revista de la Facultad de Minas-Colombia (DYNAS), 72(146):45-53.

Serrano, P. and C. Franco. 2005. Annealing and enzymatic hydrolysis of cassava starch. Brazilian of Journal Food Technology, 8(3):220-232.

Shamai, K., H. Bianco and E. Simón. 2003. Polymorphism of resistant starch type III, Carbohydrate Polymers, 54:363-369.

Sreenath, H. 1992. Studies on starch granules digestion by a-amylase. Starch/Stärke, 44:61-63.

Svihus, B., A. Uhlen and O. Harstad. 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. Animal Feed Science and Technology, 122:303-320.

Tester, R. and S. Debon. 2000. Annealing of starch. a review. Journal of Biological Macromolecules, 27:1-12.

Tester, R., X. Qi and J. Karkalas. 2006. Hydrolysis of native starches with amylases. Review. Animal Feed Science and Technology, 130(1-2):39-54.

Tovar, J., A. de Francisco, I. Bjorck and N. Asp. 1991. Relationship between microstructure and *in vitro* digestibility of starch in precooked leguminous seed flours. Food Structure, 10:19-26.

Tovar, J., C. Melito, E. Herrera, A. Rascón and E. Pérez. 2002. Resistant starch formation does not parallel syneresis tendency in different starch gels. Food Chemestry, 76:455-459.

Tovar, J., I. Bjorck and N. Asp. 1990.Starch content and amylolysis rate in precooked legume flours. Journal of the Agriculture and Food Chemistry, 38:1 818-1 823.

Tovar, J., M. Fernández and A. Blanco. 2005. Digestibilidad *in vitro* del almidón en preparaciones cocidas y molidas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Interciencia, 30(12):780-783.

Van Den Einde, R., A. Van Der Goot and R. Boom. 2003. Understanding molecular weight reduction of starch during heating-shearing processes. Journal of Food Science, 68(8):2 396-2 404.

Wang, W., J. Powell and A. Oates. 1997. Effect of annealing on the hydrolysis of sago starch granules. Carbohydrate Polymers, 33:195-202.

Yadav, A., M. Guha, R. Tharanathan and S. Ramteke. 2006a. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. Food Science and Technology, 39(1):20-26.

Yadav, A., M. Guha, R. Tharanathan and S. Ramteke. 2006b. Influence of drying conditions on functional properties of potato flour. Journal European Food Research and Technology, 223(4):553-560.

Zhang, T. and C. Oates. 1999. Relationship between α-amylase degradation and physical-chemical properties of sweet potato starches. Food Chemistry, 65:157.

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE A PARTIR DE RESIDUOS AZUCAREROS

MICROBIAL CHARACTERIZATION OF THE COMPOSTING PROCESS FROM SUGAR WASTE

Tibayde M. Sánchez Gómez*

* Profesora Asistente. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Agronomía (UCV-FAGRO). E-mail: sanchezt@agr.ucv.ve

RESUMEN

La finalidad del trabajo fue caracterizar microbiológicamente el proceso de compostaje a partir de residuos azucareros y evaluar su efecto sobre el grado de maduración del compost. Durante el proceso de compostaje se tomaron muestras compuestas, realizándose análisis microbiológicos: cuantificación de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas y termófilas, bacterias celulolíticas y hongos, como la caracterización genérica de la microbiota fúngica. Se cuantificaron las bacterias heterótrofas aerobias mesófilas y termófilas, y los hongos por el método de recuento en placas y las bacterias celulolíticas por el método del número más probable, luego se evaluó la calidad del compost mediante pruebas de germinación. El pH cercano a la neutralidad permitió que las bacterias mesófilas lideraran la fase inicial, en la fase termofílica las bacterias termófilas están en mayor proporción que las bacterias mesófilas y en la fase de estabilización vuelven las bacterias mesófilas a liderizar el proceso de compostaje. Las bacterias celulolíticas descienden a medida que avanza el compostaje, al contrario los hongos incrementan su actividad al final del proceso. Entre los hongos se observó la presencia dominante de *Aspergillus flavus* en la fase inicial, *A. fumigatus* en la fase termofílica y en la de estabilización ocasionalmente se observó la presencia de *A. terreus, A. flavus*, *A. níger* y otras especies de *Aspergillus*. El porcentaje de germinación de hortalizas en el material compostado se encuentra por debajo del 80%, lo que indica que el material presenta limitaciones para usarse directamente como sustrato para la germinación.

Palabras Clave: microorganismos; hongos; bacterias; compost; residuos azucareros.

SUMMARY

This work is to characterize the microbiological process of composting from sugar waste and to evaluate their effect on the maturation of the compost. During the composting process, it was taken composed samples and conducted microbiological analysis: quantification of aerobic mesophilic and thermophilic heterotrophic bacteria and celulotiticas bacteria and fungi as generic characterization of the fungal microbiota. Heterotrophic bacteria mesophiles and thermophilic aerobic were quantified and fungi by the method of plaque recount and the bacteria celuloticas by the most probable number method. We evaluated the quality of the compost by germination tests. The pH close to neutrality allowed that mesophilic bacteria lead the initial phase, in the thermophilic phase the thermophilic bacteria are more than mesophilic bacteria and in the stabilization phase mesophilic bacteria again lead the composting process. Cellulolitic bacteria drecrease the it activity as it moves down the compost, unlike fungi increase their activity at the end of the process. Among the fungi observed in the experiment the *Aspergillus flavus* dominanted in the initial phase, *A. fumigatus* in the thermophilic phase and the occasionally stabilization it was observed the presence of *A. terrus*, *A. flavus*, *A. niger* and other *Aspergillus species*. The germination percentage of vegetables in the compost material is below 80% indicating that the material is limited for use directly as a substrate for germination.

Key Words: microorganisms; fungi; bacteria; compost; waste sugar.

RECIBIDO: noviembre 27, 2008

ACEPTADO: febrero 02, 2009

INTRODUCCIÓN

La crisis energética y económica mundial ha llevado en los últimos años, al desarrollo de aplicaciones biotecnológicas para el tratamiento de desechos agroindustriales y domésticos para evitar que su presencia se convierta en un factor degradante del medio ambiente.

Los centrales azucareros son grandes contaminadores por la gran cantidad de desechos generados en el proceso agroindustrial, estos residuos pueden revalorizarse transformándose en materiales orgánicos con la ayuda del desarrollo de tecnologías y el aporte de microorganismos para que estos procesos degradativos sean aprovechados por las diversas actividades del ser humano (Calero, 1999).

Por cada tonelada de tallos molidos en el proceso de transformación agroindustrial, se extraen 250 kg de bagazo, 6 kg de cenizas, 45 kg de melaza, 30 kg de cachaza y 14 l de vinaza por cada litro de alcohol producido a partir de la melaza.

Generalmente, estos subproductos, son usados en el proceso de compostaje ya que constituyen un problema de contaminación ambiental, por la gran cantidad de residuos que se generan anualmente y que en forma permanente alterarían irreversiblemente los ecosistemas cercanos a los centrales; por lo que se les debe dar una salida, gestionándolos de la manera más económica, social y ambientalmente posible (Miranda, 2001).

El compostaje es una alternativa a la problemática de contaminación de los desechos orgánicos que se generan en la industria del azúcar, pero, se manejan desconociendo la dinámica microbiana presente en el proceso.

En su manejo, se desconocen los microorganismos responsables de la degradación de los desechos orgánicos y por ello los factores físicos-químicos que favorecen su actividad (Godoy, 2002).

El éxito de un proceso de compostaje, dependerá entonces de aplicar los conocimientos de microbiología, manejando la pila de compost como un medio de cultivo.

Existen muchas especies diferentes de microorganismos a lo largo del proceso de compostaje, la finalidad de este trabajo fue conocerlos, cuantificarlos y valorar el efecto de los procesos microbianos sobre el grado de maduración del compost.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo: el ensayo se desarrolló en uno de los patios del Centro de Acopio de Central El Palmar, S.A. (CEPSA), se conformaron 3 pilas de forma cónica y base circular de 10 t cada una, compuestas de 70% de cachaza, 15% de bagazo, 10% de tierra de molino y 5% de cenizas, tal como son preparadas las mezclas para la obtención del material compostado (Ferbiplant) que comercializa el Central. Una vez conformadas las pilas fueron dispuestas en un sistema abierto, en apilamiento con volteo cada 8 d durante los primeros 30 d del proceso y sin riego.

De cada pila se obtuvieron 10 muestras simples aleatorias del estrato medio, se mezclaron para obtener una muestra compuesta representativa de las 3 pilas y se colocaron en bolsas de 2 kilogramos de capacidad y se realizaron 3 muestreos: a los 30, 60 y 90 d del proceso de compostaje. Cabe destacar que se evaluaron en una primera etapa las condiciones físico-químicas del proceso, pero, aquí sólo se analizarán las evaluaciones microbiológicas y biológicas del mismo.

Evaluaciones microbiológicas: las evaluaciones microbiológicas se realizaron para conocer la dinámica poblacional de los diferentes microorganismos:

Cuantificación de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas, heterótrofas aerobias termófilas y hongos. Los análisis de la población microbiana consistieron en la cuantificación de bacterias y hongos por el método de recuento en placas. Lo cual permitió contar el número de microorganismos en el compost que formaron en ellas suspensiones finas, esto se realizó suspendiendo un peso conocido de la muestra en un disolvente estéril.

Cuantificación de bacterias celulolíticas. Se cuantificaron las bacterias celulolíticas por el método de número más probable (NMP), como lo indica Collins y Lyne (sne) y se expresaron como número más probable de bacterias celulolíticas por gramos de compost húmedo.

Caracterización microbiológica. Una vez cuantificados los microorganismos en el proceso de compostaje, se procedió al aislamiento y al reaislamiento de la microflora fúngica para ser identificadas con la ayuda de especialistas del Laboratorio de Microbiología de la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía en Maracay.

Evaluaciones biológicas: para la evaluación de la calidad del compost se realizó una prueba de germinación a los 90 d, la cual, consistió en hacer germinar semillas de hortalizas para conocer la respuesta biológica de acuerdo al grado de maduración de la materia orgánica, según la metodología propuesta por Zucconi *et al*. (1981) que relaciona el porcentaje de germinación con la longitud de las raíces desarrolladas en un sustrato testigo y compost mediante la siguiente expresión:

$$IG = \%G \times (Lm/Lc)$$

Donde: IG = índice de germinación
%G = porcentaje de germinación
Lm = longitud de raíces en compost
Lc = longitud de raíces en testigo, sin compost

Para este análisis las semillas de hortalizas utilizadas fueron de tomate, *Lycopersicum esculentum*; pimentón, *Capsicum annum*; berenjena, *Solanum melongena*; lechuga, *Lactuca sativa*; brócoli, *Brasica oleraceae* var. Italica y pepino, *Cucumis sativus*.

Estas semillas se colocaron en una bandeja de 162 celdas con material compostado y con sustrato de turba estéril. Las bandejas fueron colocadas en condiciones controladas de humedad (70%HR) y temperatura (38 ºC) bajo invernadero.

Se realizaron los contajes de germinación de acuerdo a las normas ISTA de 1985, según Bekendam y Grob (1985), las cuales, según la especie hortícola utilizada establece a cuantos días debe ser evaluado el mismo y se registró la longitud radical. Para conocer las diferencias entre la longitud de las raíces desarrolladas se registró la longitud de 20 raíces en compost y 20 en turba estéril, para cada especie hortícola bajo un diseño completamente aleatorizado, ya que se consideró que las condiciones experimentales fueron homogéneas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluaciones microbiológicas

1. Cuantificación de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas, heterótrofas aerobias termófilas y celulolíticas en el compostaje

Se observa que la población de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas a lo largo del proceso de compostaje disminuyó de 1,40x106 a 5,30x105 ufc/g compost en la fase termofílica. Luego existe un ligero aumento a 9,40 x105 ufc/g compost en la fase de estabilización (pero nunca se supera a la población inicial). Durante el compostaje la población de bacterias heterótrofas aerobias termófilas aumentó drásticamente de 1,90x105 a 1,20x107 ufc/g compost, se observó una disminución cercana a la población inicial cuando el material tiende a la estabilización (Figura 1 y Cuadro 1).

La población de bacterias celulolíticas va disminuyendo en la medida que el compostaje va avanzando, de valores en la fase inicial de 2,40x105 ufc/g compost a valores en la fase de estabilización de 4,00x10 ufc/g compost.

Las condiciones cercanas a la neutralidad del pH, favorecieron a las bacterias, el contenido de humedad en la fase inicial de 50-60% fue el nivel óptimo para la actividad de las bacterias aerobias reseñado por Polanco (2004). En cuanto a la temperatura, las bacterias mesófilas son favorecidas en la fase inicial, debido a que su actividad metabólica genera altas temperaturas para favorecer a las bacterias termófilas en la fase termofílica, en la fase de estabilización las bacterias mesófilas se encuentran en mayor proporción que las termófilas y celulolíticas.

Los resultados de las poblaciones de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas, termófilas y celulolíticas en total en el compost evaluado son superiores a 108-109 ufc/g compost húmedo referidos por Dalzeell *et al*. (1991) en compost en condiciones tropicales y a 2,5x108 ufc/g compost a los presentados por Santamaría *et al*. (2001), superiores a 3,4x104 ufc/g compost al inicio y de 6,9x105 ufc/g compost al final del compostaje encontrados por Gregory (1993) en un vermicompost.

Queda demostrado que la dinámica poblacional bacteriana depende de la interacción compleja de factores físico-químicos y de manejo involucrados en el proceso de degradación de los residuos orgánicos, tanto así que problemas en el programa de volteos están asociados a efectos biológicos determinantes.

2. Cuantificación de hongos en el compostaje

En el Cuadro 1, se observan los diferentes tipos de hongos que actúan en las fases del proceso de compostaje, en la fase inicial predomina *Aspergillus flavus* sobre *A. niger*, *A. terreus*. En la fase termofílica predomina *A. fumigatus* sobre *A. niger*, en la fase de estabilización ninguna colonia predominó, se encontraron *A. terreus*, *A. flavus*, *A. niger* y otras especies de *Aspergillus*.

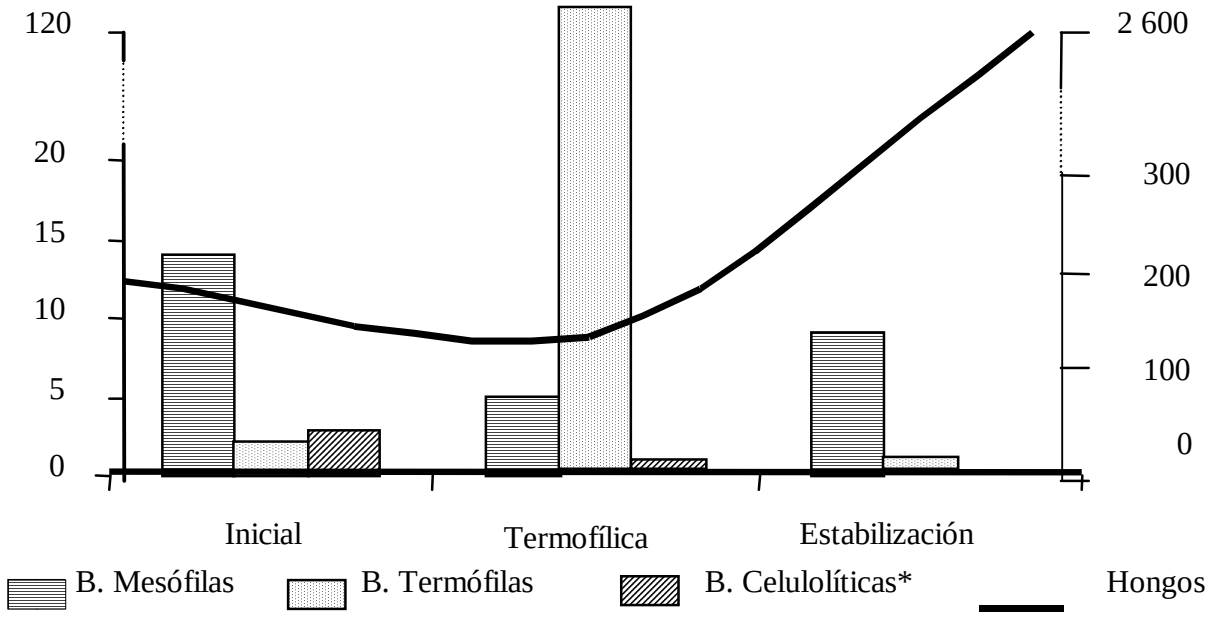


FIGURA 1. Dinámica poblacional de los microorganismos (Bacterias heterótrofas aerobias: mesófilas, termófilas y celulolíticas; y hongos) durante el proceso de compostaje.

CUADRO 1. Cuantificación de bacterias (mesófilas, termófilas y celulolíticas) y hongos (especies) encontrados en el compostaje del CEPSA (Zafra: 2003-2004).

Fase	Mesófilas (ufc/g compost)	Termófilas (ufc/g compost)	Celulolíticas (NMP/g compost)	Hongos (ufc/g compost)	Especies Aspergillus
Inicial	1,40 x 106	1,90 x 105	2,40 x 105	2,00 x 102	*A. flavus** *A. niger* *A. terreus* *A.* sp.
Termofílica	5,30 x 105	1,20 x 107	7,50 x 103	1,45 x 102	*A. fumigatus** *A. niger*
Estabilización	9,40 x 105	1,60 x 105	4,00 x 10	2,60 x 103	*A. terreus* *A. flavus* *A. niger* *A.* sp.

*predomina

Las poblaciones disminuyeron en la fase inicial como se observa en el Cuadro 1, de $2{,}00x10^2$ a $1{,}45x10^2$ ufc/g compost. Las poblaciones de hongos encontradas en el compost evaluado son inferiores a 10^4-10^6 ufc/g compost estudiadas por Dalzeell *et al*. (1991) en compost en condiciones tropicales y a $2{,}5x10^4$-$2{,}1x10^4$ ufc/g compost encontrados por Gregory (1993) en un vermicompost.

Es importante determinar que los hongos tienen una gran habilidad de descomponer residuos orgánicos como la lignina, la hemicelulosa y la celulosa, siendo activos en la última fase del proceso de compostaje. Al contrario, las bacterias también mantienen una habilidad celulolítica, pero, en menor cuantía en comparación con los hongos.

3. Caracterización genérica de la microbiota fúngica

Para facilitar la caracterización de los microorganismos en el compostaje, se procedió al aislamiento y al reaislamiento de la microflora fúngica de las cápsulas que contenían muchas colonias diferentes (Figura 2) y se identificaron posteriormente en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía en Maracay, según metodología de Singh *et al*. (1991).

Se prepararon montajes microscópicos de estructuras fungosas con el uso de la técnica del cello-tape, se observaron el micelio, esporas, estructuras productoras de esporas que diferenciaron las diferentes colonias encontradas en el compostaje.

Fue determinada la presencia de *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. niger* y *A. terreus*; de donde la primera especie predomina en la fase inicial, la segunda en la fase termofílica y en la etapa final de estabilización están presentes todas menos *A. fumigatus*.

Evaluaciones biológicas

En la evaluación de la calidad del compost, las pruebas de germinación dieron a conocer la respuesta biológica de diferentes cultivos hortícolas de acuerdo al grado de maduración de la materia orgánica del compost en función de la relación del porcentaje de germinación con la longitud de las raíces desarrolladas.

La necesidad de comparación de estas respuestas biológicas obliga a evaluar la calidad de los compost en las diferentes etapas del proceso en función de su maduración.

Los índices de germinación no sólo proponen calcular la germinación, sino también la longitud de las raíces en medios con compost y en medios testigos, permitiendo definir escalas de vigor para cada cultivo, tal como se visualiza en la Figura 3. Estas escalas visuales permiten cualitativa y cuantitativamente valorar las plántulas en 3 niveles: superior, medio e inferior para cada cultivo.

Cabe destacar, que el compost como sustrato demostró una diferenciación radical en los diferentes cultivos no como una expresión genética, sino, a las limitaciones que éste le ofrece al crecimiento y desarrollo vegetativo de los cultivos evaluados.

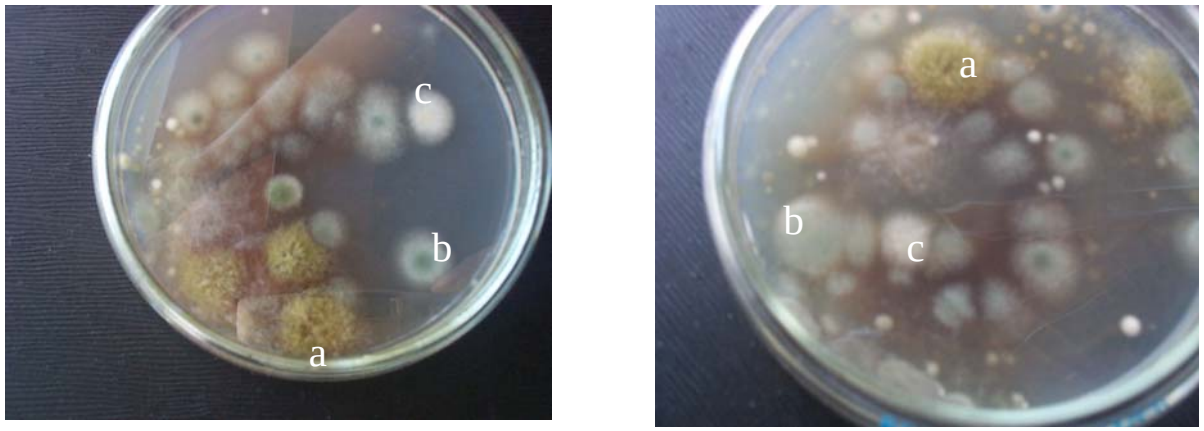


FIGURA 2. Vista de las diferentes colonias fúngicas encontradas durante el compostaje del CEPSA (Zafra: 2003-2004). a. *A. flavus*, b. *A. fumigatus* y c. *A. terreus*.

FIGURA 3. Visualización de la escala de vigor de los cultivos hortícola evaluados. **a.** Pimentón; **b.** Berenjena; **c.** Lechuga; **d.** Brócoli; **e.** Pepino.

En el Cuadro 2 se presentan los índices de germinación en algunas hortalizas con el compost evaluado a los 90 d de iniciado el proceso.

Algunos autores como Rivero (1999) y Negro *et al*. (2000), proponen que el índice de germinación debe ser superior al 80% para ser considerado como satisfactorio. Los índices menores de 50% indican que el compost no ha alcanzado la fase de estabilización, aseguran Madrid y Castellanos (1998).

CUADRO 2. Índices de germinación de algunas hortalizas en compost a los 90 días.

Hortalizas	Índice de Germinación (%)
Tomate	65
Pimentón	85
Berenjena	69
Lechuga	63
Brócoli	80
Pepino	62

El compost alcanzó su fase de estabilización, ya que se obtuvieron índices de germinación mayores a 50%; según las referencias anteriores. Pero comercialmente, en la producción de plántulas, sólo valores superiores al 90% son satisfactorios; únicamente en el pimentón fue de 85% y en el brócoli de 80%, las demás hortalizas evaluadas como tomate, berenjena, lechuga, pepino, son menores de 70%.

En los análisis de varianza para la longitud de las raíces desarrolladas en compost y en turba estéril (Cuadro 3), se obtuvieron diferencias significativas ($\alpha \leq 0,05$) entre las raíces de tomate, berenjena, brócoli y pepino. Entre la longitud de las raíces de pimentón y lechuga no se encontraron diferencias significativas estadísticamente apreciables.

Los resultados demostraron que en la mayoría de las hortalizas evaluadas existen diferencias entre las raíces desarrolladas en compost y en turba estéril, es decir, que el compost presenta algunas limitaciones para ser empleado como sustrato, por sí sólo, para la germinación de hortalizas.

CUADRO 3. Análisis de varianza para la longitud de las raíces de algunas hortalizas sembradas en compost y en sustrato de turba estéril.

F. V.	Tratamientos	E. E.	Fc	C.V.(%)
Grados de libertad	1	38	-	-
Tomate	68,381	1,915	35,708*	18,74
Pimentón	0,1	2,168	0,046$^{N.S.}$	30,84
Berenjena	39,204	2,070	18,939*	27,62
Lechuga	12,321	30,873	0,399$^{N.S.}$	104,84
Brócoli	15,625	3,293	4,744*	21,16
Pepino	207,025	8,538	24,247*	25,50

F. V.: Fuente de Variación, E.E.: Error Experimental, C.V.: Coeficiente de Variación,
*: significativo, N. S.: no significativo. Ftab: 4,08.

CONCLUSIONES

- Las bacterias mesófilas lideran la fase inicial, luego en la fase termofílica las bacterias termofílas se encuentran en mayor proporción que las bacterias mesófilas y por último en la fase de estabilización vuelven las bacterias mesófilas a liderizar al final del proceso de compostaje.
- Las bacterias celulolíticas van descendiendo a medida que avanza el compostaje.
- Entre los hongos se Facultad de Agronomía de la observó la presencia dominante de *A. flavus* en la fase inicial, *A. fumigatus* en la termofílica y en la de estabilización ocasionalmente se observó la presencia de *A. terreus*, *A. flavus*, *A. niger* y otras especies de *Aspergillus*.
- El proceso de compostaje alcanzó su fase de estabilización, ya que se obtuvieron índices de germinación mayores a 50%, pero comercialmente estos índices no son considerados satisfactorios para la germinación en hortalizas.
- Los resultados demostraron que en la mayoría de las hortalizas evaluadas existen diferencias en las raíces desarrolladas en compost y en turba estéril, es decir, que el compost presenta algunas limitaciones para ser empleado como sustrato para la germinación.

BIBLIOGRAFÍA

Bekendam, J., R. Grob. 1985. Handbook on seedling evaluation. 2 ª Edition. The Internacional Seed Testing Association (ISTA). Zurich.130 p.

Calero, L. 1999. Manejo Integral de residuos sólidos. Rev. Carta Trimestral. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cali-Colombia. 21 (2):34-36.

Collins, C. y P. Lyne, sne. Métodos microbiológicos. Ed. Acribia. España. 524 p.

Dalzeell, H., A. Biddlestone, K. Gray y K. Thurairajan. 1991. Manejo del suelo: Producción y use del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Boletín de suelos FAO. Roma-Italia. Nº 56. 312 p.

Godoy, N. 2002. Aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de compost en la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Tesis Ing. Agr. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay-Venezuela. 75 p.

Gregory, M. 1993. Elaboración y elaboración química y microbiológica de un vermicompost. Tesis Ing. Agr. Maracay-Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 93 p.

Madrid C. y Y. Castellanos. 1998. Efecto de los activadores sobre la calidad de compost elaborados con cachaza y bagazo de la caña de azúcar. Venesuelos. 6 (1 y 2):22-28.

Miranda, G. 2001. Evaluación del proceso de compostaje a partir de residuos de la industria azucarera. Tesis Ing. Agr. Maracay-Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 97 p.

Negro, M., F. Villa, R. Alarcón, P. Ciria, M. Cristóbal, A. de Benito, A. García, C. Labrador, C. Lacasta, J. Lezaún, R. Meco, G. Pardo, M. Solano, C. Torres y C. Zaragoza. 2000. Gestión y producción del compost. Dirección General de Tecnología. Centro de Técnicas Agrarias. Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura. Informaciones Técnicas Nº 88. Zaragoza-Aragón. 32 p.

Polanco, G. 2004. Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. Tesis Ing. Agr. Maracay-Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 72 p.

Rivero, C. 1999. Materia orgánica del suelo. Rev. Facultad de Agronomía. Alcance 57:127-146. Universidad Central de Venezuela. Maracay-Venezuela. 211 p.

Santamaría, S., R. Ferrera, J. Almaraz, A. Galvis y I. Barois. 2001. Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vemicomposteo. Agrociencia 35:377-384.

Sing, K., J. Frisvad, U. Thrane and Mathur. 1991. An Illustrated manual on Identification some seed-borne Aspergilli, Fusaria, Penicillia and their mycotoxins. 1ra. Edición. Aoi Tryk as Odense. Institute of seed Pathology for Developing Countries Ryvangs Allé. Helleup, Denmark. 133 p.

Zucconi, F., M. Forte, A. Monaco and M. Bertoldi. 1981. Biological evaluation of compost matury. Biocycle 22:27-29.

PREDICCIÓN DE SIGATOKA NEGRA EN 'PLÁTANO HARTÓN' BAJO CONDICIONES DE FERTILIZACIÓN DEL SUELO EN EL MUNICIPIO VEROES DEL ESTADO YARACUY, VENEZUELA[1]

PREDICTION OF BLACK SIGATOKA ON 'HARTON PLANTAIN' UNDER CONDITIONS OF SOIL FERTILIZATION IN THE MUNICIPALITY OF VEROES OF YARACUY STATE, VENEZUELA[1]

Julitt B. Hernández F.*, Nelly Sanabria, Giomar Blanco*, Blas Linares*, Manuel Milla*** y Alexis Pérez***

[1] Trabajo financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), a través de la Comisión de Educación.
*Investigadores. INIA-Yaracuy. Estado Yaracuy. Venezuela. Email: jhernandez@inia.gob.ve, jbhf_59@hotmail.com.
** Profesora. Universidad Central de Venezuela. Maracay 2101-A.
*** Profesor. IUTY, San Felipe. estado Yaracuy. Venezuela. Email: pahern@cantv.net

RESUMEN

El estado nutricional de la planta y el conocimiento de la epidemiología de la sigatoka negra, deben ser considerados en el manejo de la enfermedad en 'Plátano Hartón'. Durante 2002-2004 se instaló un experimento para determinar un modelo de predicción de la enfermedad bajo condiciones de fertilización inorgánica del suelo. El diseño utilizado fue bloques al azar con 4 repeticiones y los tratamientos consistieron en aplicar combinaciones de 3 niveles de nitrógeno (N: 0, 90 y 180 g pl^{-1}), 3 niveles de potasio (K_2O: 0, 140 y 280 g pl^{-1}) y 1 de fósforo (P_2O_5: 90 g pl^{-1}). El mejor tratamiento, se sometió a un análisis de correlación de Pearson con los datos de clima tomados desde la primera a la décima semanas previas y consecutivas a la fecha de evaluación de la severidad de la enfermedad. La semana en que cada variable presentó el mayor coeficiente de correlación (R), se analizó por regresión lineal múltiple paso a paso, contra el promedio ponderado de infección (PPI), mediante el procedimiento Stepwise del Analytical Sofware Statistic® Versión 1,0. La mejor combinación resultó ser 90 N- 90 P_2O_5- 0 K_2O g pl^{-1}) y el modelo seleccionado, fue el que consideró los valores acumulados de Nubosidad (NUBOS) e Insolación (INSOL) 6 semanas previas y consecutivas a la última semana de evaluación del PPI, expresado por la ecuación: PPI= -12,6233 + 0,05382NUBOS** + 0,01179INSOL**, con un coeficiente de determinación ajustado (R^2= 0,6681). Este modelo de predicción constituye una herramienta importante para el manejo de la sigatoka negra con el tratamiento seleccionado.

Palabras Clave: Modelos de predicción; fertilización inorgánica; sigatoka negra; Plátano Hartón; *Mycosphaerella fijiensis* Morelet.

SUMMARY

The nutritional status of the plant and knowledge of the epidemiology of black sigatoka, *Mycosphaerella fijiensis* should be considered in the management of the disease in 'Harton Plantain'. During 2002-2004 was installed an experiment to determine a model for predicting the disease under conditions of inorganic fertilizer in the soil. The design was a randomized block with four repetitions and treatments consisted of applying combinations of three levels of nitrogen (N: 0, 90 and 180 g pl^{-1}), three levels of potassium (K_2O: 0, 140 and 280 g pl^{-1}) and one of phosphorus (P_2O_5: 90 g pl^{-1}). The best treatment, was subjected to an analysis of Pearson correlation with climate data taken from the first to the tenth week prior and subsequent to the date of assessment of the severity of the disease. The week in which each variable had the highest correlation coefficient (R) was analyzed by multiple linear regression step by step, against the weighted average number of infection (PPI), by Stepwise procedure of Analytical Software Statistic® Version 1,0. The best combination turned out to be 90 N - 90 P_2O_5 - 0 K_2O g pl^{-1} and the selected model, which was considered the accumulated values of cloudiness (NUBOS) and heatstroke (INSOL) six consecutive weeks prior to last week assessment of the PPI, expressed by the equation: PPI= -12,6233 + 0,05382NUBOS** + 0,01179INSOL**, with an adjusted coefficient of determination (R^2 = 0.6681). The model of prediction is an important tool for managing the black sigatoka with the treatment selected.

Key Words: Predictive models; inorganic fertilizer; black sigatoka; 'Harton Plantain'; *Mycosphaerella fijiensis* Morelet.

RECIBIDO: octubre 27, 2008

ACEPTADO: junio 23, 2009

INTRODUCCIÓN

La sigatoka negra causada por el hongo, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, es considerada como factor crítico relevante en este cultivo del plátano (*Musa* AAB), y ha ocasionado grandes pérdidas en las plantaciones de Venezuela desde su aparición en el año 1991; disminuyendo su capacidad productiva y afectando sobretodo a pequeños productores (Nava, 1997). Esta enfermedad fue detectada en el estado Yaracuy en el año 1994, donde causó pérdidas económicas y sustitución por otros rubros (Ordosgoitti, 1999; Hernández *et al*., 1997).

Entre los factores que influyen en la evolución de esta enfermedad, están los climáticos y el estado nutricional de la planta. En tal sentido, diversos trabajos de investigación, coinciden en señalar que el clima tiene relación directa con la incidencia y severidad de la misma (Pasberg-Gauhl y Gauhl, 2006; Hernández *et al*., 2005; Sáez, 2002 y Martínez *et al*., 2000). En México y Taiwán se obtuvieron modelos para pronosticar la severidad de la sigatoka negra; sin embargo, a pesar de que la enfermedad tuvo un patrón de comportamiento parecido en las áreas donde se encontró presente, las variables de clima que condicionaron este comportamiento fueron específicas en cada localidad (Chuang y Jeger, 1987; Ramírez (1988).

En Venezuela, estado Yaracuy durante 1998-2000, en pequeños sistemas de producción de 'Plátano Hartón', se observó que la mejor ecuación que explicó la severidad de la sigatoka negra resultó aquella que consideró los valores acumulados 6 semanas consecutivas y previas a la última semana de evaluación de la severidad, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,3332$; donde hubo un efecto negativo de la nubosidad y de la evaporación sobre el promedio ponderado de infección y positivo para el caso de la humedad relativa (Hernández *et al*., 2005).

En cuanto a la nutrición de la planta, se ha determinado que altas concentraciones de Nitrógeno reducen la producción de compuestos fenólicos, los cuales son fungistáticos, y de lignina de las hojas, disminuyendo la resistencia a los patógenos. También, aumenta la concentración de aminoácidos y de aminas en el apoplasto de la célula y en la superficie foliar, los cuales aparentemente tienen mayor influencia que los azúcares en la germinación y desarrollo de los conidios, favoreciendo subsecuentemente el desarrollo de enfermedades fungosas. En cuanto al Fósforo, se ha señalado que favorece el crecimiento de la planta, le produce vigor y resistencia a infección de patógenos y el Potasio induce resistencia a enfermedades, insectos y a la sequía; en cambio su deficiencia, provoca asimilación de aminoácidos que contribuyen a la degradación de los fenoles y de azúcares solubles, que son nutrimentos de los patógenos, lo cual aumenta la susceptibilidad a los mismos (Nava, 1997).

A pesar de los avances obtenidos en los estudios de la enfermedad, aún se evidencia que la investigación en la sigatoka negra sigue siendo una prioridad, donde se hace necesario fortalecer estudios epidemiológicos del patógeno, reducción de fuentes de inóculo, reducción de uso de agrotóxicos, manejo del microclima y la fertilización; donde el enfoque de manejo integrado del cultivo representa una opción sostenible para los pequeños productores, ya que causa menos perturbación al ambiente y plantea una solución integral al problema.

Es por ello, que este trabajo tuvo como objetivo determinar un modelo de predicción bajo condiciones de fertilización del suelo como alternativa para el manejo integrado de la sigatoka negra, *M. fijiensis* en la principal zona productora de plátano del estado Yaracuy.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se instaló durante el período abril 2002-marzo 2004, en el Asentamiento Campesino Macagua-Jurimiquire, municipio Veroes, estado Yaracuy, coordenadas 10º 26' 25,4" latitud Norte, 68º 37' 46,61" longitud oeste y 60 m.s.n.m. Las características de clima registradas fueron en promedio las siguientes: 1 315,2 mm de precipitación, 5,4 mm de evaporación, 32,1 ºC de temperatura máxima y 22,2 ºC de temperatura mínima, 78% de humedad relativa, 6,4 Kca/°K/mo de insolación, 281,5 Mj/m^2/día de radiación y 5/8 de nubosidad (Fundación DANAC, MARNR, 2005). Los suelos son de textura franca, pH alcalino, con contenidos muy bajo de Fósforo, bajo de materia orgánica, medio de Potasio y no salinos, de acuerdo a los análisis realizados por el Laboratorio de Suelo-Agua-Planta del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA Yaracuy).

El manejo del cultivo fue el siguiente: Los cormos se sometieron a raspado y desinfección de raíces con una mezcla de Oxicloruro de Cobre y Carbofuran (500 g y 250 cm^3 200 l^{-1} de agua, respectivamente), por inmersión durante un minuto y, luego, se sembraron con mínima labranza en hoyos de 40 cm de ancho x 40 cm de profundidad, a una distancia de 2,9 x 2,9 m. El primer deshije

se realizó a los 6 meses y posteriormente cada 3 meses dejando sólo dos hijos/planta. El deshoje sanitario fue efectuado una vez por mes a partir de los 5 meses después de la siembra (MDS) y la eliminación de arvenses a partir de los 2 MDS combinando control manual y control químico con Glifosato 3 l ha^{-1}; en los casos donde fue necesario.

El diseño experimental consistió de unos bloques al azar con 4 repeticiones y 40 plantas por parcela, dejando 2 hileras de plantas de bordura por tratamiento. Los tratamientos fueron definidos basados un análisis previo de suelo y en función de los requerimientos del cultivo y consistieron en aplicar al mismo combinaciones de 3 niveles de Nitrógeno (N) y 3 niveles de Potasio (K_2O), con dosis fija de Fósforo (P_2O_5). La fertilización se realizó en forma fraccionada, 45 % de la dosis a los 2 meses después de la siembra (MDS) y el 55 % 4 MDS. Las fuentes de fertilizante utilizadas fueron Nitrato de Amonio, Cloruro de Potasio y la fórmula 21 N - 56 P_2O_5 - 0 K_2O en el Cuadro 1.

CUADRO 1. La combinación de las dosis en cada tratamiento.

Tratamientos	Dosis (g pl^{-1})		
	N	P_2O_5	K_20
1	0	90	0
2	90	90	0
3	180	90	0
4	0	90	140
5	90	90	140
6	180	90	140
7	0	90	280
8	90	90	280
9	180	90	280

Las evaluaciones se realizaron durante el primer ciclo de cultivo. Para seleccionar el mejor tratamiento que le permita al productor el manejo de la enfermedad y posterior selección del modelo de predicción, se consideraron las variables relacionadas con la incidencia y severidad de la enfermedad (promedio ponderado de infección, índice de infección y hoja más joven manchada) y las variables productivas (rendimiento en kg ha^{-1}). Las primeras fueron evaluadas semanalmente a partir de los 4 MDS hasta el momento de la emisión floral y las de producción, al momento de cosecha según Carlier *et al*. (2002).

Análisis estadístico y modelo de predicción:

Las variables ordinales y las que no presentaron una distribución normal se analizaron por el método estadístico no paramétrico de Friedman. A las variables de intervalo o proporción obtenidas, se les realizó el análisis de varianza y en los casos, donde hubo diferencias significativas (P>0,05) entre los tratamientos se procedió a realizar una prueba de medias de Tukey. Se utilizó el Analytical Software Statistic® Versión 1,0 y se seleccionó el mejor tratamiento que permitió al productor manejar la enfermedad.

Para evaluar la importancia del retardo de la sigatoka negra, las variables relacionadas con la enfermedad se sometieron a un análisis de correlación de Pearson con los datos de clima obtenidos a partir de los registros climatológicos diarios, de precipitación (PREC), temperatura máxima (TMÁX) y mínima (TMÍN), nubosidad (NUBOS), radiación (RADIAC), evaporación (EVAP), insolación (INSOL) y humedad relativa (HR) acumulados desde la primera hasta la décima semana previa y consecutiva a la observación de la severidad de la enfermedad.

La semana en que cada variable presentó el mayor coeficiente de correlación (R) se analizó por regresión lineal múltiple paso a paso contra el Promedio Ponderado de Infección (PPI) mediante el procedimiento estadístico Stepwise del Analytical Sofware Statistic® Versión 1,0. La variable dependiente fue el PPI y las independientes, las relacionadas con el clima (Ramírez, 1988; Hernández *et al*., 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basados en los criterios considerados para la selección del mejor tratamiento de fertilización, que permitió obtener el modelo de predicción que explique mejor el comportamiento de la enfermedad, se obtuvo lo siguiente: antes de los 5 meses después de la siembra (MDS), T2 (90 N- 90 P_2P_5- 0 K_20 g pl^{-1}), mostró diferencias significativas para la variable PPI, resultando con un menor valor (2,58) en comparación con el testigo T5 (3,10), comportándose en forma similar al momento de la cosecha (1,33) con relación al testigo (1,56).

Igualmente, T2, obtuvo los valores más altos de rendimiento (13 080,10 kg ha^{-1}), superando al testigo en un 23,04%, el cual supera a la fertilización del plátano con una fuente nitrogenada (Urea: 250 g pl^{-1} de N), como lo realiza el productor, (10 822,22 kg ha^{-1}) tal como fue señalado por Blanco *et al*. (2004). Por ello, se seleccionó T2 como el mejor tratamiento obtenido para el manejo de la sigatoka negra de cultivo en campo a libre exposición de inoculo o en condiciones naturales de infección.

Con el tratamiento seleccionado (T2), el modelo que permitió pronosticar el comportamiento de la severidad de la enfermedad fue el que consideró los valores acumulados de las variables 6 semanas previas y consecutivas a la última semana de evaluación del PPI, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,7155 ** y un coeficiente de determinación ajustado (R^2) de 0,6681** en cada uno de los coeficientes del modelo (Cuadro 2). Esto indicó que el 66,81 % del comportamiento de la enfermedad es explicado por los valores acumulados durante 6 semanas consecutivas y previas de la evaluación de la enfermedad de las variables NUBOS y INSOL para el AC Macagua-Jurimiquire, expresado por la ecuación siguiente:

PPI= -12,6233 + 0,05382NUBOS + 0,01179INSOL

Los índices climáticos que describieron la mejor variabilidad de la severidad de la enfermedad fueron la NUBOS y la INSOL, con valores de T > +2, lo cual indicó que ambas variables seleccionadas son buenas predictoras del cambio de severidad de la sigatoka negra (Cuadro 3). Al respecto, se consideran buenas predicciones cuando se explica del 60 al 70% de la variación de la variable dependiente (Kranz y Royle, 1978).

En las regiones tropicales húmedas el desarrollo de la enfermedad está muy correlacionado con la precipitación, y generalmente la temperatura no es un factor limitante (Marín *et al*. 2003). En un estudio realizado en el Sur del Lago de Maracaibo; se encontró un 76,95% de la explicación de la severidad para 14 índices climáticos, donde destacan la temperatura del aire en la tarde, la humedad relativa de día y de noche y los momentos sin precipitación (Sáez, 2002).

En cambio, en Taiwán la respuesta de la incidencia de la enfermedad estuvo relacionada con la precipitación y la temperatura (Chuang y Jeger, 1987). En esta investigación los factores determinantes fueron la nubosidad y la insolación, tal como lo demuestran los resultados obtenidos.

CUADRO 2. Modelos de regresión múltiple para la variable dependiente promedio ponderado de infección de sigatoka negra en función de los valores acumulados por semana de las variables climáticas.

Semana	Modelos y probabilidad de los coeficientes con sus variables $Y= ß_0 + ß_1X_1 + ß_2 X_2$	R^2	R^2 (Ajustado)
1	2,52018	0,0000	0,0000
2	–1,64582 + 0,05591NUBOS	0,2727	0,2168
3	–13,1933 + 0,01335TMÁX + 0,05474NUBOS	0,7041	0,6547
4	1,13937 + 0,00750PREC	0,5689	0,5357
5	–4,32348 + 0,03789NUBOS	0,4959	0,4571
6	**–12,6233 + 0,5382NUBOS + 0,01179INSOL**	**0,7155**	**0,6681**
7	1,02426 + 0,00510PREC	0,5899	0,5583
8	–15,3582 + 0,00296PREC + 0,05930NUBOS	0,7147	0,6671
9	1,23283 + 0,00357PREC	0,3999	0,3537
10	–8,01705 + 4,859RADIAC	0,3839	0,3365

CUADRO 3. Regresión múltiple entre las variables climáticas y el PPI en 'Plátano Hartón'. Ciclo I, con el tratamiento seleccionado (T2), 6 semanas previas y consecutivas a la evaluación del PPI.

Variable	Coeficiente	Error Estandar	Valor-T	Nivel de Significancia
Constante	–12,6233	15,06530	–0,84	0,4185
Nubosidad	0,05382	0,01332	4,04	0,0016
Insolación	0,01179	0,003700	3,19	0,0078
R^2 (AJUSTADO)=		0,6681	MSE= 3 273,63	
R^2=		0,7155	SD= 57 2156	

CONCLUSIONES

- En función de los resultados se concluye, que los parámetros que influyeron en el comportamiento de la severidad de la sigatoka negra bajo las condiciones del experimento fueron la NUBOS y la INSOL.

- El modelo obtenido constituye una herramienta importante con el manejo realizado al cultivo y con la combinación de fertilización inorgánica 90 N- 90 P_2O_5– 0 K_2O g pl^{-1} y en condiciones climatológicas similares a las de experimento.

- Es la primera vez que se describe este modelo de predicción para sigatoka negra como determinante en el comportamiento de la enfermedad bajo una condición de manejo de cultivo a libre exposición de inoculo o en condiciones naturales de infección para pequeños sistemas de producción.

- Se hace necesario validar el carácter predictivo de este modelo.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Alfonso Ordosgoitti por su motivación a esta investigación, al productor y dueño de la parcela, el señor Solangel Quiroz, por su participación y colaboración en las actividades de campo.

BIBLIOGRAFÍA

Blanco, G., J. Hernández, G. Martínez, A. Ordosgoitti F., A. Pérez y E. Manzanilla E. 2004. Prácticas sostenibles de manejo del cultivo del plátano (Musa AAB) adaptada a las condiciones agoecológicas del estado Yaracuy, Venezuela. Editado en INIA-CIAE Yaracuy, San Félipe, estado Yaracuy. Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT), Dirección General de Coordinación de Programas, Caracas, Venezuela. 16 pp.

Carlier, J., D. De Waele y J-V. Escalant. 2002. Evaluación global de la resistencia de los bananos al marchitamiento por Fusarium, enfermedades de las manchas foliares causadas por Mycosphaerella y nemátodos. Evaluación extensiva. INIBAP-PROMUSA. Guías Técnicas INIBAP 6. pp. 1-46.

Chuang, T. Y. and M. J. Jeger. 1987. Predicting the rate of development of black sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* var. difformis) disease in Southern Taiwan. Phytopathology 77 (11): 1542-1547.

Fundación DANAC, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). 2005. Resumen Climatológico 1988-2005, medias mensuales. Publicación Convenio DANAC- MARNR para recopilar, procesar y generar información agroclimatológica en la Estación Naranjal, Marín, Yaracuy, Venezuela. 3 pp.

Hernández, J., A. Ordosgoitti F. y J. Morillo. 1997. La sigatoka negra de bananos y plátanos en los estados Yaracuy y Carabobo: I Síntomas y pérdidas. FONAIAP Divulga 56:9-13.

Hernández G., L., W. Hidalgo, B. Linares, J. Hernández, N. Romero y S. Fernández, S. 2005. Estudio preliminar de vigilancia y pronóstico para sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de plátano (*Musa* AAB cv Hartón) en Macagua-Jurimiquire, estado Yaracuy. Revista Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia 22(4):325-339.

Kranz, J. and. D. Royle J. 1978. Perspectives in mathematical modelling of plant disease epidemics. **In:** Plant Disease Epidemiology. Scott, P.R. and A. Baidenbridge (Eds.). Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.pp. 111-120.

Marín, D. H., R. A. Romero, M. Guzmán and B. Sutton. 2003. Black sigatoka: an increasing threat to banana cultivation. Plant Disease 87(3):208-222.

Martínez, G., J. Hernández, A. Ordosgoitti F., M. Navas, J. Morillo, O. Márquez, E. Manzanilla y R. Pargas. 2000. Evaluación de híbridos FHIA en diferentes zonas agroecológicas de Venezuela. In: XIV Reunión ACORBAT 2000. San Juan, Puerto Rico. p. 25 (Resumen).

Nava, C. 1997. El plátano, su cultivo en Venezuela. Ediciones Astro Data S.A. Maracaibo-Venezuela. pp. 135.

Ordosgoitti F., A. 1999. Enfermedades del banano y el plátano en Venezuela. Medidas de control. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. pp. 71. (Serie B, Nº 37).

Pasberg-Gauhl, C. y F. Gauhl. 2006. Epidemiología de la sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet) e interacción patógeno-hospedero. **In:** CORBANA-INIBAP-MUSALAC. Resúmenes, Congreso Internacional Manejo de la sigatoka negra en banano y plátano en América Latina y el Caribe, San José, Costa Rica. pp. 56 (Resumenes).

Ramírez S., G. 1988. La sigatoka negra del plátano en Tabasco: Análisis de la epidemia y desarrollo de un modelo de pronóstico.. Tesis de Maestro en Ciencias. Especialidad Fitopatología. Montecillos, México. Colegio de Postgraduados. 79 pp.

Sáez S., V. 2002. Estudio de las condiciones agroclimáticas que determinan las infestación de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en cultivos de plátanos (*Musa* sp. AAB), Sur del Lago de Maracaibo, Estado Zulia. Tesis Doctoral en Ciencias. Mención Ecología. Aragua, Venezuela. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. 240 pp.

UTILIZACIÓN DEL DISEÑO TTC PARA DETECTAR EPISTASIS EN SOYA

USE OF THE DISEÑ TTC TO DETECT EPISTASIS IN SOYBEAN

Marco Antonio Acevedo Barona*, José Manoel Colombari Filho e Isaías Olivio Geraldi*****

* Investigador. INIA-Guárico. Calabozo, estado Guárico. Venezuela. E-mail: macevedo@inia.gob.ve
** Universidad São Paulo. Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Curso de doctorado en Genética y Mejoramiento de Plantas. Piracicaba/SP. Brasil. CEP 13400-970, Caja Postal 83. E-mail: jmcfilho@esalq.usp.br
*** Profesor Asociado. Universidad São Paulo. E-mail: iogeral@esalq.usp.br.

RESUMEN

El estudio de la naturaleza de la variabilidad genética existente en una población es importante, no sólo para la selección del tipo de cultivar, sino también para la escogencia del método de mejoramiento más apropiado. Con el objetivo de estudiar la variancia epistática para el carácter rendimiento en granos en soya, *Glycine max* L., fue utilizando el análisis "Triple Test Cross" (TTC) modificado para especies autógamas por Jinks *et al*., 1969. El material experimental utilizado en este trabajo estuvo conformado por 32 líneas (P_i), escogidas aleatoriamente de una población entre los progenitores PI 123439 y PI 239235; las líneas Pi fueron posteriormente cruzadas con otras 2 líneas testadoras (L_1 y L_2) de la misma población, contrastantes para rendimiento en granos, las cuales fueron usadas como testadoras. Durante el ciclo 2006/2007, fueron evaluados 100 tratamientos en el arreglo experimental látice triple triplicado en parcelas experimentales de 2,00 metros de longitud, separadas 0,50 metros. Considerando la metodología del análisis biométrico, el contraste $\overline{L}_{1i} + \overline{L}_{2i} - \overline{P}_i$ permitió detectar epistasis significativa para rendimiento en grano en soya, por las pruebas F y t. Entonces, es posible concluir que en soya, el carácter rendimiento en granos está afectado por la interacción entre los loci (epistasis) que la determinan.

Palabras Clave: Soya; Triple Test Cross TTC; *Glycine max* L.; epistasis.

SUMMARY

The study of the nature of the genetic variability present in a population is important, not only for the selection of the type of the cultivar, but also for the selection of the more appropriate breeding method. In order to study the epistatic variation for grain yield in soybean, the "Modified Triple Test Cross" (TTC) method for plant self (Jinks *et al*., 1969) was used. The experimental material used in this work was conformed by 32 lines (P_i), chosen randomly, which later were crossed with other 2 lines of the same population, contrasting for grain yield and used as testers (L_1 and L_2). During cycle 2006/2007, 100 treatments were evaluated in the design triple lattice tripled (9 replicates) in experimental plots of 2.00 meters length, separated 0.50 meters. Considering the methodology of biometric analysis, the contrast of the means ($\overline{L}_{1i} + \overline{L}_{2i} - \overline{P}_i$) allowed the detection of significant epistasis through F and t tests for grain yield in soybean. Therefore it is possible to conclude that, in soybean, the character grain yield is affected by the interaction between loci (epistasis).

Key Words: Soybean; Triple Test Cross TTC; *Glycine max* L.; epistasis.

RECIBIDO: noviembre 07, 2008

ACEPTADO: junio 02, 2009

INTRODUCCIÓN

El estudio de las poblaciones en los programas de mejoramiento de cualquier especie tiene como objetivo principal conocer la variabilidad de tipo genética y no genética (ambiental). La detección y estimación de los efectos genéticos es necesaria para obtener información sobre la naturaleza de la acción de los loci involucrados en el carácter en estudio y establecer las bases para la selección del método de mejoramiento más apropiado. Los estimados así obtenidos son validos para la población bajo estudio, del cual el material genético constituye una muestra representativa y para las condiciones ambientales en que el estudio fue conducido.

La mayoría de los caracteres de importancia económica, como el rendimiento en granos, son del tipo cuantitativo; el estudio genético de este tipo de caracteres es realizado adoptando modelos básicos que definen al fenotipo como resultante del genotipo bajo la influencia del ambiente. En consecuencia, la variación genotípica y variación ambiental son parte fundamental de la variación fenotípica.

Ramalho *et al*. (1993) presentan que el primer estudio sobre la variancia genética fue realizado por Fisher, en 1918; en dicho trabajo, demostró que la variancia genética esta compuesta por 3 componentes importantes, a saber: (1) la variancia aditiva, referida al efecto medio de los loci, (2) la variancia de dominancia, debida a las interacciones entre alelos del mismo locus y (3) la variancia epistática, producto de las interacciones entre alelos de diferentes loci.

Según Dickerson (1963), la variancia aditiva contribuye en su totalidad a la respuesta a la selección, mientras que las variancias de dominancia y epistática son generalmente aprovechables en la selección clonal y en la selección de híbridos (F1) producto del cruzamiento entre líneas homocigotas. En este sentido, los componentes de la variancia epistática, de tipo aditivo x aditivo, aditivo x dominante e dominante x dominante son capitalizados totalmente en la selección clonal y en hibridos (F1) de cruzamientos de líneas homocigotas y parcialmente en la selección dentro de poblaciones segregantes. Entonces, la naturaleza de la variación genética presente en una población básica es importante, no sólo para la escogencia del tipo de cultivar, sino también para la escogencia del método de selección.

Por su parte, Bernardo (2002) señala que cuando las variancias aditiva, dominante y epistática están presentes en la expresión de un carácter, no es posible obtener adecuadamente la magnitud de cada uno de los componentes, a través de los diseños cuantitativos convencionales. Para resolver esta limitación, Kearsey y Jinks (1968) desarrollaron el modelo "Triple Test Cross" (TTC), como una extensión del diseño III (Comstock y Robinson, 1952).

El TTC puede ser utilizado en cualquier tipo de población. Posteriormente, Jinks *et al*. (1969) propusieron una modificación en el modelo original de TTC, para utilización en poblaciones de líneas endocriadas. Otra modificación al diseño TTC original fue propuesta por Ketata *et al*. (1976), la cual es utilizada, cuando se desea estudiar la variancia epistática en un conjunto de cultivares o de líneas élites de interés para el programa de mejoramiento.

Estos diseños genéticos de TTC permiten obtener estimados eficientes de variancia epistática, como también de variancia aditiva y de dominancia en ausencia de epistasis. También cobra poca importancia el tipo de sistema de reproducción, nivel de endocría, frecuencia génica y genotípica de la población en estudio.

Numerosos trabajos han sido realizados en diferentes especies, para demostrar la importancia de la epistasis en caracteres de importancia agronómica, como lo muestran en trigo (Ketata *et al*., 1976 y Goldringer *et al*., 1997, en maíz (Wolf y Hallauer, 1997 y Parvez *et al*., 2006, en arroz (Sallem *et al*., 2005), en algodón (Bhatti *et al*., 2006), en maní (*Arachis hypogaea*; Upadhyaya y Nigam, 1999) y en soya (Araujo, 2006). Todos estos trabajos han utilizados los distintos modelos de TTC y de manera general concluyen que la variancia epistática es importante en caracteres cualitativos y cuantitativos; que un número restringido de genotipos puede no detectar epistasis y entonces, los estimados de variancias aditiva y dominante para los caracteres estudiados estarían sesgados, cuando no se considera la epistasis en el modelo y finalmente, agregan que la detección, así como la magnitud de la variancia epistática, es afectada por la interacción epistasis x ambientes.

Sin embargo, en soya existe escasa investigación referida a la variancia epistática. En razón de ello, el trabajo tuvo como objetivo estudiar la variancia epistática para el carácter rendimiento en granos en soya, *Glycine max* L., utilizando el diseño TTC modificado por Jinks *et al*. (1969).

MATERIALES Y MÉTODOS

El material experimental utilizado en este trabajo proviene de una población endocriada de soya oriunda del cruce entre las líneas exóticas PI 123439 y PI 239235 del banco de germoplasma de los Estados Unidos.

De dicha población fueron obtenidas aleatoriamente 32 líneas (P_i) de flores rosadas para ser usadas como machos, y otras 2 líneas para ser utilizada como testadoras (L_1 y L_2) de flores blancas como progenitoras femeninas. Ambos materiales presentaron comportamiento contrastante para el carácter rendimiento en granos (g parcela^{-1}). El color de la flor fue utilizado como marcador morfológico para distinguir híbridos de autofecundación, ya que, según Stephens y Nickell, (1992), este carácter, en soya, presenta herencia monogénica.

Los materiales fueron hibridizados dando seguimiento a la metodología propuesta por Jinks *et al*. (1969), para el diseño de "TTC" modificado donde las 32 líneas P_i fueron cruzadas con las líneas testadoras L_1 y L_2 para obtener un total de 64 cruces F_1; estos cruces se realizaron en el ciclo 2002/2003 en casa de vegetación, la técnica, equipamientos y horario para la hibridación son ampliamente discutidas por Vello (1992). Durante los ciclos 2003, 2003/2004 y 2004/2005 se realizó el avance de las generaciones F_2, F_3 y F_4, respectivamente.

El experimento de evaluación del material F4 fue conducido en el ciclo 2006/2007 en el campo experimental del Departamento de Genética, Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidad de São Paulo, localizada en el municipio Piracicaba/SP, a 22° 42' 30" de latitud sur y 47° 38' 00" de longitud oeste, a 537 metros de altitud. El tipo de suelo es LATOSSOLO VERMELHO AMARELO (EMBRAPA, 1999), DISTROFICO, con 30% de arena, 10% de limo y 60% de arcilla, y pH de 5,6; (Santos da Silva, 2005).

El arreglo experimental utilizado fue "Latice Triple Triplicado" (LTT) con 9 repeticiones y 100 tratamientos distribuidos de la siguiente manera: 32 cruces (L_1 x P_i), 32 cruces (L_2 x P_i), 32 P_i, las 2 líneas testadoras (L_1 y L_2) y 2 testigos comerciales (IAC 5 y IAC 12). Las parcelas experimentales estaban conformadas por hilera de 2,0 metros de longitud, separadas 0,50 metros, conteniendo 35 plantas; en la maduración, fue evaluado el carácter rendimiento de granos, en gramos por parcela.

Análisis estadístico genético

Los datos experimentales fueron sometidos al análisis de variancia del arreglo LTT, según el modelo lineal presentado en la (ecuación 1), considerando un modelo aleatorio:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + r_j + b_{k(j)} + e_{ijk} \quad (1)$$

donde, Y_{ijk} es el valor fenotípico observado del tratamiento i en el intra-bloque k, dentro de la repetición j; μ es la media general; t_i es el efecto del tratamiento i, con i variando de 1 a 100; r_j es el efecto de la repetición j, con j variando de 1 a 9; $b_{k(j)}$ es el efecto del intra-bloque k, jerarquizado dentro de la repetición j, con k variando de 1 a 10; y e_{ijk}, está referido al error experimental asociado a la parcela ijk.

Modelo biométrico

Las medias ajustadas y corregidas por número de plantas por parcelas obtenidas del análisis de variancia fueron posteriormente sometidas al análisis biométrico propuesto por Jinks *et al*. (1969), para detección de epistasis.

La prueba para detectar epistasia, según la metodología es realizada tomando como base la variancia entre las medias para carácter estudiado (rendimiento en granos), de acuerdo al contraste ($\overline{L}_{1i} + \overline{L}_{2i} - \overline{P}$), donde $\overline{L}_{1i}$ es la media del cruzamiento entre la i-ésima línea y la línea testadora L_1, $\overline{L}_{2i}$ se refiere a la media del cruzamiento entre la i-ésima línea con el testador L_2, mientras que P_i es la media de la i-ésima línea, siendo i = 1, 2, ... 32 en este trabajo. Cuando este contraste de medias es constante, es decir, no presenta variación significativa entre el conjunto total de líneas (P_i) utilizadas en el análisis, se dice que no existe epistasis y la variancia genética del carácter sigue un modelo aditivo-dominante. Caso, contrario, cuando ese contraste de medias presenta variación significativa, se entiende que existe epistasis y las variancias genéticas aditiva y dominante estimadas por el modelo están sesgadas.

La epistasis con 31 grado de libertad fue calculada utilizando la suma de cuadrados corregida (ecuación 2), según Kearsey y Pooni (1996).

$$[\sum(\overline{L}_{1i}\,3\otimes) + \overline{L}_{21}\,(3\otimes) - \overline{P}_i)^2/3 - (\sum\overline{L}_{1i}\,3\otimes) + \overline{L}_{21}\,(3\otimes) - \overline{P}_i)^2/3n] \quad (2)$$

Ambos términos de la ecuación están divididos por 3 y el mismo está referido a la suma de los cuadrados de

los coeficientes del contraste ($\overline{L}_{1i} + \overline{L}_{2i} - \overline{P}$) es decir, $1^2 + 1^2 + (-1)^2$, y n corresponde al número de líneas (P_i) utilizadas, mientras que $3\otimes$, se refiere al número de autofecundaciones para obtener las progenies $F_{2:4}$. Los cuadrados medios obtenidos del análisis de variancia para epistasis fueron corregidos por el número de repeticiones (r), ya que estaban calculados usando valores medios.

Finalmente, el desvío total del contraste [$\overline{L}_{1i} + \overline{L}_{2i} - \overline{P}$] fue probado usando la (ecuación 3) prueba t, de acuerdo con lo propuesto por Ketata *et al*. (1976),

$$t = \text{media } (\overline{L}_{1i} + \overline{L}_{2i} - \overline{P}) / \sigma, \qquad (3)$$

siendo que σ el desvío padrón del error intra-bloques del análisis de variancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores correspondientes a la significancia de los cuadrados medios de las diferentes fuentes de variación, medias generales, eficiencia del diseño látice y el coeficiente de variación del análisis de variancia son mostrados en el Cuadro 1.

El análisis de variancia reveló diferencias altamente significativas (P<0,01) para todas las fuentes de variación, excepto para bloques dentro de repeticiones y corrección del número de plantas por parcela. Para la fuente de variación tratamientos las diferencias estadísticas encontradas sugiere la existencia de suficiente variación genética para rendimiento en granos en la población evaluada. El desdoblamiento de ésta fuente en cruzamientos y líneas muestra también suficiente variabilidad genética entre ellos, incluso para las líneas testadoras (L_1 *vs*., L_2), lo cual resulta satisfactorio para la detección de epistasis utilizando el TTC modificado, ya que las líneas testadoras, además de presentar diferencias genéticas deben ser contrastantes; este resultado es posible corroborarlo cuando se analizan las medias alcanzadas entre ambas líneas testadoras: L_1 alcanzó 156,67 g parcela^{-1}, y la línea L_2, 97,04 g parcela^{-1}, mostrando diferencia de 60 g parcela^{-1}, entre ellas.

El coeficiente de variación obtenido para el carácter rendimiento en granos fue de 32,37%, como lo señala Pimentel-Gomes (200) este parámetro está afectado por varios factores, entre ellos por el tamaño, forma de la parcela utilizada y más importante, el tipo del carácter estudiado. Los caracteres cuantitativos, como rendimiento en granos, son gobernados por muchos loci, y son altamente influenciado por el ambiente, pudiendo esto explicar el alto valor aquí mostrado. Sin embargo, valores similares son estudiados por (Santos da Silva, 2005), utilizando parcelas de igual dimensión a la de este trabajo. También fue observado eficiencia del diseño látice (EL) sobre el diseño bloques completos al azar del orden de 102%.

Las medias ajustadas obtenidas del análisis de variancia para los diferentes grupos de tratamientos están presentadas en el, Cuadro 2.

De modo general, los valores de las medias variaron entre 72,90 y 248,81 g parcela^{-1} para los genotipos línea 2 y cruzamiento 55x14, respectivamente. Mientras que las medias de los testigos fueron 106,00 g parcela^{-1} (IAC 12) y 203, 65 g parcela^{-1} (IAC 5). Es de hacer notar que 44% de los genotipos mostraron una media superior a la media general del experimento (144,13 g parcela^{-1}).

CUADRO 1. Análisis de variancia del diseño látice triple triplicado para tratamientos y su desdoblamiento para el carácter rendimiento de granos (g parcela^{-1}), año 2006/2007.

FV	GL	QM
Repetición (R)	8	20 267,00**
Bloques/R	81	2 705,02N.S.
Número de plantas/parcela	1	513,10ns
Tratamientos	99	9 237,36**
Cruzamientos (L_{1i})	31	9 609,64**
Cruzamientos (L_{2i})	31	4 523,91**
Líneas (P_i + Testadores)	33	10 788,00**
Líneas (P_i)	31	10 037,00**
Testadores L_1 *vs*. L_2	1	38 678,00**
Error intra-bloques	702	2 174,95
EL%		102,95
Media		144,13
CV%		32,37
Media testador L_1		156,67
Media testador L_2		97,04
Media Testigo (IAC 12)		203,65
Media Testigo (IAC 5)		106,00

**, * y N.S.: teste F significativo al 1%, 5% y no significativo, respectivamente.

CUADRO 2. Medias ajustadas del carácter rendimiento en granos (g parcela^{-1}) para los genotipos (cruzamientos y líneas) del diseño TTC.

Genotipo	Rendimiento en grano	Genotipo	Rendimiento en grano
2x14	132,78	43x38	154,25
4x14	170,09	44x38	127,55
7x14	207,34	45x38	140,62
8x14	159,56	46x38	189,96
9x14	118,09	47x38	142,23
10x14	153,30	49x38	123,54
13x14	116,27	50x38	153,46
19x14	201,88	51x38	139,78
22x14	161,88	52x38	188,64
23x14	163,43	53x38	186,92
29x14	198,91	54x38	133,14
31x14	160,95	55x38	98,55
32x14	171,58	56x38	142,82
34x14	180,43	57x38	111,33
35x14	165,37	2	72,90
36x14	127,72	4	131,41
37x14	135,59	7	181,15
42x14	167,93	8	115,88
43x14	127,39	9	138,09
44x14	145,35	10	145,67
45x14	165,69	13	130,30
46x14	84,77	19	113,11
47x14	200,17	22	99,23
49x14	128,42	23	146,61
50x14	141,29	29	156,84
51x14	148,16	31	155,75
52x14	227,22	32	109,97
53x14	171,88	34	146,58
54x14	163,19	35	120,78
55x14	248,81	36	160,86
56x14	192,26	37	105,04
57x14	144,38	42	129,71
2x38	127,93	43	138,49
4x38	127,01	44	78,66
7x38	141,88	45	139,34
8x38	128,83	46	119,52
9x38	125,94	47	131,61
10x38	144,38	49	133,66
13x38	94,71	50	188,33
19x38	109,27	51	155,12
22x38	128,80	52	220,54
23x38	110,48	53	175,32
29x38	137,43	54	231,86
31x38	117,32	55	139,98
32x38	145,87	56	81,78
34x38	103,76	57	153,14
35x38	114,39	**14 (L_1)**	156,67
36x38	132,66	**38 (L_2)**	97,04
37x38	107,25	**IAC 12 (T_1)**	203,65
42x38	88,80	**IAC 5 (T_2)**	106,95

../... continúa

../... Continuación CUADRO 2.

El análisis de las medias por grupos mostró que el tratamiento (L_{2i}) tuvo una media de 131,85±24,94 g parcela^{-1}, para el grupo (P_i) 138,97 ± 35,73 g parcela^{-1}, ya para el grupo (L1i) donde se utilizó la línea de superior comportamiento, la media fue de 161,94 ± 34,35 g parcela^{-1}, siendo incluso superior a la media del experimento como un todo, del testigo IAC 5 e incluso superior al desempeño *per se* de la línea testadora L_1, cuya media fue 156,67 g parcela^{-1}.

Detección de epistasis para rendimiento en granos

Los valores referidos a la magnitud y significancia de los cuadrados medios por las pruebas F y t están mostradas en el Cuadro 3, para el carácter rendimiento en grano en gramos por parcela.

El análisis de variancia para epistasis detectó diferencias altamente significativas (P<0,01) por ambas pruebas F y t para el carácter rendimiento en granos. Estos resultados sugieren en primer lugar que las 32 líneas utilizadas en este estudio contribuyen de manera diferencial a la epistasis para el carácter rendimiento en granos; además, la prueba t confirma que el desvío medio de la epistasis total del conjunto de líneas (P_i) muestra interacción inter alélica para la expresión de rendimiento de grano. Estos resultados permiten establecer lo siguiente en soya, el rendimiento en granos está determinado por la interacción entre los loci que determinan el carácter, y que la epistasis no podría ser excluida de la estimación de la variancia genética, en otras palabras, el modelo aditivo dominante no explica toda la variación de este carácter, y los estimados de variancias aditiva y dominante obtenidas mediante modelo estadísticos genéticos que no consideren la variancia epistática estarían sesgados en soya.

CUADRO 3. Análisis de variancia de epistasis para el carácter rendimiento en granos (g parcela^{-1}), en soya, año 2006/2007.

F V	G L	QM
Epistasia	31	5 551,09**
Error intra-bloques	702	2 174,95
Desvío de la epistasis total ‡		154,82**

**, prueba F significativa al 1%.
‡, prueba t significativa al 1% con 702 GL.

Con sus observaciones Vega (1988) señala que en plantas autógamas como soya, los tipos de epistasis más importantes serían los aditivo x aditivo, por ser cultivares homocigotos, y la presencia de este tipo de epistasis puede contribuir para la obtención de líneas superiores. El mismo autor agrega que los métodos de mejoramiento genético utilizados para el desarrollo de líneas puras como cultivares explotan básicamente la variancia aditiva y la epistática de tipo aditiva x aditiva presente en la población objeto de selección.

Hallauer y Miranda Filho (1988) señalan que los estudios de variación genética son fundamentales para la planificación y conducción del programa de mejoramiento, y agregan que en especies autógamas como soya, los primeros estudios realizados por (Brim y Cockerham, 1961, Hanson y Weber, 1962; y Loiselle *et al*., en 1991), demostraron que la variancia genética aditiva fue el componente principal para la mayoría de los caracteres evaluados. Ya estudios más recientes, realizados por Toledo *et al*. (2000) y Kusterer *et al*. (2007), utilizando líneas endocriadas, segregantes y marcadores moleculares, ratificaron los resultados obtenidos en los primeros trabajos, pero además detectaron efectos de epistasis, dominancia, ligamiento entre loci e interacción genotipos x ambientes.

Bernardo (2002) señala que las principales limitantes del diseño TTC está referida a que la epistasis detectada es debida solamente a los loci para los cuales las líneas testadoras son diferentes, y también la dificultad de encontrar líneas testadoras contrastantes para varios caracteres simultáneamente. Es pertinente aclarar que cuando no se cumple la primera exigencia del diseño (líneas contrastantes), las consecuencias genéticas son la ambigüedad de la prueba y la detección de interacción no alélica cuando no existe (Jinks y Virk, 1977).

El contraste de medias por línea, no fue posible realizar, ya que dicho contraste, contiene además de efectos epistáticos efecto de tipo dominante; los cuales darían interpretaciones erróneas de dicho análisis. Aunque, se puede presumir que la presencia de epistasis está determinada de alguna manera por el genotipo expresado por cada línea *per se*, y por tratarse de un carácter cuantitativo altamente afectado por el ambiente, es posible inferir que estos resultados pueden variar debido a la interacción genotipos x ambientes, como fue presentado por Ketata *et al*. (1976); Parvez *et al*. (2006), Silva Da Fanuel y Alves (1983); Upadhyaya y Nigam (1998), y Kusterer *et al*. (2007).

CONCLUSIONES

- En soya, el rendimiento en granos está determinado por la interacción no alélica entre los loci que determinan y la variancia debida a la epistasis no podría ser excluida de la estimación de la variancia genética. Las estimaciones de variancia genética utilizando los diseños de cruzamientos genéticos tradicionales podrían obtener estimados de variancia aditiva y dominante sesgadas.

- Es evidente que la variancia epistática para el carácter rendimiento en granos está determinada por el genotipo de las líneas evaluadas, y posiblemente, los estimados obtenidos en una localidad estarían afectados por la interacción genotipos x ambientes, lo cual hace necesario la evaluación en varios ambientes.

BIBLIOGRAFÍA

Araújo, P. A. 2006. Detecção da epistasia para produção de grãos e caracteres agronômicos em soja. Piracicaba, Tese (Doutorado) Piracicaba, Brasil. Universidade de São Paulo.- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 78p.

Bernardo, R. 2002. Breeding for quantitative traits in plants. Stemma Press, Woodburg. p. 141.

Bhatti, M., F. M Azhar, A. W. Albi, and M. Ayub. 2006. Triple test cross analysis of seed cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield and its components grown in salinized conditions. International Journal of Agriculture and Biology, 8(6):820-823.

Dickerson, G. 1963. Biological interpretation of genetic parameters of population. **In:** W. D. Hanson, y H. F. Robinson. Statistical genetic and plant breeding. Washington, D. C: NAS-NCR. Pub. pp 95-107.

Goldringer, I., P. Brabant and A. Gallais. 1997. Estimation of additive, and epistatic genetic variances for agronomic traits in a population of doubled haploid lines of wheat. Heredity, London, v 79, p. 60-71.

Hallauer, A. R. and J. B. Miranda Filho.1988. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa: State Univ. Press, 468 p.

Jinks, J. L., J. M. Perkins and E. L. Bresse. 1969. A general method of detecting additive, dominance and epistatic components of variation for metrical traits: II. Application to inbred lines. Heredity, 24, p. 45-57.

Jinks, J. L. and D. S. Virk. 1977. A modified Triple Test Cross analysis to test and allow for inadequate testers. Heredity, London, 39:165-170.

Kearsey, M. J. and J. L. Jinks. 1968. A general method of detecting additive, dominance and epistatic variation for metric traits. I. Theory. Heredity. 23:403-409.

Kearsey, M. J. and H. S. 1996. Pooni, H.S. The genetical analysis of quantitative traits. United Kingdom: Stanley Thones, 381 pp.

Ketata, H., E. L. Smith, L. H. Edwards and R. W. McNew. 1976. Detection of epistatic, additive and dominance variation in winter wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell). Crop Science, 16:1-4.

Kusterer, B., J. Muminovic, H. Utz, H. Piepho, S. Barth, M. Heckenberger, R. Meyer, T. Altmann and A. Melchinger. 2007. A. Analysis of a triple testcross design with recombinant inbred lines reveals a significant role of epistasis in heterosis for biomass-related traits in Arabidopsis. Genetics, Pittsburgh, 175(4):2 009-2 017.

Parvez, A., A. G. Rather and S. Venkatesh, S. 2006. Triple test cross analysis for detection of epistasis for ear characteristics in maize (*Zea mays* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences, 9 (10): 1983-1986.

Pimentel-Gomes, F. 2000. Curso de Estatística Experimental. 14.ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 417 p.

Ramalho, M. A., J. B. Santos e M. J. O. Zimmermann. 1993. Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 271p.

Sallem, M. Y., B. Atta, A. Cheema, Z. Mukhtar and D. Haq. 2005. Detection of epistasis and estimation of additive and dominance components of genetic variation using triple test cross analysis in rice (*Oryza sativa* L.). Caderno de Pesquisa Série. Biologica. 17 (1):37-50.

Santos da Silva, V. S. 2005. Seleção de pré-cultivares de soja baseada em índices. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil. 104 p.

Silva da Fanuel P. and J. F. Alaves. 1983. Estimation the epistatic, additive and dominance variation in cotton (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). Revista Brasileira de Genética. Brasília. 6(3):491-504.

Stephens, P. A. C. D. and Nickell.1992. Inheritance of pink flower in soybean. Crop Science, Madison, 32:1 131-1 132.

Toledo J., F., C. A. Arias, M. Oliveira, C. Triller and Z. Miranda. 2000. Genetical and environmental analyses of yield in six biparental soybean crosses. Pesquisa agropecuaria brasileira, Brasília, 35(9):1 783-1 796.

Upadhyaya, H. D. and S. N. Nigam. 1999. Detection of epistasis for protein and oil contents and oil quality parameters in peanut. Crop Science. 39:115-118.

Vega, U. A. 1988. Mejoramiento genético de plantas. Caracas: editorial América. 200 p.

Vello, N. A. 1992. Ampliação da base genética do germoplasma e melhoramento da soja. **In:** SIMPÓSIO SOBRE CULTURA E PRODUTIVIDADE DA SOJA, 1991, Piracicaba. Anais: Piracicaba: FEALQ, p. 60-81.

Wolf, D. P. and A. R. Hallauer. 1997. Triple testcross analysis to detect epistasis in maize. Crop Science, Madison, 37:763-770.

AVALIAÇÃO DA COLORAÇÃO, TEOR DE FENÓIS E ATIVIDADE DA PEROXIDASE NO GUACAMOLE CORSERVADO PELO FRIO

EVALUATION OF THE COLORATION, PHENOLS CONTENT AND PEROXIDASE ACTIVITY IN GUACAMOLE CONSERVED BY THE COLD

Daiuto, Èrica Regina*, Rogério Lopes Vieites, Danielle Fernades Vileigas*** e Cintia Natsumi Higashi Myake*****

*Engenheira Agrônoma. Unesp Botucatu São Paulo CEP:18610307, CP:237, Brasil. Faculdade de Ciências Agronômicas. Pós-doutoranda no departamento de Horticultura. Endereço para correspondência: Rua Tulipa, 42. Vila Paraíso. Botucatu -SP, CEP: 18607141. Email: erdaiuto@uol.com.br.
**Profesor. FCA/UNESP. Departamento de Gestão e Tecnologia de Alimentos, Botucatu. Email: vieites@fca.unesp.br.
***Unesp/ Botucatu, Aluna de graduação do Curso de Nutrição. Email: dani.vileigas@gmail.com - cin-s2@hotmail.com

RESUMO

A comercialização do abacate processado é um desafio, pois o fruto depois de cortado escurece e suas características sensoriais são modificadas. O objetivo da pesquisa foi verificar o efeito do frio na conservação do guacamole elaborado com a variedade Hass, sem aditivos químicos. Foi avaliada a coloração (L a* b*), teor de fenóis e atividade da enzima peroxidase. Amostras do produto foram acondicionadas em embalagens de polietileno e de polietileno+nylon. Nas embalagens de polietileno+nylon houveram tratamentos com e sem aplicação de vácuo. As amostras embaladas foram submetidas ao tratamento frio: refrigeração, congelamento lento e rápido. As avaliações foram realizadas nos dias 1, 3, 5 e 7 para o tratamento refrigerado e 7, 30, 60 e 90 d para as amostras submetidas ao congelamento lento e rápido. Ocorre escurecimento do produto ao longo do período de armazenamento quando embalado em polietileno e armazenado sob refrigeração. No tratamento refrigerado as amostras caracterizaramse pelo maior teor de fenóis. Nas amostras congeladas as alterações na cor são menores, mas ocorre aumento da acidez o que pode alterar o sabor do produto.

Palavras Chave: *Persea americana* Mill; refrigeração; congelamento; processamento; atividade enzimática; coloração.

SUMMARY

The commercialization of processed avocado is a challenge, because the fruit after cut darkens and their sensorial characteristics are modified. The objective this research was to verify the effect of cold in the conservation of the guacamole elaborated with the variety Hass, without chemical addictive. The coloration was evaluated (L a* b*), phenol content and peroxidase enzyme activity. Samples of the product were conditioned in polyethylene and polyethylene+nylon packages. Polyethylene+nylon packages were evalueted with and without vacuum application. Packaged samples were submitted to cold treatment: cooling, slow and fast freezing. Evaluations were accomplished on the 1, 3, 5 and 7 days for the refrigerated treatment and 7, 30, 60 and 90 d for the samples submitted to the slow and fast freezing. It happens darkening of the product along the storage period when in packaged polyethylene and stored under cooling. In the refrigerated treatment the samples were characterized by the largest phenol content. In the frozen samples the alterations in the color are smaller, but increase of the acidity that can alter the flavor of the product.

Key Words: *Persea americana* Mill; refrigeration; freezing; processing; enzyme activity; color

RECIBIDO: enero 19, 2009

ACEPTADO: abril 22, 2009

INTRODUÇÃO

O abacate, Persea americana Mill. é uma fruta tropical cultivada em quase todas as regiões tropicais e subtropicais. As qualidades sensoriais, o valor nutritivo e a riqueza em vitaminas do abacate justificam plenamente a expansão do seu consumo. De modo geral o fruto é consumido na forma de saladas, sopas e molhos. Um dos produtos derivados do abacate é o guacamole, que é feito utilizando polpa de abacate, suco de limão e cebola, sal e pimenta. No Brasil o fruto é consumido na forma de sobremesas batido com leite, açúcar e limão.

A comercialização do fruto na forma processada é um grande desafio, pois a polpa escurece rapidamente depois de cortada devido presença de enzimas de escurecimento (Bates, 1968; Gómez-López, 2002; Luíz *et al*., 2007).

Vários pesquisadores, em diversos países do mundo, tentam a obtenção de uma polpa estável de abacate, utilizando uma série de métodos de preservação, tais como: pasteurização, secagem, extração de óleo, congelamento e liofilização (Ruelhele apud Martim, 1991; Cruess *et al*., 1951, apud Stephens *et al*., 1958; Soliva *et al*., 2001; Soliva-Fortuny *et al*., 2004). Guzmán *et al*. (2002) avaliaram o uso do aquecimento em microondas aliado ao uso de cloreto de cobre na preservação da cor do purê de abacate. Usam-se também agentes químicos redutores, sequestrantes e ácidos (Son *et al*., 2000). Estas substâncias podem ser usadas em processos combinados como tratamentos sob alta pressão (López-Malo *et al*., 1998). Palou *et al*. (2000) pesquisaram o efeito do tratamento sob alta pressão sobre a atividade das enzimas polifeonoloxidase e lipoxigenase responsáveis por alterações no produto processado.

De modo geral, duas opções são apresentadas na literatura para se tentar evitar o escurecimento enzimático no guacamole: tratamento térmico e a utilização de aditivos. O tratamento térmico pode alterar a granulosidade do guacamole, tornando-o com aparência de um purê ou pasta. O tratamento térmico apesar de ser um tratamento efetivo para inativação da PFO, pode resultar no desenvolvimento de gosto amargo no abacate off-flavors (Ben-et *et al*., 1973).

As variedades Hass e Fuerte são variedades de calibres menores e mais valorizadas comercialmente, muitas vezes exportadas com selo de certificação. O guacamole é um produto obtido do abacate que pode representar uma alternativa para refugo de produção, frutos fora de padrão para comercialização ou variedades do fruto que não encontram mercado. Evitar o escurecimento do produto preservando as qualidades sensoriais e nutritivas do produto sem adição de aditivos é um desafio.

O objetivo da pesquisa foi verificar o efeito do frio na conservação do guacamole elaborado com a variedade Hass, sem a adição de aditivos químicos, sendo avaliada a coloração, teor de fenóis e atividade da peroxidase.

MATERIAS E MÉTODOS

Matéria prima

Frutos de abacate da variedade Hass foram fornecidos pela empresa Jaguacy, empresa localizada em Bauru, interior de São Paulo. Os frutos foram selecionados e utilizados na elaboração do guacamole. Os demais ingredientes como molho de pimenta, sal, limão (taiti), cebola e tomate (maduros e firmes) foram obtidos em supermercado.

Processamento

Os frutos em estádio adequado de maturação foram selecionados e processados para obtenção do guacamole, conforme esquematizado no fluxograma apresentado na Figura 1. O procedimento de preparo foi manual seguindo as boas práticas de manipulação de alimentos.

Os tomates, limão e cebola também foram sanitizados.

Tratamentos

Após o preparo porções de 50g de guacamole foram armazenados em sacos de polietileno e embalagem de nylon+polietileno sendo esta quantidade submetida a condições de refrigeração à 4 °C, congelamento lento em freezer doméstico (-18 °C) e congelamento rápido (-18 °C). O congelamento rápido foi realizado no equipamento Irinox-refrigerador HCFC 22.

Os tratamentos foram:

a) sacos de polietileno sob refrigeração
b) sacos de polietileno sob congelamento lento
c) sacos de polietileno sob congelamento rápido
d) embalagem nylon+polietileno sob refrigeração

e) embalagem nylon+polietileno sob congelamento lento
f) embalagem nylon+polietileno sob congelamento rápido
g) embalagem nylon+polietileno com vácuo e sob refrigeração
h) embalagem nylon+polietileno com vácuo sob congelamento lento
i) embalagem nylon+polietileno com vácuo sob congelamento rápido

As embalagens foram previamente irradiadas com 10 kGy evitando-se contaminação do produto armazenado.

Sob refrigeração o produto foi avaliado após 1, 3 e 5 e 7 dias do preparo. As avaliações para o congelamento rápido e lento foram aos 7, 30, 60 e 90 d após processamento.

As análises foram realizadas até que a qualidade fosse aceitável para o consumidor, levando em consideração aspecto visual e coloração.

Coloração

A cor foi medida em colorímetro da marca Konica Minolta (Chroma meter, CR 400/410) em faixa de comprimento de onda de 380 a 780 nm. Foram realizadas a leitura de refletância com ângulo de observação de 2º e selecionado o iluminante C. A cor foi expressa pelo sistema de coordenadas retangulares L* a* b* conforme a Comission Internatinale de E'clairage (CIE) onde L* expressa em porcentagem valores de luminosidade (0% = negro e 100% = branco), a* representa as cores vermelha (+) ou verde (-) e b* as cores amarela (+) ou azul (-). Os resultados apresentados são médias de três repetições.

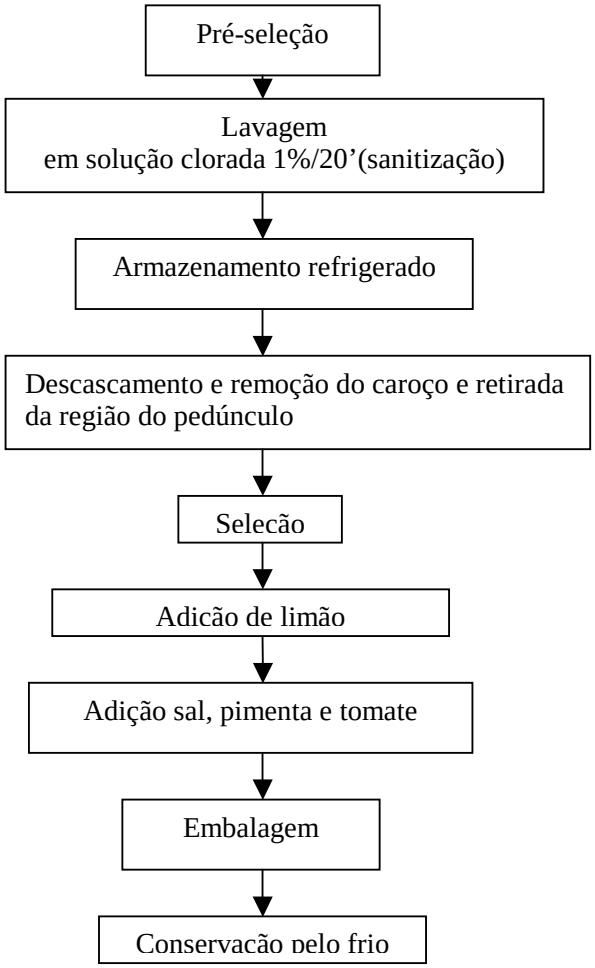


FIGURA 1. Fluxograma do processamento do guacamole.

Atividade da peroxidase (POD)

A extração e determinação da enzima foi realizada de acordo com método de Lima (1994).Os resultados são expressos em mol de água oxigenada consumidos por minuto (1mol H O consumido/minuto/mg amostra).

Teor de fenóis totais

A extração foi feita de conforme Philips e Henshaw (1997), com modificações e a quantidade de fenóis segundo o método de Foli-Denis (Horwitz, 1995). Os resultados são expressos em miligrama de ácido gálico por grama de amostra.

Acidez e pH

A análise de pH foi realizada segundo a AOAC (1992) e acidez de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (2005).

Análise dos dados

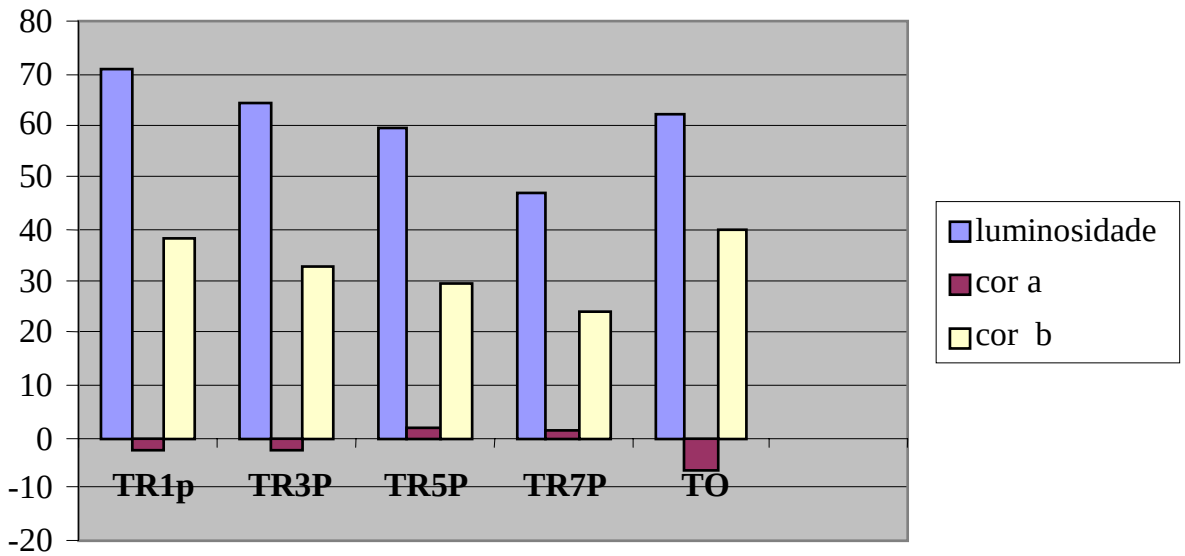
Os resultados apresentados para os diferentes tratamentos para enzima peroxidase, teor de fenóis, pH e acidez foram avaliados através de análise multivariada (Rencher, 1995) com correlação dos dados, fatorial e agrupamentos. Para análise de cor foi realizada correlação dos dados e agrupamentos

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Coloração

As amostras de guacamole apresentaram valores médios de luminosidade entre 57,2 a 70,8; -9,7 a 1,6 e 29,3 a 40, 9, respectivamente para luminosidade (L*), cor a* e cor b*. Os valores da cor a* positivo indicam presença do componente azul de cor, no entanto estes valores foram baixos, já os valores negativos correspondem à cor verde. Os valores da cor b* foram maiores e positivos indicando presença do componente amarelo de cor.

A Figura 2 mostra o tratamento das amostras embaladas em polietileno sob refrigeração. Os valores de L diminuíram ao longo dos 7 d de armazenamento sob refrigeração, indicando escurecimento do produto. Os valores da cor a* passaram de valores negativos (verde) no tempo zero 1, e 3 para positivos (vermelho) nos tempos 5 e 7. Observa-se também a diminuição nos valores da cor amarela.



Legenda: T0 = tempo zero, TR = tratamento refrigerado e 1,3 e 7 = dias de armazenamento

FIGURA 2. Coloração do guacamole em embalagens de polietileno sob refrigeração.

Sob embalagem de nylon+polietileno sem aplicação de vácuo nos tratamentos de congelamento lento e rápido (Figura 3) não ocorreu mesma tendência de diminuição dos valores de luminosidade. Alguns valores foram até superiores ao tempo zero. O fato indica uma menor tendência ao escurecimento das amostras sob congelamento lento e rápido. O aumento dos valores de L* em relação ao tempo 0 pode ser devido ao fato de que o produto não é composto apenas de abacate, ou seja, a cor pode ser influenciada pela presença dos demais ingredientes, como o tomate. A cor b* também mostrou a mesma variação da luminosidade. Nas amostras congeladas os parâmetros de cor não se modificaram muito com o armazenamento.

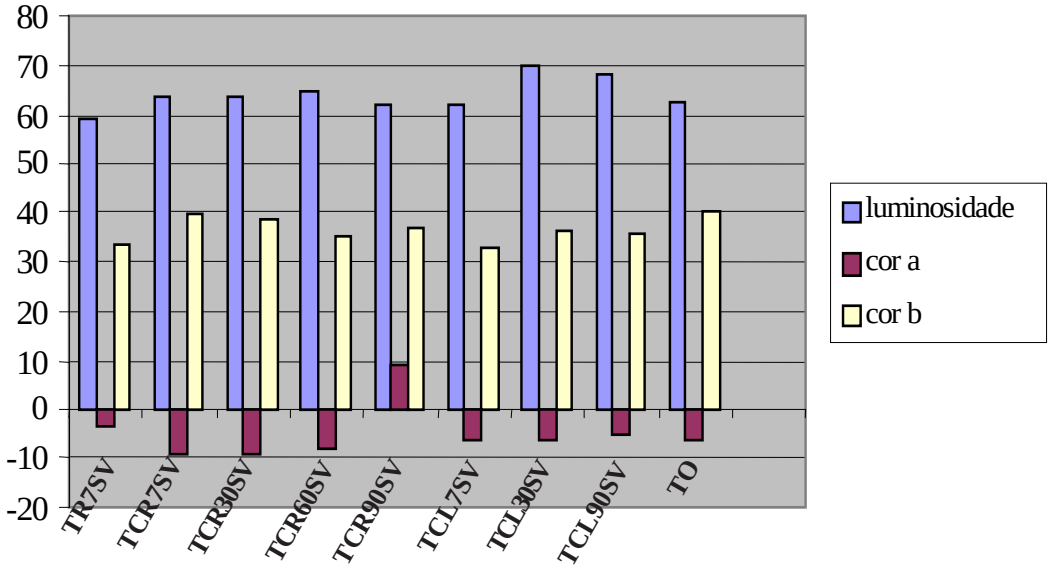
No tratamento da embalagem de nylon+ polietileno com aplicação de vácuo nos tratamentos de congelamento lento e rápido (Figura 4) a tendência observada foi semelhante ao tratamento da mesma embalagem sem aplicação de vácuo nos tratamentos de congelamento lento e rápido (Figura 3).

Uma análise de correlação linear mostrou valor médio de correlação negativa entre os parâmetros de cor a* e b* e baixa correlação destes parâmetros com a luminosidade.

Utilizou-se o método de agrupamento Ward e optou-se, com base no dendograma obtido, pela composição de três clusters (Figura 5).

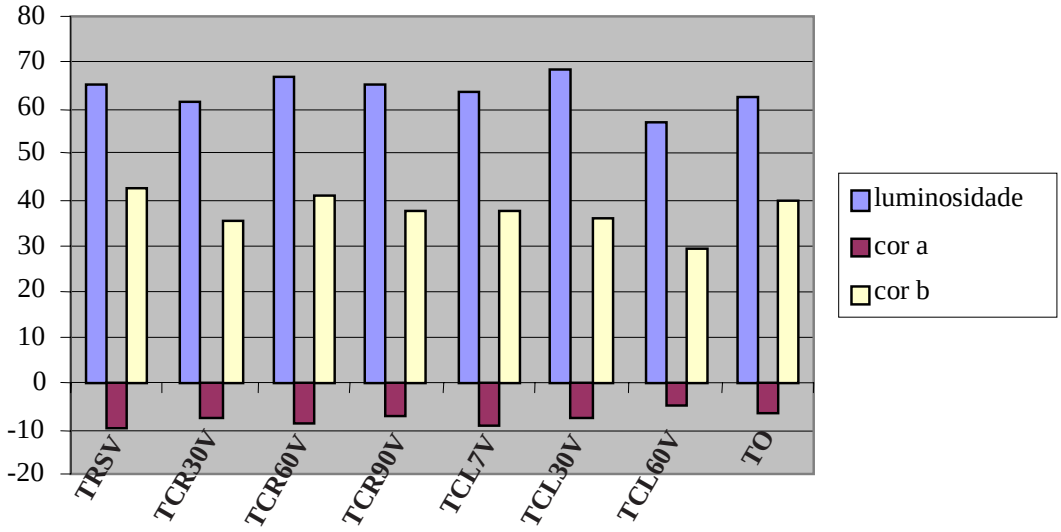
Observa-se um grupo formado pelas amostras TR7P e TCL7P, caracterizado por possuir valores médios de luminosidade, cor a* e b* respectivamente de 44, -4,20 e 32, 40, este corresponde ao grupo de menores valores de luminosidade. As amostras TR1P, TR7V, TCR7P, TCR7SV, TCR7V, TCR30SV, TCR30V, TCR60 SV, TCR60V, TCL7SV, TCL7V, TCL30SV, TCL30V, TCL60SV, T0 compõem um grupo caracterizado pelos maiores valores de luminosidade (65,30), maior quantidade do componente verde de cor (-7,62) e cor amarela (37,99). Observa-se que a amostra elaborada no dia da produção correspondente ao tempo zero, pertence a este grupo.

Outro grupo é formado pelas amostras TR3P, TR5P, TR7SV, TCR90SV, TCL7SV, TCL60V que possui de luminosidade (60,65), cor a*(-4,20) e b* (-1,06) intermediários. Observa-se que as amostras mais escuras possuem embalagem de polietileno e a maioria estava sob refrigeração.



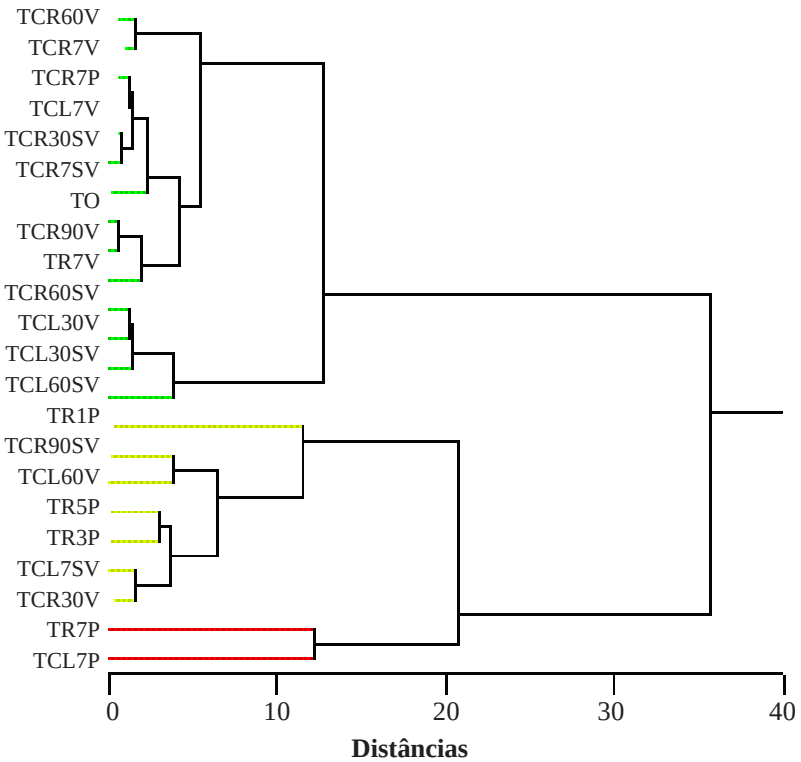
Legenda: T0 = tempo zero; TCR = tratamento congelamento rápido; TCR = tratamento congelamento lento; SV= sem aplicação de vácuo; 7, 30 e 60 = dias de armazenamento

FIGURA 3. Coloração do guacamole em embalagens de nylon+ polietileno sem aplicação de vácuo para o congelamento lento e rápido.



Legenda: T0 = tempo zero; TCR = tratamento congelamento rápido; TCR = tratamento congelamento lento; V= com aplicação de vácuo; 7, 30 e 60 = dias de armazenamento.

FIGURA 4. Coloração do guacamole em embalagens de nylon+ polietileno com aplicação de vácuo para o congelamento lento e rápido.



Legenda: Tratamento frio: R= refrigerado, CL=congelamento lento, CR= congelamento rápido; Embalagens: SP= polietileno sem vácuo, NS= sem vácuo, NC: com vácuo; Dias de armazenamento: 1, 3, 5, 7, 30, 60 e 90 dias; T0= tempo zero.

FIGURA 5. Dendograma da análise de agrupamentos para os parâmetros de coloração nas amostras de guacamole.

TABELA 1. Correlações lineares para os parâmetros de coloração no guacamole.

	Luminosidade	Cor a*	Cor b*
Luminosidade	1.000		
Cor a*	–0,140	1,000	
Cor b*	0,334	–0,528	1,000

Van Lelyveld, Gerrish e Dixon (1984) investigaram a relação entre POF e níveis de fenol em avocados saudáveis e afetados. Os autores concluíram que a ativação tanto da PPO quanto da POD pode causar a descoloração do mesocarpo da fruta.

Palou *et al*. (2000) avaliaram o efeito do tratamento de alta pressão sobre a atividade as enzimas polifenoloxidase, lipoxigenase e cor do guacamole. Os autores constaram que não houveram diferenças estatísticas significativa (P>0,05) do produto em relação ao controle sendo a cor das amostras verde, valores de cor a entre –6,35 e –5,33. Entretanto com o armazenamento várias mudanças na cor ocorreram atribuídas à diminuição da contribuição da cor verde no produto. López-Malo *et al*. (1999) em estudo com purê de abacate, reportaram a dependência da perda do componente da cor verde com o tempo, temperatura de armazenamento, pH inicial e atividade da polifenoloxidase.

Ramtahal *el al*. (2007) avaliaram guacamole, também produzido sem aditivos, embalados em embalagens PET (polyethylene terephthalate containers) e armazenado a 5 °C por 2 semanas. Observaram que os valores de luminosidade diminuiram com o aumento do período de armazenamento, revelando um escurecimento do guacamole provavelmente devido à ação enzimática.

Os autores mencionam a ação de enzimas sobre substratos que promovem o escurecimento. Citam que este pode ser intensificado durante o armazenamento do guacamole à 5 °C possivelmente devido presença de etileno na polpa e pelo pH do produto (4,4-4,9) durante os 14 d de armazenamento, sendo o pH ótimo o para a polifenoloxidase de 4,8. A faixa de pH desta pesquisa foi a mesma mencionada por estes autores.

Com o tempo de armazenamento os valores da cor a* diminuem indicando redução na cor verde do guacamole. A cor verde do guacamole é devido a presença de clorofila que é um complexo orgânico com magnésio. Mudanças no pH, principalmente ácido podem causar degradação da clorofila (Ramtahal *el al*., 2007).

Teor de fenóis, peroxidase, pH e acidez

A peroxidase (POD) é uma enzima que pode levar à destruição da vitamina C e descoloração de carotenóides e antocianinas, além de catalisar a degradação não enzimática de ácidos graxos insaturados, com formação de compostos voláteis. É considera uma das enzimas mais termorresistentes e sua atividade diminui em pH baixo ou elevado (Araújo, 2006).

A polifenoloxidase (PFO) é uma das enzimas responsáveis pelo escurecimento do abacate. Na ausência do ácido ascórbico modifica os compostos fenólicos presentes nas células (ácido clorogêncio, leucoantocianinas, catecol e outros). O rompimento das paredes celulares deixa os mencionados compostos em contato com os ênzimos que catalisam a sua oxidação a compostos do tipo quinonas, até a transformação em melaninas de intensa coloração marrom. As melaninas embora não tóxicas, alteram a aparência do produto, além de induzir mudanças no aroma e sabor (Martin, 1991).

Foi realizada análise conjunta dos teores de fenóis, peroxidase, pH e acidez.

A avaliação dos gráficos de dispersão (Figura 6) para as variáveis bioquímicas, conjugada à avaliação da matriz de correlações, sugere indícios de moderada correlação linear entre determinados pares de variáveis, sobretudo quanto a uma correlação inversa (r=-0,56) entre o teor de fenol e direta (r=0,38) entre peroxidase e pH Tabela 2.

TABELA 2. Matriz de correlações lineares para os teores de fenóis, atividade da enzima peroxidase, pH e acidez do guacamole

	Fenol	Peroxidase	pH	Acidez
Fenol	1,00	–0,56	–0,23	0,18
Peroxidase	–0,56	1,00	0,38	0,20
pH	–0,23	0,38	1,00	0,21
Acidez	0,18	0,20	0,21	1,00

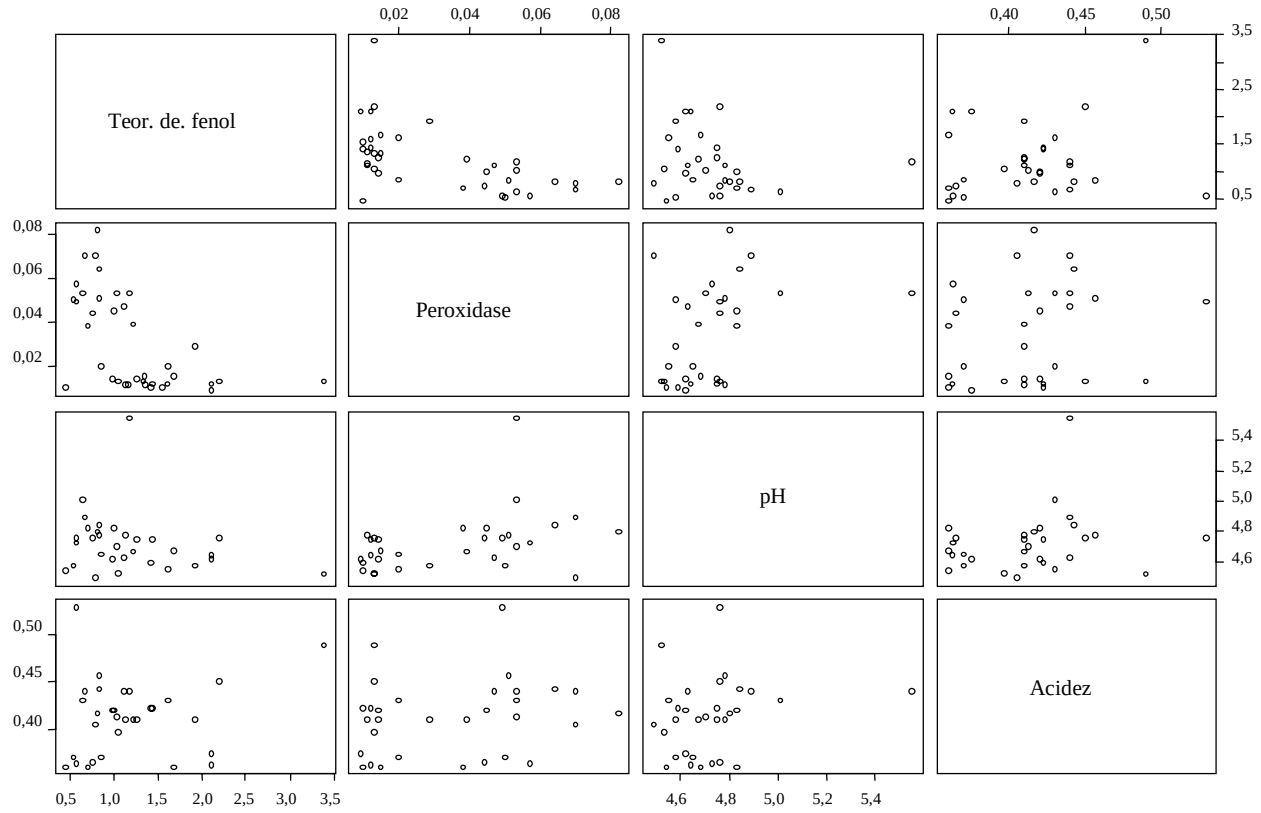


FIGURA 6. Gráficos de dispersão para o teor de fenóis, atividade da enzima peroxidase, pH e acidez do guacamole.

A aplicação de métodos multivariados (Barroso e Artes, 2003) somente faz sentido caso as variáveis sob estudo sejam correlacionadas, procedeu-se com a execução do teste de esfericidade de Bartlett para a matriz de correlação, que tem por objetivo verificar se os dados fornecem evidência estatística de não nulidade dos coeficientes de correlação. O nível de significância do teste (P=0,002) fornece forte evidência de correlações não nulas dentre os pares de variáveis considerados, indicando a conveniência de se estudar conjuntamente as quatro variáveis bioquímicas.

A análise dos dados foi executada mediante aplicação de análise fatorial. Tal análise tem por objetivo estudar a estrutura de correlações associada ao conjunto de variáveis originais em termos de um número reduzido de novas variáveis aleatórias, denominadas fatores. Com isto, busca-se resumir os dados e avaliar as correlações entre as variáveis originais com base em suas correlações com os fatores constituídos. A análise fatorial foi realizada com base na matriz de correlações, uma vez que são consideradas variáveis com grandezas e unidades de medidas distintas. A decomposição da matriz de correlações se dá conforme o método de componentes principais, e os fatores são rotacionados, buscando uma melhor identificação das variáveis originais com tais fatores, segundo uma rotação do tipo varimax. A determinação do número de fatores a serem considerados na análise se dá por meio da avaliação da proporção da variação contida no conjunto original de dados explicada por cada fator. A Tabela 3 e 4 descreve tais informações.

TABELA 3. Importância dos fatores.

	Fator 1	**Fator 2**	**Fator 3**	**Fator 4**
Auto valor	1,813	1,185	0,671	0,331
Porcentagem da variância	45,32	29,62	16,76	8,28
Porcentagem acumulada	45,32	74,95	91,72	100,00

TABELA 4. Estimação dos coeficientes para análise fatorial com dois fatores.

	Fator 1	Fator 2
Teor de fenol	–0,852	0,331
Peroxidase	0,848	0,213
pH	0,573	0,476
Acidez	0,000	0,918

Verifica-se que a utilização dos dois primeiros fatores permite explicar aproximadamente 75% da variação associada às variáveis originais, porção bastante expressiva, indicando ser conveniente proceder a análise com base nestes dois fatores. Tal escolha converge com o critério proposto por Kaiser (1958), segundo o qual deve-se considerar fatores cujos auto-valores associados sejam superiores a um.

Na análise fatorial, cada variável se associa aos fatores criados através de um coeficiente, que representa as correlações das variáveis com tais fatores. Os coeficientes originados pela análise fatorial com dois fatores, para o conjunto de variáveis bioquímicas, com aplicação da rotação varimax, são apresentados Tabela 5.

Observando os coeficientes, verifica-se que o primeiro fator está forte e positivamente correlacionado com a peroxidase e o pH, e negativamente correlacionado com o teor de fenol. Dada a importância do referido fator, conforme relatado anteriormente, verifica-se forte contraposição entre as quantidades de peroxidase e pH em relação ao teor de fenol. Amostras de guacamole com escores fatoriais elevados para este primeiro fator destacam-se por maiores valores da atividade da peroxidase e pH, em detrimento a um reduzido teor de fenol. Amostras com reduzidos escores para este fator têm características opostas às descritas.

O segundo fator, por sua vez, é fortemente correlacionado à acidez, e em menor escala, ao pH. Amostras de guacamole com escores fatoriais elevados para o segundo fator apresentam elevados pH e acidez, enquanto amostras com escores reduzidos tem baixos valores de pH e acidez. A Figura 7 representa conjuntamente os fatores e as variáveis, e permite avaliar visualmente as referidas correlações.

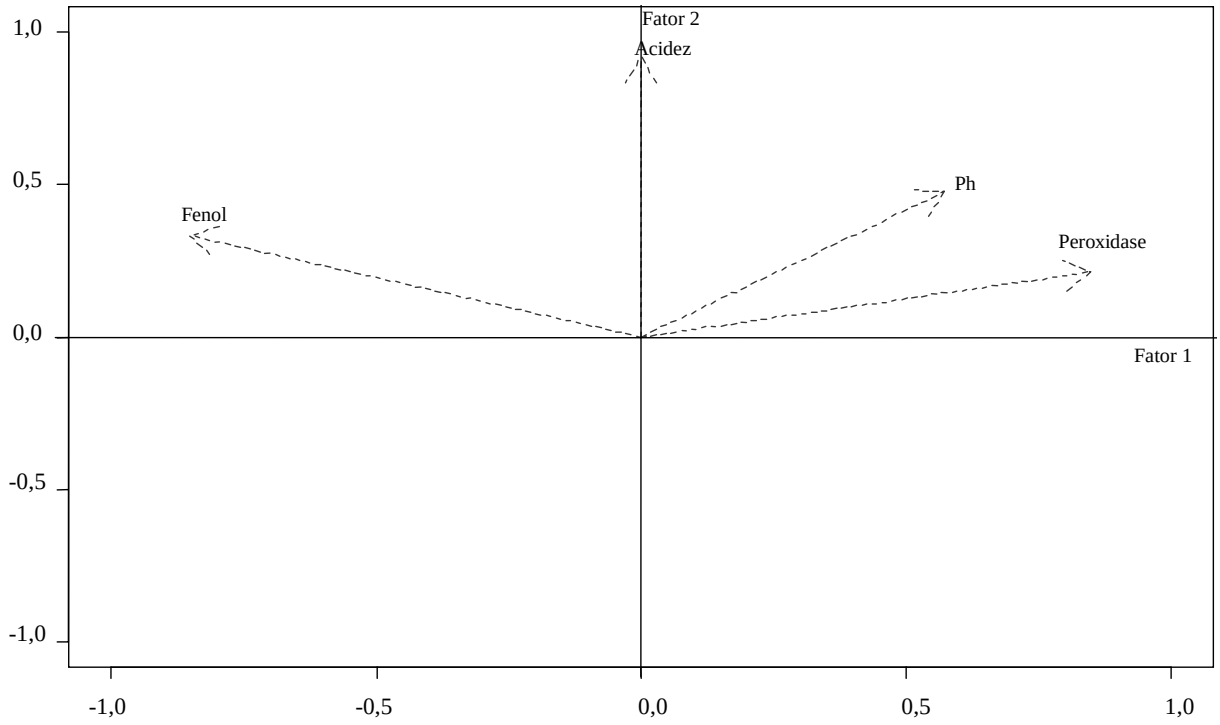


FIGURA 7. Gráfico dos coeficientes fatoriais para as variáveis bioquímicas em relação aos dois fatores constituídos.

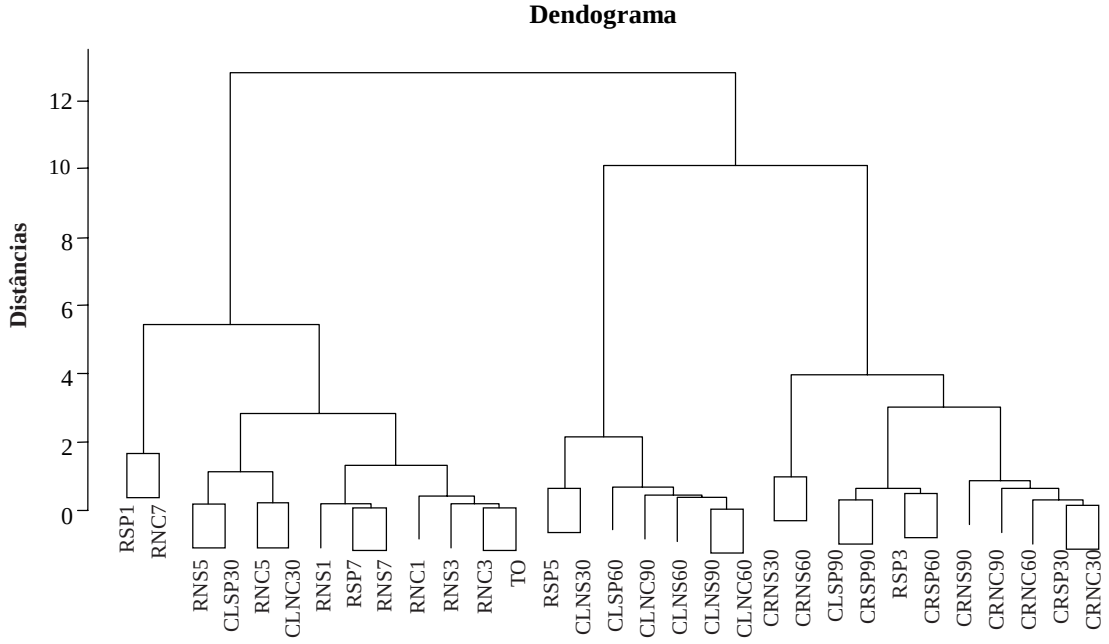
A análise teve seqüência com a aplicação de análise de agrupamentos aos escores fatoriais estimados para cada amostra de abacate. Tal análise teve como propósito identificar grupos de amostras com características bioquímicas semelhantes, e avaliar quais condições de armazenamento são responsáveis por tais características. Foi considerado o método de agrupamento de Ward. O dendograma produzido pela análise é apresentado na Figura 8.

Rencher (1995) sugere que o número de grupos a serem considerados em uma análise de agrupamentos pode ser feita, por exemplo, parando o processo antes da junção de grupos mais distantes avaliada. Verificou-se por meio do dendograma obtido que este ponto ocorre quando da redução de três para dois grupos, indicando como conveniente formar e analisar três grupos. A Figura 9 representa os escores fatoriais para cada amostra de guacamole, codificadas segundo as condições de armazenamento.

Os resultados da análise multivariada indicam associação entre o tipo de armazenamento das amostras de guacamole (refrigeração, congelamento lento ou rápido) e as propriedades bioquímicas dos mesmos. Os demais fatores (tipo de embalagem e tempo de armazenamento) apresentaram grande alternância dentro dos grupos constituídos, indicando que tais fatores não afetam as variáveis bioquímicas.

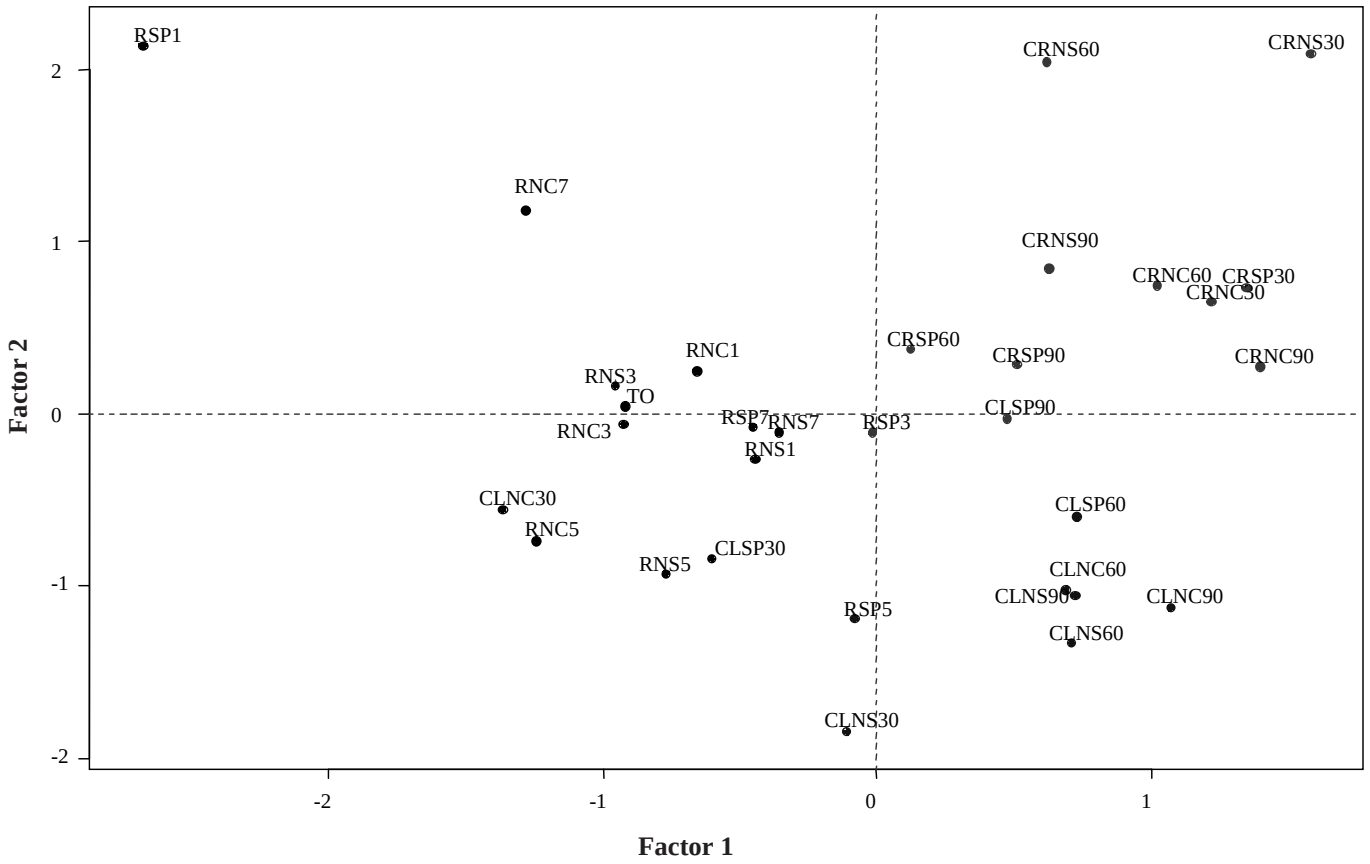
Amostras de guacamole pertencentes ao cluster representado pelos pontos pretos destacam-se por apresentar valores negativos para o primeiro fator, indício de elevado teor de fenol e reduzidas atividades de peroxidase e pH. Destaca-se o fato de a maioria destas amostras (10 entre 13) terem sido refrigeradas.

As amostras de guacamole representadas pelos pontos vermelhos destacam-se por apresentarem valores positivos para ambos os fatores, indicando que tais amostras destacam-se por apresentar pH e atividade da peroxidase elevadas, além de acentuada acidez. Pode-se verificar que a grande maioria das amostras com tais características (9 em 11) foram submetidas a congelamento rápido. Com o tempo de armazenamento pode ter ocorrido quebra das moléculas de gordura por ação da lipoxigenase ou da peroxidase que pode ter agido sobre os ácidos graxos insaturados. Como resultado pode ter aumentado a acidez das amostras.



Legenda: Tratamento frio: R= refrigerado, CL=congelamento lento, CR= congelamento rápido; Embalagens: SP= polietileno sem vácuo, NS= sem vácuo, NC: com vácuo; Dias de armazenamento: 1, 3, 5, 7, 30, 60 e 90 dias; T0= tempo zero.

FIGURA 8. Dendograma para análise de agrupamentos dos escores fatoriais produzidos pelos dois principais fatores para as amostras de guacamole.



Legenda: Tratamento frio: R= refrigerado, CL=congelamento lento, CR= congelamento rápido; Embalagens: SP= polietileno sem vácuo, NS= sem vácuo, NC: com vácuo; Dias de armazenamento: 1, 3, 5, 7, 30, 60 e 90 dias; T0= tempo zero.

FIGURA 9. Escores fatoriais para amostras de guacamole.

As amostras de guacamole representadas pelos pontos azuis destacam-se por apresentarem valores positivos para o primeiro fator e negativos para o segundo, indicando que tais amostras tem elevados valores de pH e atividade peroxidase, mas acidez não tão acentuada como às das amostras representadas pelos pontos vermelhos. A característica mais recorrente dentre estas amostras, mais uma vez, é o tipo de congelamento, uma vez que seis das sete amostras foram submetidas a um congelamento lento.

Golan *et al*. (1977) observaram uma correlação positiva entre a tendência de escurecimento no mesocarpo de abacate das variedades Furte e Lerman, o conteúdo total de fenóis e atividade da polifenoloxidase. Os autores encontraram valores baixos para a peroxidase que não variou muito para as duas cultivares.

CONCLUSÕES

- Nas amostras em embalagem de polietileno sob refrigeração foi observado uma diminuição nos valores de luminosidade indicando escurecimento das mesmas com o armazenamento. A maioria da amostras refrigeradas apresentou elevado teor de fenol e reduzidas atividades de peroxidase. Amostras do congelamento rápido e lento caracterizaram-se por valores de acidez e atividade da peroxidase mais elevadas.

AGRADECIMENTOS

À empresa Jaguacy (Bauru-SP) pelo apoio e participação nas pesquisas, à Fundação de Apoio a Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) e CAPES.

BIBLIOGRAFÍA

Association of Official Agricultural Chemistry (AOAC). 1992. Oficial methods of analysis of the association of official analitycal chemistry international. 13ed. Washington, 1 015 p.

Araújo J., M. A. 2006.Química de alimentos: teoria e prática. 3.ed. Viçosa: UFV. 609 pp.

Barroso, L. P. e R. Artes. 2003. Análise multivariada. **In:** 10° Simposio de Estatistica Aplicada a Experimentacao / 48ª Reuniao Anual da Regiao Brasileira da Sociedade Ionternational de Biometría. Lavras, Anais... Lavras: URL. 151 p.

Bates, R. P. 1968. The retardation of enzymatic browning in avocado puree and guacamole. Proc. Fla. Sate Hort. Soc. 81:230-235.

Bent-et, G., A. Dolev and D. Tatarsk. 1973.Compounds contributing to heat-induced bitter off-flavor in avocado. Journal of Food. Science, 38:546-5547.

Golan, A., V. Kahn and A. Y. Sadovski. 1977. Relationship between polyphenols and browning in avocado mesocarp. Comparison between the Fuerte and Lerman cultivars.J. Agric.Food. Chem., 25(6):1 253-1 260.

Guzmán, G. R., A. L. Dorantes, U. H. Hernandez, A. Ortiz and E. R. Mora. 2002. Effect of zinc and copper chloride on the color of avocado puree heated with microwaves. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 3:47-53.

Horwitz, H. 1995.Official Method of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemistry. 8. ed. As.of.Agr.Chem. Washington, p.144.

Instituto Adolfo Lutz. 2005. Métodos físicos e químicos para análise de alimentos. 4.ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1 018 p.

Kaiser, H. F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika 23:187-200.

Lima G., P. P. 1994. Efeito do cálcio sobre o teor de poliaminas e atividade da peroxidase e redutase no nitrato em calos de arroz (*Oriza sativa*. L. cv. IAA 4440). Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo. Instituto de Biociências.

López-Malo, A., E. Palou, G. Barbosa, J. Welti and B. Swanson. 1998. Polyphenoloxidase activity and color changes during of high hydrostatic pressure treated avocado puree. Food Research Inter- national, 31:549-56.

Luíz, R. C., T. A. M Hirata e E. Clemente. 2007. Cinética de inativação da polifenoloxidase e peroxisase de abacate (*Persea americana* Mill.). Ciência e Agrotecnologia. 31(6):1 766-1 773.

Martin, Z. J. 1991. Processamento: Produtos, características e utilização. Abacate: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos. 2.ed. Campinas: ITAL. 250 pp.

Palou, E., C. Hérnandez-Salgado, A. Lopez- Malo, G. V. Barbosa-Canóvas, B. G. Swanson and J. Welt-Chanes. 2000. High pressure-processed guacamole. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 1:69-75.

Phillips, R. and G. G. Henshaw. 1997. The regulation of synthesis of phenolics in stationary phase cell cultures of Acer pseudoplantanus. L. J. Exp. Bot., 35:108-114.

Rencher, A. C. 1995. Methods of multivariate analysis. New York: John Wiley, 627 p.

Ramtahal, G. A., J. O. Akingbala and G. SH. Baccus-Taylor. 2007. Laboratory preparation and evaluation of Pollock variety avocado (*Persea americana* Mill). Journal of the Science of Food and Agriculture, 87:2 068-2 074.

Son, S., K. Moon and C. Lee. 2000. Kinetic study of oxalic acid inhibition on enzymatic browning. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48:2 071-2 074.

Stephens, T. S., B. J. Lime and F. P. Griffiths. 1958. The effect of thickening agents in reducing the watery sepration of frozen and thawed guacamole products. Proceedings of the Rio Grande Valley Horticultural Society. 12:81-87.

Van Lelyveld, L. J., C. Gerrish and R. A. Dixon. 1984. Enzyme activities and polyphenols related to mesocarp discolouration of avocado fruit. Phytochemistry. 23(8):1 531-1 534.

EVALUACIÓN DE DIFERENTES FUENTES DE CARBOHIDRATOS Y MEDIOS DE SOPORTE, PARA LA MULTIPLICACIÓN *in vitro* DE PORTAINJERTOS DE CÍTRICOS TOLERANTES A LA TRISTEZA

EVALUATION OF DIFFERENT SOURCES OF CARBOHYDRATES AND MEDIUM OF SUPPORT FOR THE *in vitro* MULTIPLICATION OF ROOTSTOCK TOLERANT TO CITRUS TRISTEZA VIRUS

María de Jesús Martínez-Hernández*, Alejandro Alonso López, Francisco Osorio-Acosta**, Felipe Gallardo López**, Héctor López Moctezuma* y Martín Mata Rosas*****

*Investigadores. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. E-mail: mhernandezmj@gmail.com.
**Investigadores. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz, México
*** Investigador. Inecol. México.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de los azucares xilosa, fructosa y 10X20F como sustitutos de la sacarosa en el número y altura de los brotes (AB), número de hojas (NH), número de raíces (NR) por brote, número de brotes enraizados de los portainjertos tolerantes al virus de la tristeza de los cítricos (VTC) *Citrus volkameriana*, *Citrumelo swingle* y C-35. Además, se comparó la vermiculita y el agar como medio de soporte. En la formación de brotes se pudo observar que existió un promedio de 2 brotes por explante en las 3 especies con todas las fuentes de carbohidratos. Por otro lado, la AB, NH por brote y NR en ambos medios utilizados, no mostraron diferencias estadísticas ($P<0,05$); observándose un mayor porcentaje de brotes enraizados cuando se utilizó sacarosa y 10X20F en ambos medios de cultivo (99-100%). En relación a los tratamientos con xilosa y fructosa se presentó una respuesta del 75-89% de enraizamiento. Los resultados mostraron que no hubo diferencias en la multiplicación en cuanto a la fuente de carbohidratos ni al medio de soporte utilizado, pero la AB fue mayor en el portainjerto *C. volkameriana.*

Palabras Clave: Portainjertos; cítricos; cultivo de tejidos; azucares; vermiculita.

SUMMARY

The use of the sugars xylose, fructose and 10X20F, as substitutes for sucrose, was evaluated in terms of effects on the number and height of shoots, number of leaves, roots per shoot, and rooting shoots in rootstocks of the Citrus "tristeza" virus (CTV) resistant lemon varieties *Citrus volkameriana*, *Citrumelo swingle* and C-35. The explants were cultured in vermiculite and in agar in order to concurrently compare the effects of these different culture media. An average of two shoots per explant was observed in all three species in all three carbohydrate treatments. Shoot height, number of leaves per shoot and number of roots in both culture media, were not found to be significantly different ($P<0.05$). A higher percentage of rooting shoots was observed in the sucrose and 10X20F treatments in both culture media (99-100%). Treatments utilising xylose and fructose showed a response of 75-89% rooting. The results showed that neither carbohydrate source nor culture medium had a significant effect on in vitro multiplication, but that shoot height was higher in the rootstock of *C. volkameriana.*

Key Words: Rootstocks; citrus; tissue culture; sugars; vermiculite.

RECIBIDO: febrero 17, 2009

ACEPTADO: junio 08, 2009

INTRODUCCIÓN

La citricultura es una actividad importante en el estado de Veracruz, representa casi el 50% del total nacional, con 205 mil hectáreas plantadas con una producción de 2,78 millones de toneladas anuales, generando 32 mil empleos directos y 97 mil indirectos en la industrialización y comercialización de sus productos, generando 3 mil 832 millones de pesos (FAO, 2005).

Los cítricos que crecen en climas tropicales se ven afectados por diversas plagas y enfermedades, algunas de estas causadas por virus; siendo la tristeza una de las enfermedades más destructiva que se conoce. Debido a esta enfermedad se han eliminado millones de árboles injertados sobre naranjo agrio, *Citrus aurantium* L. Osbeck, en otras regiones citrícolas importantes del mundo, tales como Argentina, Brasil, España, Estados Unidos y Venezuela (Gutiérrez, 1996; Orozco-Santos, 1996).

En Veracruz, México, se está realizando un programa de diversificación productiva y la creación del biocampo, con el uso responsable de la biotecnología que incluye la reconversión de 30 millones de árboles tolerantes al VTC y mayor transferencia de tecnología (SAGARPA, 2007). Esto es porque se ha encontrado VTC tanto en viveros como en huertas comerciales donde se ha utilizado como portainjerto naranjo agrio, en ambos casos fueron eliminados los árboles afectados. Además de la amenaza que representa la presencia del pulgón café de los cítricos, *Toxoptera citricida* Kirkaldy.

En este sentido, es necesaria la propagación de patrones tolerantes, mediante técnicas de cultivo que garanticen la producción masiva de plantas libres de patógenos (Padrón, 2000; Murcia *et al*., 2002). La multiplicación *in vitro* de especies de interés, es una alternativa que asegura la obtención de brotes de buena calidad con un adecuado sistema radical, garantizando el éxito de plantas libres de patógenos y su inmediata adaptación a las nuevas condiciones ambientales (Medina-Urrutia y Valdez-Verduzco, 1990; Singh, 2002; Cervera *et al*., 2004).

El medio de cultivo *in vitro* contiene macronutrimentos, micronutrimentos, vitaminas, aminoácidos, una fuente de carbohidratos, ácidos orgánicos y otros compuestos; además de utilizar un soporte para los explantes, esto asegura el buen desarrollo de las plantas. El tipo y concentración de fuente de carbono son notablemente variadas dependiendo del objetivo de la investigación, por ejemplo: propagación masiva de especies, saneamiento de plantas, cultivo de callos, embriogénesis, organogénesis y cultivo de cloroplastos (Chu y Figueiredo-Ribeiro, 2002; García *et al*., 2002; Chen *et al*., 2003; Gollagunta *et al*., 2004; Slesak *et al*., 2004).

La baja actividad fotosintética y la pequeña área foliar de los explantes, en condiciones *in vitro*, no proporcionan cantidades suficientes de carbohidratos; por lo que los elementos minerales y compuestos orgánicos del medio son esenciales (Ruzéicå *et al*., 2000). Así la utilización de la sacarosa es muy importante en el medio de cultivo y es esencial para el crecimiento y desarrollo *in vitro* (Simoes *et al*., 1990; Zimmerman, 1995;). Como fuente de carbono en el medio de cultivo se pueden utilizar la glucosa, galactosa, manitol, sorbitol, maltosa y la fructosa. Sin embargo, Cárdenas y Villegas (2002) mencionan que al aumentar la concentración de sacarosa a 90 mM al medio de cultivo el potencial osmótico se vuelve negativo 0-39 MPa impidiendo la absorción del agua. Por lo tanto, la respuesta de la especie vegetal depende de la fuente de carbono y los macronutrimentos utilizados en el medio de cultivo. El trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de xilosa (X), fructosa (F) y 10X20F y vermiculita como sustrato inerte como sustituto del agar en la etapa de multiplicación y enraizamiento *in vitro* de los portainjertos: *Citrus volkameriana*, *Citrumelo swingle* y Citrange 35 (C- 35).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el medio de cultivo Murashige y Skoog (MS; 1962), adicionándole en la etapa de multiplicación bencilaminopurina (BAP) 1 mg l^{-1}. En el enraizamiento se diluyeron las sales inorgánicas MS al 50%, 2,5 mg l^{-1} de ácido indolbutírico (AIB) y vitaminas (Myo-inositol 0,1 mg l^{-1}, Thiamine 0,1 mg l^{-1} y Pyridoxine 0,5 mg l^{-1}). Como medio de soporte se utilizó agar (Sigma®) 6 g l^{-1} y vermiculita (SINSEMILLLA STREET 3L). El medio se ajustó a pH 5,8 con KOH1N y/o HCl1N antes de adicionar el agar y la vermiculita, se esterilizó en la autoclave a 120 °C durante 20 minutos. De acuerdo a la metodología de Kataoka (1994), la vermiculita se tamizó con el objetivo de obtener un diámetro de granos de 2,4 a 5 mm. Colocándose 25 ml de vermiculita y 20 ml del medio de cultivo en un frasco de vidrio de una capacidad de 120 ml. Como fuente de carbono se utilizó xilosa 10 g l^{-1}, fructosa 20 g l^{-1}, sacarosa 30 g l^{-1} y la combinación de xilosa y fructosa (10X20F g l^{-1}).

Las semillas de los portainjeros *C. volkameriana*, *C. swingle* y C- 35, se obtuvieron de árboles con buena

producción y certificados libres de virus. Se eliminaron los tegumentos de las semillas, y se desinfectaron por inmersión durante 1 min, en una solución de hipoclorito de sodio (Cloralex®) al 2,5% más 2 gotas de Tween 20; se enjuagaron 3 veces con agua destilada estéril y se pusieron a germinar en el medio de cultivo. Una vez obtenidas las plántulas *in vitro* se procedió a cortar segmentos nodales de 1 cm de longitud, de cada uno de los portainjertos, se desinfectaron por inmersión durante 1 min en una solución de hipoclorito de sodio (Cloralex®) al 2,5%, más 2 gotas de Tween 20; se enjuagaron 3 veces con agua destilada estéril. La preparación y posterior cultivo de los mismos se realizó bajo condiciones asépticas en la campana de flujo laminar. En cada frasco con medio de cultivo se colocaron 3 segmentos cultivándose a una temperatura de 25 °C y un fotoperíodo de 16 h luz y 8 h oscuridad.

El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial 3X4X2, (portainjertos, fuentes de carbono, medio de soporte), la unidad experimental la constituyó 16 frascos que contenían 3 brotes cada uno, con 4 repeticiones. Al final de las 4 semanas se evaluó como primera variable el número de brotes, contando los brotes cuando la yema emergía y el brote era visible. Con la finalidad de evaluar el crecimiento y desarrollo a las 8 semanas se evaluaron las siguientes variables: altura del brote (AB), midiéndola en centímetros y contando número de hojas (NH) por brote, así mismo se contabilizaron los brotes enraizados y el número de raíces (NR) que presentaba cada brote. Los datos obtenidos se analizaron mediante el Sistema de Análisis SAS (SAS Institute, Inc, 1997). Se realizó el análisis de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Brotación

La formación más frecuente de brotes en los portainjertos *C. volkameriana, C. swingle* y C- 35 fue 2 y 3 por explante, no encontrándose diferencias estadísticas. Además, que los tratamientos donde se adicionó 10X20F y solidificados con vermiculita, presentaron una formación de brotes estadísticamente similar (P=0,05) al tratamiento con agar, en los 3 portainjertos evaluados. Por otro lado se observó un porcentaje menor al 10% para la respuesta donde no se presentaron brotes, en los portainjertos *C. volkameriana, C. swingle* y C- 35 en todos los medios de cultivo con los azucares xilosa, fructosa, 10X20F y sacarosa, solidificando el medio con agar y vermiculita (Figura 1 a y b).

Estos resultados indican que los azúcares estimularon las yemas para obtener 2 brotes, el tipo de medio y los reguladores de crecimiento es lo más importante para obtener una estimulación de las yemas y asegurar una buena formación de brotes (Kobayashi *et al*., 2003). Por otro lado, Faria *et al*. (2004) encontraron en híbridos de especies de orquídeas, *Dendrobium nobile*, un incremento en el número de brotes con concentraciones de 20 g l^{-1} de sacarosa, esto indica que la sacarosa es uno de los componentes del medio de cultivo que proporciona a los brotes carbono y energía. Resultados similares obtuvieron Gürel y Gülsen (1998), en almendros, *Amygdalus communis* L., con una concentración de sacarosa del 50% obtuvieron un promedio de 2,3 brotes por yema. Gollagunta *et al*. (2004) mencionan que la reducción al 50% de glucosa, fructosa y sacarosa incrementan el número de brotes por yema de Hosta tokudama Tratt, "Newberry Gold".

Altura de los brotes y número de hojas

En el Cuadro, se observa que el portainjerto *C. volkameriana* presentó la 1,71-1,67 cm de AB con la combinación 10X20F y sacarosa en el medio solidificado en agar y con el sustrato inerte vermiculita. Mientras que *C. swingl*e y C- 35 presentaron una menor altura 1,67 a 1,68 cm, con xilosa y fructosa en ambos medios de soporte. Con respecto al NH se encontraron 3 por brote, en todos los tratamientos, no encontrándose diferencias estadísticas significativas (P<0,05).

Los datos descritos muestran que los carbohidratos estudiados no incrementaron la AB y NH; lo que indica que la presencia del azúcar es importante no así la fuente, debido a que la respuesta fue muy similar en los 3 portainjertos. Sin embargo, en otros trabajos han observado que la adición de carbohidratos como la sacarosa a 20 y 60 g l^{-1} al medio de cultivo *in vitro*, incrementa la AB y el contenido de biomasa de brotes de *Dendrobium novile* Lindl y en *Juniperus oxycedrus* aumenta la brotación (Gómez y Segura, 1995; Song *et al*., 1999; Faria *et al*., 2004). Por otro lado, Gollagunta *et al*. (2004) han mencionado que en brotes de *Hosta tokudama* Tratt. "Newberry Gold" el efecto de la sacarosa al 7% en el medio de cultivo mejoró en raíz y brotes y son los más efectivos en convertir azúcares a materia seca.

Número de brotes enraizados y número de raíces

En el Cuadro, se observa que no hubo diferencias estadísticas (P<0,05) entre tratamientos; sin embargo, los portainjertos, *C. volkameriana* y *C. swingle* presentaron 3 raíces absorbentes por brote con la combinación

10X20F, en el medio de cultivo con el sustrato inerte vermiculita. El portainjerto C-35 produjo 2,5 raíces por brote con los 2 sustratos y las diferentes fuentes de carbono. Estos resultados indican que la adición de xilosa, fructosa y 10X20F en el medio de cultivo estimulan la formación de raíces al igual que la sacarosa.

En la Figura 2, se muestra que el mayor porcentaje de brotes enraizados para los 3 portainjertos, fueron aquellos que provenían del medio donde se le adicionó la combinación 10X20F y sacarosa, obteniendo el 99-100% de brotes enraizados independientemente del sustrato utilizado. En comparación los brotes que provenían del medio de cultivo con xilosa y fructosa presentaron 75-89%, de enraizamiento con ambos sustratos.

Los resultados guardan relación con lo observado por Pio *et al*. (2002), quienes mencionan que el enraizamiento *in vitro* de *Citrus tangerina* se obtiene cuando al medio de cultivo se le adicionó sacarosa en un 30%, es importante señalar que la sacarosa además de ser la fuente principal de carbono y energía tiene un papel osmorregulador, siendo esencial para la formación de raíces. Este hecho manifiesta la relevancia que tiene la sacarosa en el medio de cultivo *in vitro* y abre la posibilidad de usar otras fuentes de carbohidratos en el medio, sin afectar sensiblemente el desarrollo.

Al utilizar el sustrato inerte vermiculita no se observaron diferencias en ninguno de los aspectos evaluados con respecto al agar, lo que indica que este sustrato puede sustituir como medio de soporte al agar en el medio de cultivo *in vitro*, reduciendo el costo del mismo. Esto es similar a lo observado por Martínez-Hernández *et al*. (2006), que observaron que el sustrato inerte tiene un efecto similar al agar en la multiplicación de los explantes.

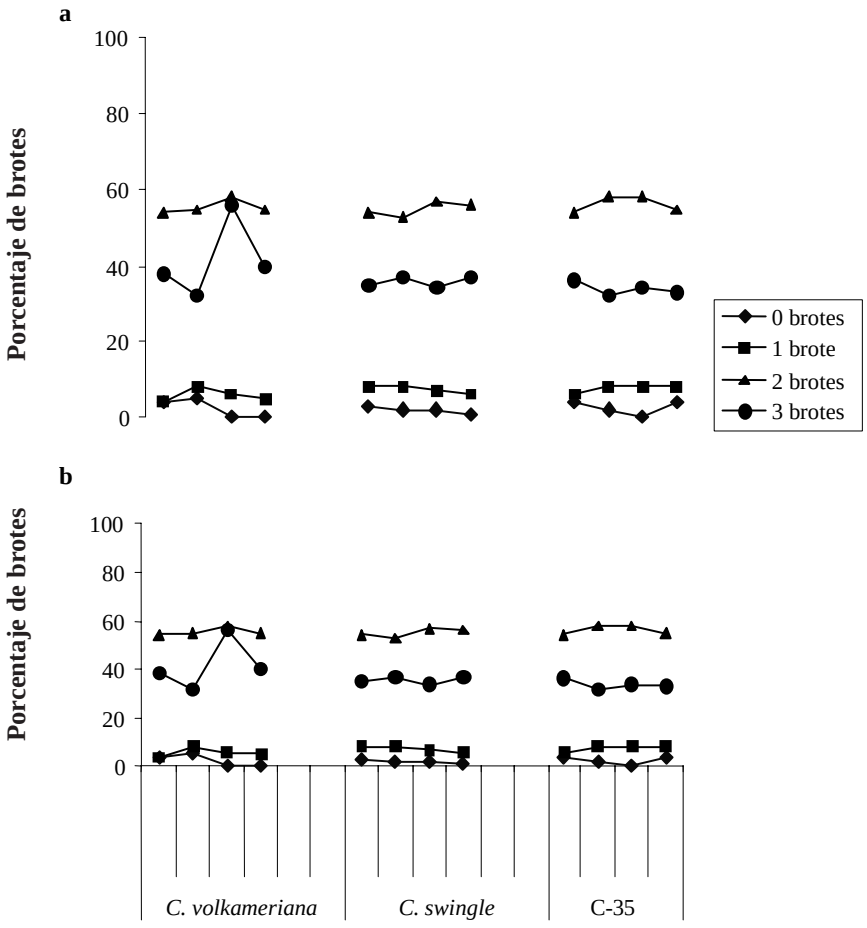


FIGURA 1. Porcentaje de brotes por explante de los patrones *C. volkameriana*, *C. swingle* y C- 35 con diferentes azúcares en agar (a) y Vermiculita (b).

CUADRO. Altura de los brotes, número de hojas por brote y número de raíces por brote de los portainjertos de *C. volkameriana*, *C. swingle* y C- 35, con la presencia de diferentes azúcares.

Portainjertos	Sustrato	Azúcar	Altura de los brotes* (cm)	N° de hojas por brote*	N° de raíces por brote*
C. volkameriana	Agar	10X20F	1,71	3,01	2,00
		Sacarosa	1,71	3,04	2,61
		Xilosa	1,67	3,02	2,51
		Fructosa	1,67	3,04	2,51
	Vermiculita	10X20F	1,71	3,00	3,01
		Sacarosa	1,71	3,00	2,51
		Xilosa	1,67	3,00	2,48
		Fructosa	1,68	3,03	2,44
C. swingle	Agar	10X20F	1,69	3,00	2,55
		Sacarosa	1,68	3,00	2,51
		Xilosa	1,67	3,04	2,35
		Fructosa	1,68	3,02	2,48
	Vermiculita	10X20F	1,71	3,00	3,02
		Sacarosa	1,68	3,00	2,48
		Xilosa	1,68	3,02	2,31
		Fructosa	1,68	3,00	2,44
C- 35	Agar	10X20F	1,68	3,09	2,47
		Sacarosa	1,68	3,03	2,50
		Xilosa	1,67	3,00	2,48
		Fructosa	1,67	3,06	2,51
	Vermiculita	10X20F	1,68	3,03	2,45
		Sacarosa	1,68	3,02	2,48
		Xilosa	1,67	3,00	2,44
		Fructosa	1,67	3,04	2,50
	Vermiculita	10X20F	1,71	3,00	3,01
		Sacarosa	1,71	3,00	2,51
		Xilosa	1,67	3,00	2,48
		Fructosa	1,68	3,03	2,44
C. swingle	Agar	10X20F	1,69	3,00	2,55
		Sacarosa	1,68	3,00	2,51
		Xilosa	1,67	3,04	2,35
		Fructosa	1,68	3,02	2,48
	Vermiculita	10X20F	1,71	3,00	3,02
		Sacarosa	1,68	3,00	2,48
		Xilosa	1,68	3,02	2,31
		Fructosa	1,68	3,00	2,44

../... continúa

../... continuación CUADRO.

Portainjertos	Sustrato	Azúcar	Altura de los brotes* (cm)	N° de hojas por brote*	N° de raíces por brote*
C- 35	Agar	10X20F	1,68	3,09	2,47
		Sacarosa	1,68	3,03	2,50
		Xilosa	1,67	3,00	2,48
		Fructosa	1,67	3,06	2,51
	Vermiculita	10X20F	1,68	3,03	2,45
		Sacarosa	1,68	3,02	2,48
		Xilosa	1,67	3,00	2,44
		Fructosa	1,67	3,04	2,50

* Sin diferencia estadística entre columnas (P<0,05).

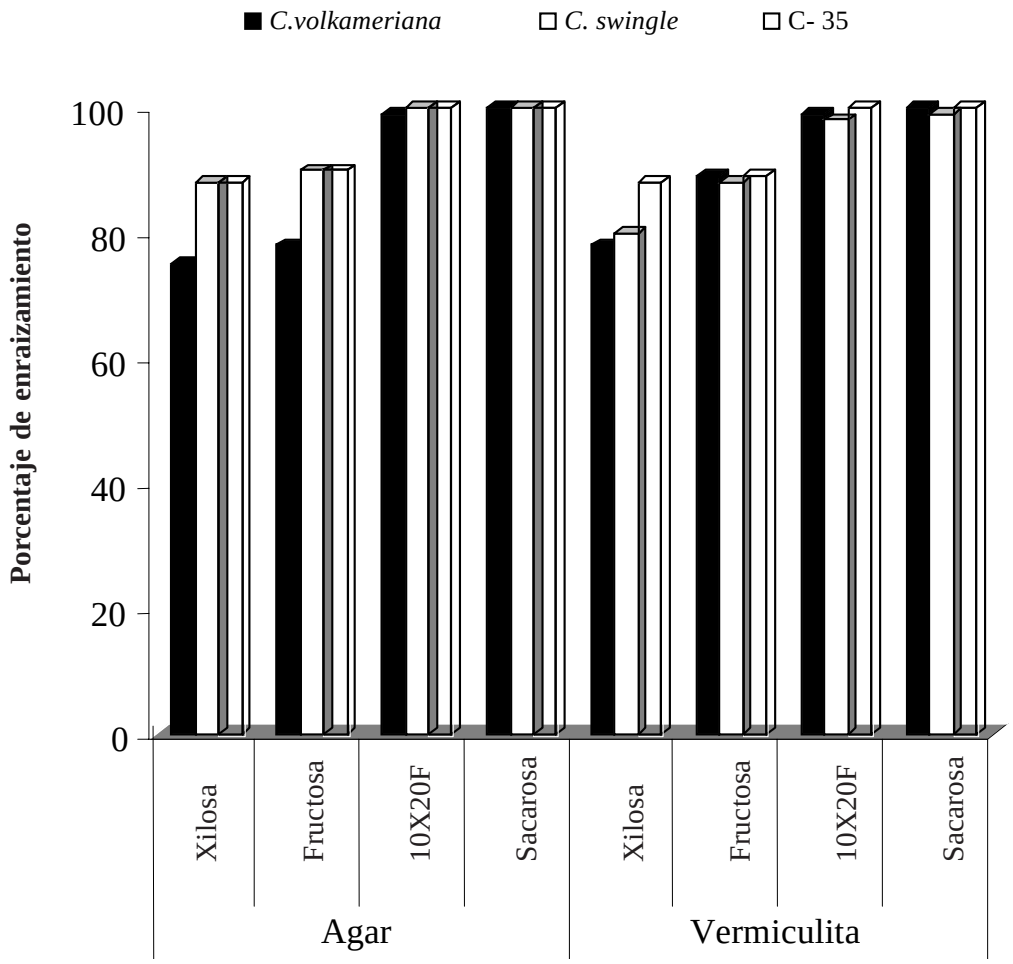


FIGURA 2. Porcentaje de brotes enraizados de *C. volkameriana*, *C. swingle* y C- 35, con diferentes azúcares.

CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio permitieron comparar diferentes fuentes de carbohidratos, observándose que no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos. El porcentaje de enraizamiento con sacarosa y la combinación 10X20F fue del 99-100%, para los materiales evaluados, mientras que xilosa y fructosa sólo alcanzó el 75-89%. Comparando el agar con el sustrato inerte vermiculita el comportamiento de los brotes fue muy similar, por lo que el sustrato vermiculita puede ser utilizado en sustitución del agar.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz y a la Facultad de Ciencias Agrícolas Campus Xalapa de la Universidad Veracruzana, por los apoyos para la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Cárdenas L., Ma. A y A. Villegas M. 2002. Potencial osmótico del medio de cultivo con diferentes componentes para la propagación *in vitro*. Rev. Fitotec. Mex. 25(2):213-217.

Cervera, F., M. Fagoaga, C. Duran-Vila and N. L. Peña. 2004. Applications of biotechnology to citrus improvement in spain. Acta Horticulturae 632:221-234.

Chen, Y., S. Lin, P. Duguid, E. Dribnenki and E. Kenaschuck. 2003. Effect of sucrose concentration on elongation of shoots from flax anther culture. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 68:49-55.

Chu, E. P. and R. C. L. Figueiredo-Ribeiro. 2002. Grow and carbohydrate changes in shoot cultures of dioscorea species as influenced by photoperiod, exogenous sucrose and cytokinin concentrations. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 70:241-249.

FAO. 2005. Base de datos de FAOSTAT. Food and agriculture organization. http://www.apps.fao.org. Food and agriculture organization. Consultado el 15 de abril de 2006.

Faria R., T., F. N. Rodriguez, L. V. R. Oliveira and C. Muller. 2004. *In vitro* Dendrobium nobile plant growth and rooting in different sucrose concentrations. Horticultura Brasileira, Brasilia. 22(4):780-783.

García, J., L. J. Troncoso, R. Sarmiento and A. Troncoso. 2002. Influence of carbon source and concentration on the *in vitro* development of olive zygotic embryos and explants raised from them. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 69:95-109.

Gollagunta, V. J., W. Adelberg, R. Rieck and N. Rajapakse. 2004. Sucrose concentration in liquid media affects soluble carbohydrates, biomass and storage quality of micropropagated hosta. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 77:125-131.

Gómez, M. P. and J. Segura. 1995. Axillary shoot proliferation in cultures of explants from mature Juniperus oxycedrus trees. Tree Physiology 15(9):625-628.

Gürel, S. e Y. Gülsen. 1998. The effects of different sucrose, agar and pH level on *in vitro* shoot production of Almond (*Amygdalus communis* L.). Tr. Journal of Botany 22:363-373.

Gutiérrez E., M. A. 1996. Memorias IV Simposium Internacional sobre Sistemas de Producción de Cítricos. Universidad Autónoma Chapingo, Vol.1. 28-3 de Octubre. Tuxpan, Ver., México. 1:95-98.

Kataoka, I. 1994. Influence of rooting substrates on the morphology of papaya root formed *in vitro*. Japan Journal Tropical Agronomy 38(3):251-257.

Kobayashi, A. K., J. C Bespalhok, L. F .P. Pereira and L. G. E. Viera. 2003. Plant regeneration of sweet orange (*Citrus sinensis*) from thin sections of mature stem segments. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 74(1):99-102.

Martínez-Hernández, M. D. J., L. A. Alonso, F. Osorio-Acosta, L. F. Gallardo, M. H. López y R. M. Mata. 2006. Cultivo *in vitro* de patrones de cítricos tolerantes al virus de la tristeza, empleando sustratos inertes alternativos al agar. Interciencia. 31(8):616-619.

Medina-Urrutia, V. M. y J. Valdez-Verduzco. 1990. Crecimiento y producción de limón Bears (*Citrus latifolia* Tanaka) sobre ocho portainjertos en dos condiciones de suelo. **In:** XIII Congreso Nacional de Fitogenética. 167 p.

Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised médium for rapid grow and biossays with tobacco tissue cultures. Physiology Plantarum. 15:473-497.

Murcia, R. N., A. J. Osorio, A. Caicedo, L. Calvert y F. Morales. 2002. Distribución y caracterización serológicas de aislamiento del virus de la tristeza de los cítricos en Colombia. Fitopatología Colombiana. 26:21-26.

Orozco-Santos, M. 1996. Enfermedades presentes y potenciales de los cítricos en México. Universidad Autónoma Chapingo, México. 150 p.

Padrón J., E. 2000. Precauciones y uso de patrones cítricos tolerantes a tristeza. Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas A.C.P. pp.36-43.

Pio, R., J. D. Ramos, L. A. S. PIO, V. Mendonca, A. B. Silva and M. Pasqual. 2002. *In vitro* rooting of sprouts of Tangerina sunki x Trifoliata english 63-256 citrus rootstocks through the use of sucrose and indolebutyric acid. Ciéncia e Agrotecnologia. 26(1)66-70.

Ruzéicå, D., M. Saricå, R. Cerovicå and L. Cåulaficå. 2000. Relationship between the concentration of macroelements, their uptake and multiplication of cherry rootstock Gisela 5 *in vitro*. Plant Cell, Tiss. Organ Cult. 63:9-14.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA. 2007. Sembrando soluciones. Secretaria de Agricultura, Ganadería, desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. http:// www.sagarpa.gob.mx/cgs/sembrando. Consultado el 11 de Marzo de 2007.

SAS Institute Inc. 1997. SAS/STAT User´guide, version 6.12. University of Minnesota.

Simoes M. O. M., E. A. M. Da Silva, L.Teixeira e P. R. Cecom. 1990. Obtencao de brotacoes adventicias de *Citrus sinensis* (L). Osbek de regioes isoladas de internódios em diferentes estádios de desenvolvimiento. Resvista Ceres 37:337-344.

Singh I., P. 2002. Micropropagation *in citrus*. Agricultural Reviews 23(1):1-13.

Slesak, H., A. Skoczowski and L. Przywara. 2004. Exogenous carbohydrate utilisation by explants of Brassica napus cultured *in vitro*. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 79:45-5.

Song M., K. R., G. L. Silva, R. T. Faria e L. S. A. Takahashi. 1999. Análise do crescimento e enraizamento *in vitro* de híbridos de *Dendrobium novile* Lindl. (Orchidaceae) semeados em diferentes meios de cultura. **In:** Congresso Brasileiro de Floricultura e plantas ornamentais. Jaboticabal, Anais. SP, Brasil. p.110.

Zimmerman, R. H. 1995. Enviromental effects and their control in plant tissue culture Overview. Acta Horticulturae 393:11-13.

AGRONOMÍA TROPICAL

Revista del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Venezuela

Instrucciones para los Autores

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

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

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

Manuscritos

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

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

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

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

La extensión del trabajo no debe exceder de 25 páginas a doble espacio, incluyendo en ellos cuadros, figuras y referencias. Junto al manuscrito es necesario anexar una carta de Fe, donde se declare que el trabajo no ha sido presentado en ningún otro medio.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- **Artículos de revistas:** autor(es), colocar el apellido del primer autor y luego la inicial del nombre, para los otros autores, primero la inicial del nombre y luego el apellido (en mayúscula); año de la publicación; título del artículo; abreviatura del nombre de la revista; volumen; página inicial y final del artículo.

- **Libros y folletos:** autor(es), año de la publicación, título, editor o traductor, número de la edición, lugar de la publicación (ciudad), casa editorial, paginación y serie.

- **Artículos en una publicación colectiva:** autor(es), año de la publicación, título del artículo, preposición latina **In** subrayada o en negrita, y seguida de dos puntos (:) y luego la referencia completa del libro.

- **Tesis:** autor, año, título, la palabra tesis, el grado académico en forma abreviada y en el mismo idioma en que está redactada la tesis, ciudad, país, universidad, facultad y número de páginas.

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

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

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

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

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

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

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

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

La abreviatura correspondiente a Agronomía Tropical es Agronomía Trop.

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

Los símbolos a usar son:

	Símbolo/abrev.	**reemplaza**
metro,	m,	
kilómetro,	km (10^3m)	
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 **Agronomía Tropical**, INIA, Apdo. 2103, Maracay 2101, estado Aragua, Venezuela, acompañados de una comunicación en la cual se señale el autor a quién deberá dirigirse la correspondencia, su dirección, teléfonos de oficina y domicilio y la firma de cada uno de los autores del trabajo.

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

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

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

Agronomía Tropical

Agronomía Tropical

Agronomía Tropical

Agronomía Tropical

Venezuela
AHORA ES DE TODOS