

ISSN 0377-9424

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

COLEGIO DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

Volumen 35

2011

Número 2


EDITORIAL
UCR

REVISORES ESPECIALIZADOS

Revisores Nacionales

Adolfo Soto
 Adriana Blanco M.
 Adriana Murillo
 Alejandro Esquivel
 Alejandro Rodríguez
 Alexis Rodríguez
 Alexis Vásquez
 Alonso Acuña
 Alfonso Vargas
 Alfredo Alvarado H.
 Allan González
 Álvaro Castro
 Álvaro Jiménez C.
 Álvaro Morales
 Álvaro Ramírez
 Álvaro Segura
 Axel Retana
 Amy Wang
 Ana Abdellour
 Ana Cecilia Segreda
 Ana Tapia
 Andrea Molina
 Andrés Gatica
 Anthony Rivera
 Antonio Bogantes
 Arturo Brenes A.
 Augusto Rojas B.
 Bernal Herrera
 Bernal Rodríguez
 Carlos Araya
 Carlos Arroyo
 Carlos Astorga
 Carlos Echandi
 Carlos Díaz
 Carlos Gauggel
 Carlos Henríquez
 Carlos Jiménez
 Carlos Magno Salazar
 Carlos Méndez
 Carlos Morera B.
 Carlos Navarro
 Carlos Padilla
 Carlos Pomareda
 Carlos Ramírez M.
 Carlos Rodríguez
 Carmela Velásquez
 Carmen González
 Cesar Rodríguez
 Claudia Charpentier
 Claudia Martínez
 Cristina Vargas
 Dagoberto Arias
 Denis Hine
 Diego Berrocal
 Diógenes Cubero
 Douglas Marín
 Edgar Alvarado
 Edgar Gutiérrez
 Edgar Rojas
 Edgar Valverde
 Edgar Vidal
 Edgardo Alpízar
 Eduardo Bravo
 Eduardo Salas
 Eduardo Soto
 Eladio Chaves
 Elizabeth Arnáez

Elizabeth Carazo
 Eloy Molina
 Emilio Vargas G.
 Enrique Villalobos
 Eric Guevara
 Eric Mora N.
 Eugenio Corea
 Esteban Loría
 Eugenio González
 Evelyn Rodríguez
 Fabio Blanco
 Federico Albertazzi
 Federico Alvarado
 Felipe Arauz C.
 Fermín Subirós R.
 Fernando Robles
 Florencia Antillón
 Floria Ramírez
 Francisco Carvajal
 Francisco Ciccio
 Francisco Marín
 Francisco Mesén
 Francisco Romero
 Francisco Saborío
 Franklin Herrera
 Freddy Rojas
 Fulvio Arias
 Gabriela Soto
 Geiner Matamoros
 Geovanny Bermúdez
 Geovanny Carmona
 Gerardina Umaña
 German Rivera
 Gilbert Barrantes
 Gilbert Brenes
 Gilbert Fuentes
 Gilberto Cabalceta
 Gloria Meléndez
 Guillermo Araya
 Guillermo Navarro
 Gustavo Fallas
 Gustavo Quesada
 Héctor Medrano
 Helga Blanco M.
 Hernán Camacho
 Hernán Sancho
 Hugo Aguilar
 Ileana Moreira
 Isabel Carpio M.
 Ismael Hernández
 Israel Garita
 Janina Bonilla
 Jenaro Acuña
 Jenny Reynolds
 Johan Lotz A.
 Jorge Celso Rodríguez
 Jorge Elizondo
 Jorge Herrera
 Jorge León
 Jorge Mora B.
 Jorge Morales
 Jorge Sandoval
 José A. Vargas
 Jose L. Corrales
 José Rodríguez Z.
 Juan Carlos Hernández
 Juan Carlos Madrigal
 Juan Luis Morales
 Juan R. Navarro

Julieta Carranza
 Julio Arias
 Julio Mata
 Kenneth Madriz
 Laura Solís
 Leslie Medina
 Lidieth Uribe
 Liliana Pazos
 Lisela Moreira
 Lolita Durán
 Lorena Flores
 Lorena Uribe
 Lorena Vargas
 Luis Brenes
 Luis Calvo
 Luis Castresana
 Luis Vargas
 Luis Villegas
 Luko Hilje
 Marcela Fernández
 Marco Adamson
 Marco V. Gutiérrez
 Marco V. Sáenz
 Marcos Chaves
 Marcos Moreira
 Marcos Ugalde
 María Isabel González
 María del Mar Gamboa
 Maria Laura Arias
 Mario Araya
 Mario Arias
 Mario Morales
 Mario Piedra
 Mario Saborío
 Mario Samper
 Mario Vargas
 Mario Villatoro
 Marta Montero
 Marta Bustamante
 Marta Valdéz M.
 Miguel Barquero
 Miguel González A.
 Miguel Obregón
 Miguel Quesada
 Miguel Vallejo
 Milagro Cerdas
 Mildred Linkimer
 Moisés Soto
 Nelly Vásquez
 Norman Rojas
 Olman Murillo
 Olman Quirós
 Orlando Carrillo
 Oscar Acuña
 Oscar Castro
 Oscar Obando
 Oscar Quesada
 Oscar Rocha
 Patricia Castro
 Patricia Quesada
 Patricia Ramírez
 Rafael Arguello
 Rafael Mata
 Rafael Ocampo
 Rafael Salas C.
 Rafael Segura
 Rafael Serrano
 Ramiro Alizaga
 Ramón León

Ramón Mexzón
 Ramsés Hernández
 Raúl Botero
 Renato Jiménez
 Ricardo Radulovich
 Roberto Azofeifa
 Roberto Villalobos
 Rodolfo Amador
 Rodolfo Araya
 Rodrigo Alfaro
 Rodrigo Jiménez
 Roger Fallas
 Rolando Mora
 Ronald Romero
 Ronald Vargas
 Ronny Viales
 Roque Vaquero
 Rosaura Romero
 Rubén Ortiz
 Ruth de la Asunción
 Ruth León
 Sergio Torres
 Singh B.K.
 Susana Schweizer
 Vera Sánchez
 Víctor Cartín
 Vilma Castro
 Victor Jiménez
 Walter Marín M.
 Warren Forsythe
 Werner Rodríguez
 William Hernández
 William Ramírez

Revisores Internacionales

Abellino Pitty (Honduras)
 Adriana Escudero (España)
 Alonso González (Colombia)
 Carl Jordan (EE.UU.)
 Danilo Pezo (Guatemala)
 Edgar Amezcuita (Colombia)
 Florencia Montagnini (EE.UU.)
 Francisco Coll (Cuba)
 Francisco P. Chaimsohn (Brasil)
 Frank J. Smith (EE.UU.)
 Guillermo Reyes (Nicaragua)
 Isis Fernández (Cuba)
 Jack Ewell (EE.UU.)
 Jorge Etchevers (México)
 José Hernández (EE. UU.)
 Juan F. Gallardo (España)
 Kellen Gatti (Colombia)
 Magally Quirós (Venezuela)
 Miguel Marchamalo (España)
 Roberto Ferreira (Brasil)
 Ronald Ochoa (EE.UU.)
 Thomas J. Smyth (EE.UU.)

© 2011

EDITORIAL UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

www.editorial.ucr.ac.cr / Correo electrónico: administracion.siedin@ucr.ac.cr

Todos los derechos reservados conforme a la Ley

San José, Costa Rica

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

Revista semestral de ciencias agrícolas de la Universidad de Costa Rica, el Colegio de Ingenieros Agrónomos y el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

VOLUMEN 35**2011****NÚMERO 2****Artículos científicos**

- Micropropagación de pilón (*Hieronyma alchorneoides*).
Ana Abdelnour, M^a Elena Aguilar y Lissette Valverde† 9-19
- Efecto del vermicompost y quitina sobre el control de *Meloidogyne incognita* en tomate a nivel de invernadero.
Leida Castro, Lorena Flores y Lidieth Uribe 21-32
- Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del híbrido de maíz HC-57.
Róger Fallas, Floria Bertsch, Carlos Echandi y Carlos Henríquez 33-47
- Diagnóstico de enfermedades en colmenas de abejas africanizadas en Costa Rica: Prevalencia y distribución de setiembre a noviembre del 2007.
Rafael A. Calderón y Luis A. Sánchez 49-60
- Efecto del grado de madurez y las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de la papaya Híbrido Pococí.
Gerardina Umaña, Carlos Luis Loría y Juan Carlos Gómez 61-73
- Fisiología poscosecha, composición química y capacidad antioxidante de frutas de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. Tuira Darién cosechadas a tres diferentes edades.
Mauricio Serrano, Gerardina Umaña y Marco V. Sáenz 75-87

Notas técnicas

- Influencia de coberturas al suelo sobre la selección del hospedante por *Bemisia tabaci*, en condiciones de invernadero.
Luko Hilje y Phil A. Stansly 89-96
- Contenido total y disponibilidad de nutrimentos en dos muestras de cenizas expulsadas en enero del 2010 por el Volcán Turrialba, Costa Rica.
Juan Carlos Méndez y Floria Bertsch 97-104
- Influencia de la variedad y altura de cosecha sobre el rendimiento y valor nutritivo de maíz para ensilaje.
Jorge Alberto Elizondo Salazar 105-111

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

Biannual journal of agricultural sciences of the University of Costa Rica, the Society of Ingenieros Agrónomos, and the Ministry of Agriculture.

VOLUME 35**2011****NUMBER 2****Scientific papers**

- Micropropagation of pilon (*Hieronyma alchorneoides*).
Ana Abdelnour, M^a Elena Aguilar and Lissette Valverde† 9-19
- Effect of vermicompost and chitin on the control of *Meloidogyne incognita* in greenhouse tomato.
Leida Castro, Lorena Flores and Lidieth Uribe 21-32
- Nutrient absorption and phenology development of the Costa Rican corn hybrid HC-57.
Róger Fallas, Floria Bertsch, Carlos Echandi and Carlos Henríquez 33-47
- Diagnosis of bee diseases in africanized honey bees in Costa Rica: prevalence and distribution from September to November 2007.
Rafael A. Calderón and Luis A. Sánchez 49-60
- Effect of maturity stage at harvest and storage conditions on the ripening behavior of Pococi hybrid papayas.
Gerardina Umaña, Carlos Luis Loría and Juan Carlos Gómez 61-73
- Postharvest physiology, chemical composition and antioxidant capacity of peach palm fruit (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. Tuira Darién, harvested at three different ages.
Mauricio Serrano, Gerardina Umaña and Marco V. Sáenz 75-87

Technical notes

- Influence of ground covers on host-plant selection by *Bemisia tabaci*, under greenhouse conditions.
Luko Hilje and Phil A. Stansly 89-96
- Total content and nutrients availability in two samples of ash eject by the Turrialba Volcano, Costa Rica in January 2010.
Juan Carlos Méndez and Floria Bertsch 97-104
- Influence of variety and cutting height on yield and nutritive value of corn for silage.
Jorge Alberto Elizondo Salazar 105-111

MICROPROPAGACIÓN DE PILÓN (*Hieronyma alchorneoides*)

Ana Abdelnour^{1/*}, M^a Elena Aguilar^{**}, Lissette Valverde^{†***}

Palabras clave: Micropropagación, cultivo in vitro, pilón, *Hieronyma alchorneoides*, citocininas.

Keywords: Micropropagation, in vitro culture, pilon, *Hieronyma alchorneoides*, cytokinins.

Recibido: 05/07/11

Aceptado: 23/09/11

RESUMEN

El pilón (*Hieronyma alchorneoides*, Euphorbiaceae) es una de las especies nativas maderables de Costa Rica mejor adaptadas a condiciones abiertas de plantación; por sus características de crecimiento y variedad de usos, la demanda por material de siembra se ha incrementado. Esta especie presenta serios problemas en su reproducción sexual: es dioica, la producción de frutos muy variable en el tiempo y entre árboles, que producen gran cantidad de frutos, pero son fuertemente depredados por diferentes aves. En los últimos años el porcentaje de frutos dañados se ha incrementado a niveles considerables debido a avispas y las semillas pierden su capacidad de germinación pocos días después de la cosecha (recalcitrante).

Estos factores hacen que la micropropagación sea una opción atractiva para su multiplicación. En el presente estudio se evaluaron las diferentes etapas del cultivo in vitro. El establecimiento aséptico de los embriones se logró mediante incubación de las semillas con ácido sulfúrico concentrado por 10 min, seguido de la inmersión en hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5,5% durante 30 min; los embriones fueron

ABSTRACT

Micropropagation of pilon (*Hieronyma alchorneoides*). Pilon (*Hieronyma alchorneoides*) (Euphorbiaceae) is one of the native timber species of Costa Rica best adapted to conditions of open plantation. Due to its growth characteristics and variety of uses, the demand for planting material has increased. This species presents serious problems with seed reproduction; it is a dioecious, the fruit production varies over time and between trees, trees produce large quantities of fruit but are heavily predated by different birds. In recent years, the percentage of damaged fruit has increased due to wasps and the seeds lose their ability to germinate within days of harvest (recalcitrant). These factors make micropropagation an attractive option for mass propagation of the species. In the present study various stages of in vitro cultivation were evaluated. The aseptic establishment of the embryos was achieved by scarifying the seeds with concentrated sulfuric acid for 10 min, followed by incubation in 5.5% sodium hypochlorite (NaClO) for 30 min, then embryos were inoculated on the culture medium described by Murashige and Skoog (MS) without growth regulators. When

¹ Autor para correspondencia. Correo electrónico: aabdelnour@itcr.ac.cr

* Centro de Investigación en Biotecnología, Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Cartago, Costa Rica.

** Laboratorio de Biotecnología, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

*** Laboratorio de Cultivo de Tejidos, Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), Universidad Nacional (UNA), Heredia, Costa Rica.

inoculados en el medio de cultivo de Murashige y Skoog (MS) sin reguladores del crecimiento. La asepsia de material vegetativo se logró con cloruro de mercurio (HgCl_2) al 0,095% por 5 min, el 50% de las microestacas que brotaron en el medio MS simple. Además, se observó que el pilón no requiere de la adición de reguladores del crecimiento en las etapas de brotación y multiplicación.

El uso de 0,1 mg.l⁻¹ de ácido indolbutírico (AIB) promovió el enraizamiento del 80% de los tallos y el número mayor de raíces por tallo (5,0) de buena calidad. Se logró un 70% de sobrevivencia en la aclimatación de las plantas en condiciones de invernadero.

INTRODUCCIÓN

El pilón (*Hieronyma alchorneoides*), también conocido como zapatero, palo curtidor, palo rosa, tinto entre otros, pertenece a la familia Euphorbiaceae. Su zona de distribución natural alcanza desde México hasta la cuenca del Amazonas brasileño y las islas de las Indias Occidentales (González 1995). En Costa Rica se encuentra en los bosques lluviosos de las zonas bajas del Norte y del Atlántico, en alturas desde el nivel del mar hasta los 800 m. Se presenta tanto en bosques primarios como secundarios y a lo largo de ríos y quebradas (Torres et al. (2002), González 1995).

En condiciones naturales presenta poblaciones pequeñas, por lo que al aprovecharla se corre el riesgo de amenazar su permanencia en el ecosistema. El pilón es una especie dioica, es decir, presenta árboles macho y árboles hembra, los cuales no pueden ser identificados antes de la floración. No se conoce la relación entre la frecuencia de los árboles macho y hembra y no todos los árboles florecen cada año. Existen árboles que nunca han presentado una floración, lo que

vegetative material was used as initial explant, the use of 0.095% mercuric chloride (HgCl_2) during 5 min, allowed 50% of cuttings to develop shoots under aseptic conditions on a simple MS medium. It was observed that pilon does not require the addition of growth regulators during bud induction nor in the multiplication stages. During rooting, the addition of indole butyric acid (IBA) at concentrations of 0.1 mg.l⁻¹ promoted the highest percentage of rooted shoots (80%), the largest number of roots per stem (5.0) and the best quality of the roots formed. Survival of in vitro plants after acclimation under greenhouse condition reached 70%.

dificulta la identificación de árboles semilleros (COSEFORMA 1998). La producción de frutos es muy variable en el tiempo y entre árboles. Aunque los árboles producen gran cantidad de frutos, estos son fuertemente depredados por diferentes aves y en los últimos años el porcentaje de frutos dañados se ha incrementado a niveles considerables debido a avispas de la familia Eurytomidae (Moya et al. 2009). Un problema adicional que presentan las semillas es que pierden su capacidad de germinación pocos días después de la cosecha (semillas recalitrantes) (COSEFORMA 1998).

El pilón es una de las especies nativas que mejor se ha adaptado a condiciones abiertas de plantación, muestra poca exigencia con respecto a la calidad del sitio, buena forma de fuste y rápido crecimiento durante los primeros años, además su madera es muy apreciada en el mercado por su amplio rango de usos (Solis y Moya 2004). Se utiliza en construcciones, tanto en interiores como exteriores para puentes, pisos, carrocería de camiones, soportes, postes, barriles para sólidos, durmientes de ferrocarril, barcos y construcciones marinas (Carpio 1992). El conocimiento de

estas características ha incrementado la demanda de pilón por parte de los reforestadores (Moya et al. 2009), por lo tanto, se espera contar en un futuro cercano, con materiales de siembra de calidad para cubrir esta demanda. Sobre la micropropagación de pilón, solamente se encontraron 2 referencias de trabajos realizados en Costa Rica (Valverde 1998, Gamboa 1998); sin embargo, la metodología propuesta debió ser revisada y completada. Por lo tanto el objetivo del presente trabajo fue establecer una metodología eficiente para la micropropagación de pilón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Para los ensayos de introducción y establecimiento *in vitro* se utilizaron semillas y estacas procedentes de árboles seleccionados. Las semillas de pilón fueron suministradas por la Organización de Estudios Tropicales (OET) y el Banco de Semillas Forestales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). El material vegetativo para la introducción *in vitro* de brotes consistió de esquejes o estacas tomados de plantas ubicadas en el jardín clonal del Instituto Tecnológico de Costa Rica en la Zona Norte y en el vivero de la Escuela de Agricultura de la Región del Trópico Húmedo (EARTH). Estas estacas fueron mantenidas en el invernadero para estimular la brotación de las yemas y se asperjaron semanalmente con una mezcla de Agrimicin® y Benlate® (estrep-tomicina y benomil, respectivamente), en una concentración de 1 g.l⁻¹ de cada uno para reducir la contaminación una vez introducidas *in vitro*.

Desinfección, establecimiento y multiplicación *in vitro*

Durante la desinfección, las semillas maduras fueron lavadas con agua y detergente, seguidamente se enjuagaron con agua corriente y se sumergieron en alcohol de 70° por 5 min. Posteriormente se incubaron en hipoclorito de

sodio (NaOCl) en varias concentraciones y tiempos de inmersión (2,75% durante 20 min, 4,12% durante 20 min, 5,5% durante 20 y 30 min). Un último tratamiento consistió de la escarificación de las semillas con ácido sulfúrico concentrado por 10 min seguida de la desinfección en 5,5% de NaOCl por 30 min. Todos los tratamientos se colocaron en agitación. Después de la desinfección, las semillas fueron lavadas 3 veces con agua destilada estéril en la cámara de flujo laminar y los embriones disectados y distribuidos en viales (11 cm de largo x 8 cm de diámetro) con 10 ml del medio de cultivo Murashige y Skoog (MS) (1962), suplementado con 3% de sacarosa y 1,8 g.l⁻¹ de gelrite® como gelificante. El pH del medio fue ajustado a 5,7 antes de la esterilización por autoclave (1,2 atm de presión y 121° de temperatura durante 20 min). Los cultivos se mantuvieron en un cuarto de crecimiento con una temperatura de 27±2°C, un fotoperiodo de 16 h luz y una intensidad lumínica de 2000 lux.

Para las pruebas de desinfección y establecimiento *in vitro* de material vegetativo se tomaron los rebotes de las estacas mantenidas en invernadero y se eliminaron las hojas, y se dejó solo una pequeña parte del pecíolo. Se utilizaron explantes de aproximadamente 3 a 4 cm con 1 a 3 nudos. Se procedió a hacer un lavado con agua y detergente y luego se incubó el material en los diferentes tratamientos de desinfección. Como desinfectante se utilizó cloruro de mercurio (HgCl₂) en concentraciones de 0,095, 0,1 y 0,2% durante 5 a 7 min.

Una vez desinfectados los rebotes, para inducir la brotación de las yemas axilares y la producción de nuevas plántulas *in vitro*, microestacas de aproximadamente 0,5 a 1,0 cm, con un nudo, fueron cultivadas en el medio de cultivo MS al 100% de su concentración en sales minerales. Posteriormente, durante la fase de multiplicación los brotes obtenidos fueron seccionados en pequeñas microestacas de un nudo y cultivados en el medio de cultivo MS al 100 y 50% de su concentración en sales minerales, suplementado con diferentes concentraciones de zeatina (Z:0,0; 0,5; 1,0-1,5 mg.l⁻¹), cinetina (K: 0,5-1,0 y 1,5

mg.l⁻¹) y benciladenina (BA 0,0; 0,05; 0,10; 0,50; 1,0 y 1,5 mg.l⁻¹) en experimentos independientes. Tanto en el medio de inducción como de multiplicación se adicionó 30 g.l⁻¹ de sacarosa y 2 g.l⁻¹ de gelrite como gelificante y los cultivos se colocaron en un cuarto de crecimiento en las condiciones descritas arriba.

Efecto de las auxinas en el enraizamiento

Los brotes de 1,5 cm de longitud producidos in vitro, indistintamente de su origen (del cultivo de microestacas o embriones), fueron colocados en el medio de cultivo MS con la concentración de sacarosa y gelificante similares al anterior medio, con la concentración de sales completa (100% MS) y a la mitad de su concentración (50% MS) con 1 de 4 concentraciones (0,1-0,2-0,3-0,4 mg.l⁻¹) de ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftalenacético (ANA), en experimentos independientes. Los cultivos se colocaron en las mismas condiciones que el ensayo anterior.

Aclimatación de las plantas en el invernadero

Para la aclimatación de las plantas en el invernadero se utilizó suelo de bosque, (Guápiles, Costa Rica) el cual se distribuyó en bolsas plásticas de polietileno (15 cm x 25 cm) para el trasplante de las plantas producidas in vitro. Para este ensayo se utilizó un total de 100 plantas enraizadas in vitro con un tamaño entre 3 y 5 cm, se lavó el exceso de gelificante de las raíces y las plantas se mantuvieron en una cámara con una temperatura de 30°C. El riego fue manual cada 2 ó 3 días y después de un período de 60 días en invernadero, las plantas fueron evaluadas con base en el porcentaje de supervivencia.

Diseño experimental y análisis de datos

En todos los experimentos se empleó un diseño irrestricto al azar, un total de 20 explantes por tratamiento, un explante por tubo y cada tubo de ensayo representó una unidad experimental. Cada experimento fue repetido 2 veces. Las variables evaluadas fueron sobrevivencia al agente de desinfección (%), asepsia (%), brotación

(%), número promedio de brotes; enraizamiento (%), número promedio de raíces y porcentaje de aclimatación (%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desinfección, establecimiento y multiplicación in vitro

El material de campo está expuesto a gran cantidad de agentes contaminantes, de ahí que el éxito o fracaso en la micropropagación de una especie, en muchas ocasiones, dependerá de un adecuado sistema de desinfección del material inicial (George et al. 2008). Para la desinfección superficial de los explantes se utiliza productos variados, como el alcohol, los cloruros de sodio, calcio y mercurio entre otros, sin embargo; el etanol es uno de los desinfectantes que se utiliza comúnmente, previo al tratamiento con hipoclorito de sodio, considerándose efectivo contra bacterias y hongos (Lummerding 2001). Cuando las semillas fueron incubadas por 20 min en concentraciones crecientes (2,75%, 4,12% y 5,5%) de NaOCl (Cuadro 1) se observó un incremento en el porcentaje de embriones asépticos establecidos in vitro (13%, 20% y 38% respectivamente). Los embriones que fueron incubados en la mayor concentración de NaOCl (5,5%, durante 30 min), presentaron el mayor porcentaje de asepsia (61%). Sin embargo, cuando previo al tratamiento de desinfección se realizó la escarificación de las semillas, se observó el 100% de embriones establecidos in vitro, lo que podría indicar que el ácido sulfúrico utilizado en combinación con el desinfectante provocó una mejor remoción de los agentes contaminantes. La contaminación que se encontró en los tratamientos fue principalmente bacteriana.

Es importante señalar que durante la disección de los embriones, el 35% de las semillas desinfectadas fueron desechadas, debido a la presencia de diferentes estadios larvales y adultos de la avispa *Eurytoma* sp., familia Eurytomidae (Hymenoptera) (Figura 1A). Al parecer la avispa ovoposita en el fruto y la larva se alimenta del

Cuadro 1. Establecimiento in vitro de embriones de pilón (*Hieronyma alchorneoides*) después de la incubación en alcohol de 70° durante 5 min y diferentes concentraciones de cloruro de sodio (NaOCl) y escarificación con ácido sulfúrico concentrado seguido de NaOCl.

Tratamiento	Embriones establecidos asépticamente* (%±E.S)
2,75% NaOCl 20 min	13±1,4
4,12% NaOCl 20 min	20±2,1
5,5% NaOCl 20 min	38±1,4
5,5% NaOCl 30 min	61±1,4
Escarificación, 5,5% NaOCl 30 min	100±0,0

* Promedio de 20 unidades por tratamiento y 2 ensayos±Error Estándar.

embrión causándole la muerte, lo que podría explicar los bajos porcentajes de geminación que frecuentemente se observan en las semillas (COSEFORMA 1998). En estudios previos se observó que los porcentajes de germinación varían entre frutos de diferentes árboles y el daño por la avispa es mayor en la primera cosecha del año (Abdelnour et al. 2007, COSEFORMA 1998).

Con respecto al establecimiento de microestacas in vitro, el mayor problema encontrado se presentó durante la etapa de desinfección, el uso de cloruro de mercurio (HgCl_2) permitió el establecimiento aséptico de las estacas pero en algunos tratamientos se incrementaron los niveles de mortalidad. El mayor porcentaje de brotación de yemas fue del 50%, cuando se utilizó la menor concentración de HgCl_2 (0,095%) durante 5 min de incubación y además la contaminación y mortalidad se redujeron al 13% y 37%, respectivamente. Al utilizar la misma concentración de HgCl_2 pero con el material inicial incubado durante 7 min, el porcentaje de contaminación disminuyó al 10%, pero la mortalidad aumentó al 52% y el porcentaje de yemas brotadas disminuyó al 38% (Cuadro 2).

Las mayores concentraciones de HgCl_2 evitaron la contaminación, pero provocaron una mortalidad del 100% en la mayoría de los casos.

Este desinfectante ha sido utilizado con efectos positivos en la introducción de semillas y brotes de otras especies forestales y leñosas (Ostrolucka et al. 2007, Abdelnour y Muñoz 2005, Gamboa 1998, Monteuis et al. 1998). El Cloruro de mercurio se incluye entre los desinfectantes que presentan metales pesados y se caracterizan porque son muy tóxicos y activos en muy bajas concentraciones y actúan sobre enzimas claves inactivándolas al reaccionar específicamente con grupos sulfhidrilo (SH) (Flores 2001, CIAT 1991).

Durante la inducción de brotes a partir de las microestacas establecidas asépticamente, se observó que, tanto los tratamientos con zeatina, como el tratamiento testigo (sin zeatina) mostraron una respuesta muy similar, sin existir diferencias significativas entre los tratamientos (Tukey $p=0,01$) (Cuadro 3). Sin embargo, la adición de zeatina indujo efectos indeseables como la formación de gran cantidad de yemas hiperhídricas cuando el medio fue enriquecido con concentraciones superiores a 0,5 mg y en algunos casos las yemas presentaron deformaciones. Resultados similares fueron observados cuando se adicionó BA. El mayor porcentaje de estacas brotadas (85%), se observó en ausencia de este regulador del crecimiento. En presencia de BA los porcentajes de brotación disminuyeron hasta alrededor del

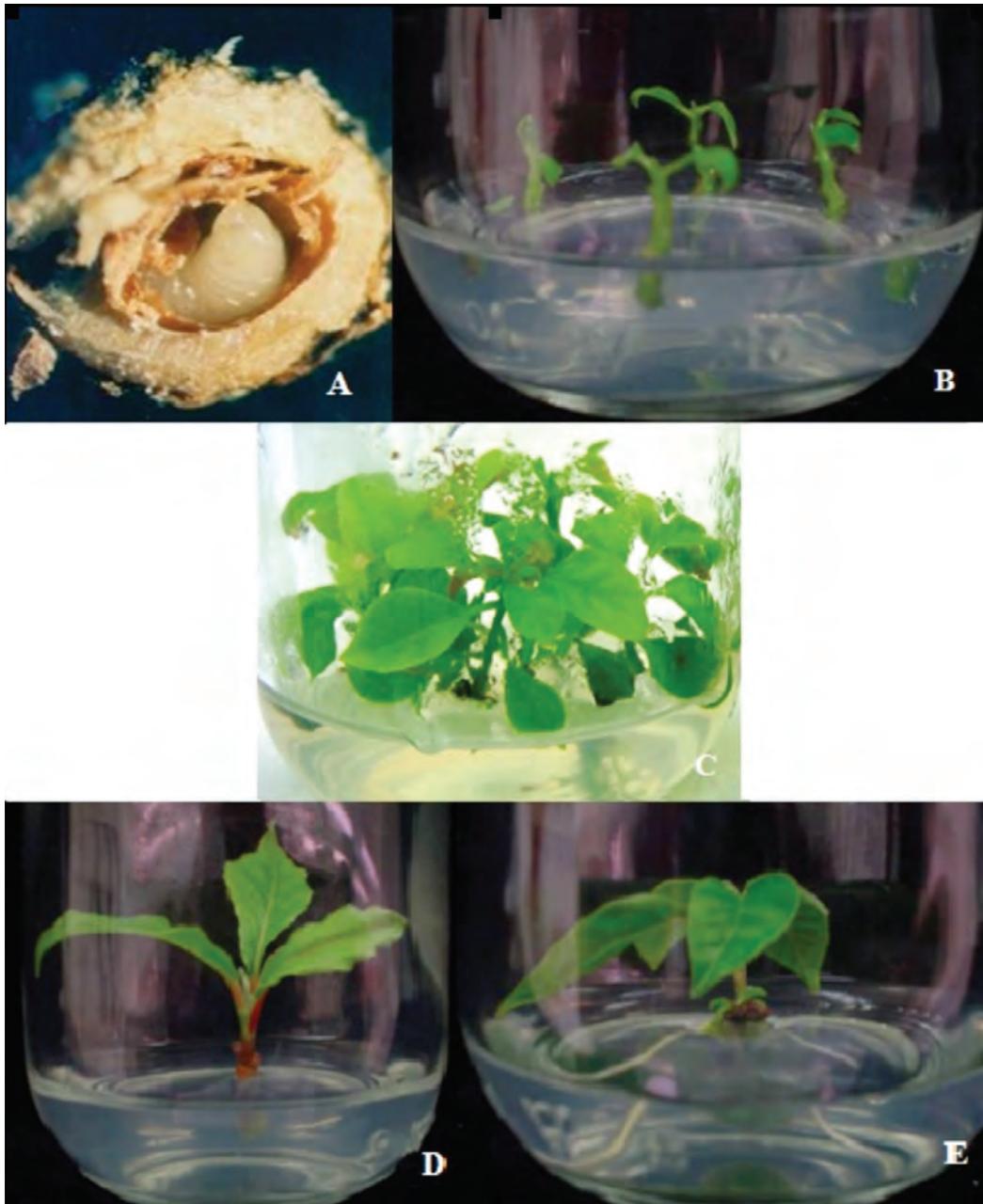


Fig. 1. A) Fruto de pilón (*Hieronyma alchorneoides*) que muestra el daño ocasionado por la larva de la avispa *Eurytoma* sp. B) Microestacas en fase de multiplicación. C) Brotes formados durante la multiplicación D) Brote en el medio de inducción de raíces E) Planta enraizada.

Cuadro 2. Contaminación, mortalidad y brotación in vitro de microestacas de pilón (*Hieronyma alchorneoides*) sometidas a diferentes concentraciones de HgCl₂ y tiempos de inmersión previo al cultivo en medio MS (1962) sin reguladores del crecimiento.*

Tratamiento de desinfección		Contaminación (%)	Mortalidad (%±ES)	Brotación (%)
HgCl ₂ (%)	Tiempo (min)			
0,2	5	75±3,5	0	25±1,7
0,2	7	0	100	0
0,1	5	0	100	0
0,1	7	0	100	0
0,095	5	13±1,0	37±1,4	50±1,0
0,095	7	10±1,0	52±2,0	38±2,0

Cuadro 3. Brotación de yemas de pilón (*Hieronyma alchorneoides*), durante la multiplicación de microestacas con varias concentraciones de zeatina (Z) y benciladenina (BA).

Tratamiento	Brotación (%)	Brotos por explante (Nº. promedio)
Zeatina (mg.l ⁻¹)		
0	90a	2,5a
0,5	85a	2,4a
1	80a	2,6a
BA (mg.l ⁻¹)		
0	85a	2,1a
0,5	62b	2,0a
1	62b	1,5b

Datos seguidos de una misma letra no son significativamente diferentes (Tukey p=0,01).

60%, aunque el número de brotes desarrollados por estaca fue similar a los mostrados en ausencia de BA (Cuadro 3). La longitud de los brotes varió de 7 a 4 cm después de 8 semanas de cultivo. La ventaja del uso de BA con respecto a la zeatina fue que los brotes presentaron mayor conformidad morfológica y no mostraron hiperhidricidad.

La hiperhidricidad es un desorden fisiológico que se da en cultivo in vitro producto de diferentes condiciones de estrés ocasionadas por elevados niveles de humedad, potencial hídrico, concentraciones de reguladores de crecimiento, intensidad lumínica y acumulación de gases en la atmósfera de cultivo. Las plantas presentan brotes

delgados de apariencia vidriosa, quebradiza y deformaciones en el tejido vascular y epidérmico (Deberegh et al. 1981, Ziv 1991, George 1996). Estudios más recientes evidencian que el estrés oxidativo es uno de los principales factores responsables de la hiperhidricidad in vitro (Saher et al. 2004).

Cuando las microestacas fueron cultivadas sin citocininas en el medio MS con 100% de la concentración de sales (Cuadro 4, Figura 1B) se observó 62% de brotación y un número de rebrotos por microestaca de 3,6. Sin embargo, cuando se utilizó el medio MS al 50% de la concentración de sales, el porcentaje de brotación

Cuadro 4. Efecto de la concentración de sales de Murashige y Skoog (MS) en la multiplicación in vitro de microestacas de pilón (*Hieronyma alchorneoides*), después de 8 semanas de cultivo.

Sales minerales (MS)	Brotación (%)	Nº. promedio Brotes por explante
100%	62ab	3,6ab
50%	69a	4,9a

Datos seguidos de una misma letra no son significativamente diferentes (Tukey $p=0,01$).

fue mayor (69%) y el número de rebrotes por estaca aumentó a 4,9. Los resultados observados parecen indicar que con un medio muy simple y en ausencia de citocininas, el pilón es capaz de rebrotar y producir un importante número de brotes de buena calidad por microestaca (Figura 1C). Estos resultados coinciden con lo recomendado para la multiplicación in vitro del cedro colorado (*Toona ciliata*), donde un MS con un 25% de la concentración de sales fue el tratamiento más eficiente en esta etapa (Mroginski et al. 2003). El medio de cultivo MS se caracteriza por ser rico en nutrientes, principalmente en nitrógeno y la favorable respuesta obtenida, aún sin la presencia

de suplementos adicionales, nos indica que el pilón posee una buena respuesta in vitro.

Enraizamiento

Los primeros indicios de formación de raíces en los tallos de pilón se observaron después de 18 días de cultivo y a los 27 días se observó la formación de raíces en todos los tratamientos evaluados (Cuadro 5). Aquellos tallos cultivados en el medio de cultivo MS al 50%, en presencia de AIB, mostraron en la mayoría de los casos, mayores porcentajes de enraizamiento que los cultivados en el medio MS con la concentración de sales completa. Estos tallos alcanzaron hasta

Cuadro 5. Efecto de la concentración de sales del medio de cultivo MS (1962) suplementado con AIB y ANA en el porcentaje de enraizamiento y número promedio de raíces por brote de pilón (*H. alchorneoides*).

AIB (mg.l ⁻¹)	MS 100%		MS 50%	
	Enraizamiento (%)	Nº. promedio raíces.brote ⁻¹	Enraizamiento (%)	Nº. promedio raíces.brote ⁻¹
0,1	73,0a	5,0a	80,0a	5,0a
0,2	53,0 b	3,6b	80,0a	5,0a
0,3	66,0b	3,6b	60,0b	4,6a
0,4	33,0c	1,7c	53,0b	4,7a
ANA (mg.l ⁻¹)				
0,1	26,0bc	1,9bc	80,0a	1,7b
0,2	40,0b	2,5b	66,0b	2,5b
0,3	40,0b	2,8b	26,0c	1,6b
0,4	40,0b	2,2b	33,0c	1,2bc

Datos seguidos de una misma letra no son significativamente diferentes (Tukey $p=0,01$).

un 80% de enraizamiento en presencia de 0,1 y 0,2 mg.l⁻¹ de AIB. Por otra parte, el mayor porcentaje de enraizamiento con ANA se observó cuando los tallos fueron cultivados en el medio MS al 50% con 0,1 mg.l⁻¹. Cuando se incrementaron las concentraciones tanto de AIB como de ANA, se observó una tendencia a disminuir el porcentaje de tallos enraizados y se promovió la formación de grandes masas de callo en la base del tallo, lo que desfavoreció la formación de raíces. Excepto en el medio de cultivo al 100% suplementado con ANA, se observó que el porcentaje de enraizamiento se incrementó en la concentración de 0,2 mg.l⁻¹, pero se mantuvo constante a concentraciones mayores. De la información obtenida se concluye que las mejores condiciones de enraizamiento se lograron con el medio de cultivo MS al 50%, suplementado con 0,1 y 0,2 mg.l⁻¹ de AIB (Figura 1 D-E) Estos tratamientos también permitieron el mayor número de raíces por planta (5,0). El AIB resultó mejor enraizador que el ANA, no solo por el número promedio de raíces por planta y el porcentaje de enraizamiento, sino también por la morfología de las raíces, ya que en algunos tratamientos en presencia de ANA, las raíces formadas fueron muy gruesas y mostraron algunas deformidades en las concentraciones más elevadas de esta auxina. Se ha observado que para muchas especies forestales, los requerimientos nutricionales en la etapa de enraizamiento son inferiores a los de las etapas de brotación y multiplicación, que al disminuir la concentración del medio de cultivo en esta etapa, favorece el enraizamiento (Gamboa y Abdelnour 1999, Gonzáles y Vilca 1998). Estas observaciones concuerdan con los resultados obtenidos en este estudio, ya que se mostró que para el enraizamiento de tallos, *H. alchorneoides* responde mejor a un medio de cultivo MS con la mitad su concentración de sales.

Aclimatación de las plantas

En algunos casos, el uso de la micropropagación para la multiplicación rápida de especies vegetales se ha visto limitado por el alto porcentaje de plantas pérdidas o dañadas durante

la transferencia a condiciones ex vitro, ya sea en invernadero o campo. Las condiciones in vitro (envases herméticamente cerrados, condiciones asépticas, alto suplemento de fuentes de carbono y energía, alta humedad del aire e intensidad lumínica relativamente baja), hacen que las vitroplantas presenten algunas malformaciones morfológicas, anatómicas y fisiológicas y tengan que pasar por un periodo de adaptación gradual a condiciones ex vitro para corregir anomalías, favorecer el desarrollo de las hojas, raíces y reducir la mortalidad ante el cambio de condiciones ambientales (Pospisilova et al. 1999).

En este trabajo, el 70% de los tallos de pilón enraizados in vitro lograron sobrevivir cuando se llevaron al invernadero para su aclimatación. En algunos casos, en la transferencia de plantas desarrolladas in vitro a suelo se obtiene muy poco éxito, porque pueden formarse raíces débiles que no responden bien a las condiciones de campo. Cuando las especies forestales muestran bajos porcentajes de sobrevivencia, principalmente en aquellos casos en que los árboles crecen en suelos poco fértiles o que no son sus suelos de origen, la inoculación de micorrizas al sustrato confiere beneficios a las plantas, éstos forman una asociación mutualista que no solo favorecería la sobrevivencia ex vitro sino también el desarrollo y vigor de las plantas (Puthur et al. 1998). Se menciona que la planta aumenta considerablemente la superficie radicular y su capacidad de absorber agua y nutrientes, por lo que se estimula significativamente el crecimiento y pueden llegar a ser mayores al 30% (Ascón-Bieto y Talón 2008). Por los resultados obtenidos en esta investigación, el proceso de aclimatación podría ser mejorado y la práctica de inoculación con hongos micorrízicos podría ser evaluada en esta especie.

LITERATURA CITADA

- ABDELNOUR A., MUÑOZ A. 2005. Micropropagación de teca (*Tectona grandis*). (en línea) Kurú: Revista Forestal. 2(5):1-11. Consultado 20 octubre de 2005. Disponible en http://www.itcr/publicaciones/revista_kuru/pdf/ABDELNOUR31Ago05.pdf.

- ABDELNOUR A., ROJAS G., ALFARO U. 2007. Estudios preliminares para la crioconservación de especies forestales arbóreas. *Tecnología en marcha*. 20(1):98-103.
- ASCÓN-BIETO J., TALÓN M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2ª. Ed. McGraw-Hill-Interamericana de España. pp. 154-157.
- CARPIO I. 1992. Maderas de Costa Rica, 150 especies forestales. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 338 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1991. Cultivo de tejidos en la agricultura: Fundamentos y Aplicaciones, pp. 26-30. In: W.M. Roca y L.A. Mroginski (eds). Cali, Colombia.
- COSEFORMA 1998. Pilón en la Zona Norte de Costa Rica. MINAE/GTZ/ITCR/CCF. San José, Costa Rica.
- DEBEREGH P.C., HARBAOUI Y., LEMEUR R. 1981. Mass propagation of globe artichoke (*Cynara scolymus*): Evaluation of different hypotheses to overcome vitrification with special reference to water potential. *Physiol Plant* 53:181-187.
- FLORES A. 2001. Establecimiento de las etapas iniciales de la micropropagación de Caoba (*Swietenia macrophylla* King) a partir de microestacas tomadas de plantas de invernadero. Tesis Mag. Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 71 p.
- GAMBOA J.P., ABDELNOUR A. 1999. Micropropagación de melina (*Gmelina arborea* ROXB). *Agronomía Costarricense* 23:69-76.
- GAMBOA K. 1998. Propagación in vitro de *Hyeronima alchorneoides*, especie maderable nativa de Costa Rica. Práctica de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- GEORGE E. 1996. Plant Propagation by Tissue Culture, part 2. In: Practice. Exegetics Ltd, Edington.
- GEORGE E., HALL M.A., DE KLERK G. 2008. Plant Propagation by Tissue Culture. Vol. 1. 3 ed. Springer. pp. 2-3.
- GONZÁLEZ J. 1995. Manual para la flora de Costa Rica. Euphorbiaceae. Instituto Nacional de Biodiversidad. San José, Costa Rica.
- GONZÁLES C., VILCA J. 1998. Micropropagación vegetativa "in vitro" de aliso (*Alnus acuminata*). Red Andina de Semillas Forestales (RADEFOR-COSUDE). Cajamarca, Perú. 41 p.
- LUMMERDING P. 2001. Micropropagation Protocol Development for Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*). En línea. Selection for Commercial Orchard Production. Canada. Disponible en: <<<http://www.agr.gov.sk.ca/afif/Projects/19980162.pdf>>> (15/08/2006).
- MONTEUUIS O., BON M.C., BGOH D.K.S. 1998. Teak propagation by in vitro culture. *Bois et Forêts des Tropiques*. 256:1-11.
- MOYA R., LEANDRO L., MURILLO O. 2009. Wood characteristics of *Terminalia amazonia*, *Vochysia guatemalensis* and *Hyeronima alchorneoides* planted in Costa Rica. *Revista Bosques* 30(2):78-87.
- MROGINSKI E., REY H.Y., MROGINSKI L.A. 2003. In vitro plantlet regeneration from Australian Red Cedar (*Toona ciliata*, Meliaceae). *New Forests* 25:177-184.
- MURASHIGE T., SKOOG F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15:473-497.
- OSTROLUCKA M., GAJDOSOVA A., LIBIAKOVA G., HRUBIKOVA K., BEZO M. 2007. Protocol for micropropagation of selected *Vaccinium* spp., pp. 445-455. In: S.M. Jain, H. Haggman (ed). *Protocols for micropropagation of Woody Trees and Fruits*. Springer.
- POSPISILOVA J., TICHA I., KADLECEK P., HAISEL D. 1999. Acclimatization of micro propagated plants to ex vitro conditions. *BIOLOGIA PLANTARUM* 42:481-497.
- PUTHUR J.T., PRASAD K., SHARMILA P., SARADHI P. 1998. Vesicular arbuscular mycorrhizal improves establishment of micropropagated *Leucaena leucocephala* plantlets. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 53:41-47.
- SAHER S., PIQUERAS A., HELLIN E., OLMOS E. 2004. Hyperhydricity in micropropagated carnation shoots: the role of oxidative stress. *Physiologia plantarum* 120:152-161.
- SOLIS M., MOYA R. 2004. *Hyeronima alchorneoides* en Costa Rica. Fondo Nacional de Financiamiento San José, Costa Rica. Forestal. Ministerio de Energía y Minas. Gobierno de Costa Rica. 106 p.

- TORRES G., LUJÁN R., BARCA S.A. 2002. Especies forestales nativas para la reforestación en las regiones Brunca y Pacífico Central de Costa Rica. In: Taller seminario de especies forestales nativas. Universidad Nacional, INISEFOR. Heredia, Costa Rica. 160 p.
- VALVERDE CERDAS L. 1998. Embriogénesis somática en pilón (*Hyeronima alchorneoides*). In: Resúmenes III Encuentro Latinoamericano de Biotecnología Vegetal. REDBIO/FAO, La Habana, Cuba. (Junio 1-5).
- ZIV M. 1991. Vitrification: morphological and physiological disorders of in vitro shoots, pp. 45–69. In: P.C. Debergh y R.H. Zimmerman (eds) Micropropagation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

EFFECTO DEL VERMICOMPOST Y QUITINA SOBRE EL CONTROL DE *Meloidogyne incognita* EN TOMATE A NIVEL DE INVERNADERO

Leida Castro^{1/*}, Lorena Flores^{**}, Lidieth Uribe^{*}

Palabras clave: *Meloidogyne incognita*, vermicompost, quitina, tomate, supresión de nematodos.

Keywords: *Meloidogyne incognita*, vermicompost, chitin, tomato, nematodes suppression.

Recibido: 13/12/10

Aceptado: 02/06/11

RESUMEN

Meloidogyne incognita es un nematodo endoparásito sedentario, de penetración total y formador de nódulos radicales; tiene una amplia distribución geográfica y causa pérdidas agrícolas importantes. Recientemente se han utilizado abonos orgánicos y compuestos como la quitina en la supresión de plagas y enfermedades de plantas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de vermicompost de estiércol bovino y su enriquecimiento con quitina, sobre la infección de *M. incognita* en plantas de tomate var. Hayslip bajo condiciones de invernadero. Para esto se inocularon las plantas con 5000 unidades de inóculo (huevos+juveniles en segundo estado) por maceta y se compararon con controles que fueron sembrados en suelo sin enmienda orgánica o quitina. La evaluación se llevó a cabo 60 días después y se midió el peso fresco aéreo y radical, peso seco aéreo, población total de nematodos en raíz y suelo, índice de nódulos radicales (INR), índice de masas de huevos (IMH), el factor de reproducción del nematodo (FR) y recuento de grupos funcionales

ABSTRACT

Effect of vermicompost and chitin on the control of *Meloidogyne incognita* in greenhouse tomato. *Meloidogyne incognita* is a sedentary endoparasitic nematode, with total penetration and gall-forming; it has a wide geographical distribution and causes significant agricultural losses. Recently, organic fertilizers and compounds such as chitin have been used in the suppression of plant pests and diseases. The aim of this study was to evaluate the effect of applying cattle manure vermicompost, and its enrichment with chitin, on the infection of *M. incognita* in tomato plants var. Hayslip under greenhouse conditions. For this purpose, plants were inoculated with 5000 units of eggs+second stage juveniles per pot and were compared with controls grown in soil without organic amendment or chitin. The evaluation was carried out 60 days afterwards: the shoot and root fresh weight, shoot dry weight, total population in root and soil nematodes, root knot index (INR), rate of egg masses (IMH), the nematode reproduction factor (FR) and functional-groups

1 Autor para correspondencia: Correo electrónico: leida.castro@ucr.ac.cr

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

** Centro de Investigación en Protección de Cultivos, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

(hongos, bacterias y actinomicetes). La adición al suelo de vermicompost provocó un incremento en las variables peso fresco y seco foliar y peso fresco radical: a mayor porcentaje de vermicompost, mayor incremento; así mismo, la aplicación del vermicompost redujo la cantidad del nematodo en raíz y en suelo. La aplicación de quitina acentuó estos resultados, obteniéndose el menor factor de reproducción de *M. Incognita*, con un valor de 3,76 para la dosis de 50% vermicompost+quitina, mientras que en el testigo este factor fue de 93,20. La aplicación de quitina como enmienda única solo afectó la población de hongos en el suelo, mientras que la de actinomicetes aumentó en los tratamientos enmendados.

numbers (fungi, bacteria and actinomycetes) were measured. The addition of vermicompost to soil caused an increase in the variables of shoot fresh and dry weight and fresh root weight: the higher the percentage of vermicompost, the higher the increase; likewise, the application of vermicompost reduced the number of nematodes both in root and soil. The application of chitin accentuated these results by bringing about the lowest reproduction factor of *M. incognita*, with a value of 3.76 for the dose of vermicompost+50% chitin, whereas in the control this factor had a value of 93.20. The application of chitin as sole amendment affected only the soil fungi population, while the actinomycetes population increased in the amended treatments.

INTRODUCCIÓN

Los nematodos son los organismos multicelulares más numerosos de la tierra; la mayoría son de vida libre, otros son parásitos de plantas y pueden cobrar importancia económica en la producción agrícola, en algunos casos con pérdidas superiores al 80% en zonas con alta infestación (Dong y Zhang 2006, Guereña 2006, Pakeerathan et al. 2009, Raaijmakers et al. 2009).

Meloidogyne es un endoparásito de penetración total y sedentario, formador de nódulos radicales y tiene una amplia distribución geográfica. Se han descrito más de 90 especies, entre ellas, *M. arenaria*, *M. javanica*, *M. hapla* y *M. incognita* relacionadas con importantes pérdidas económicas (De Jin et al. 2005, Rodríguez et al. 2007). *Meloidogyne* sp., es uno de los patógenos más importantes del cultivo del tomate y limita su producción a nivel mundial, con pérdidas estimadas entre 28 a 68% (Pakeerathan et al. 2009).

Durante las últimas décadas el control de los nematodos se ha realizado por medio de nematicidas y fumigantes de suelo como el bromuro de metilo. Sin embargo, estos productos

resultan inefectivos cuando las poblaciones de nematodos son altas, además, pueden llegar a generar resistencia, afectan la salud humana y el medio ambiente, reducen la biodiversidad de los ecosistemas y por su costo, son frecuentemente inaccesibles para pequeños agricultores (Akhtar y Malik 2000, Pakeerathan et al. 2009).

En la actualidad, existe una enorme presión para limitar su uso, ya que cada vez son más los consumidores que demandan alimentos libres de agroquímicos y se generan políticas internacionales para reducir las fuentes de contaminación ambiental (Kerry 1990, Akhtar y Malik 2000, Oka y Yermiyahu 2002, De Jin et al. 2005, Pakeerathan et al. 2009, Oka 2010). El desarrollo de estrategias de control más amigables con el ambiente, como la rotación de cultivos, el barbecho, los cultivares resistentes, el tratamiento térmico, el control biológico y la aplicación de enmiendas orgánicas son alternativas que deben ser consideradas (Barker y Koenning 1998, Abawi y Widmer 2000, Oka y Yermiyahu 2002).

La adición de enmiendas orgánicas tiene el potencial de modificar la estructura del suelo e influir sobre las poblaciones microbianas

(Hoitink y Boehm 1999, Oka 2010, Treonis et al. 2010). Entre las enmiendas más comúnmente utilizadas se encuentran los cultivos de cobertura, la adición de abonos verdes y los abonos orgánicos como el compost y el vermicompost (Treonis et al. 2010).

Los mecanismos involucrados en la supresión de nematodos con el uso de enmiendas orgánicas son: 1. Modificación en las propiedades químicas y físicas del suelo. 2. Liberación de compuestos nematocidas preexistentes en el material original. 3. Generación de compuestos nematocidas durante la degradación de los materiales. 4. Incremento en la tolerancia y resistencia de las plantas. 5. Aumento y/o introducción de microorganismos antagonistas. El efecto supresivo de las enmiendas orgánicas sobre los nematodos se debe posiblemente a la combinación de estos mecanismos (Otope et al. 2004, Treonis et al. 2010, Oka 2010).

Características físicas como la agregación de las partículas de suelo y el tamaño de los poros, se ven afectadas por la adición de abonos orgánicos (Fujimoto et al. 2010, Oka 2010). Otope et al. (2004) encontraron que suelos con poros de tamaño fino y continuos reducen la movilidad de los nematodos. Otros factores que afectan las poblaciones de esos microorganismos son el pH, las concentraciones de CO₂ y oxígeno, la salinidad y el potencial redox (Oka 2010).

La liberación de compuestos volátiles y no volátiles como glucosinolatos, ácidos orgánicos, compuestos nitrogenados (NH₃) y azufrosos a partir de la descomposición de residuos orgánicos, han mostrado propiedades nematocidas (Raviv et al. 2005, Zasada 2005, Cayuela et al. 2008, Meyer et al. 2009). Abawi y Widmer (2000) indicaron que durante la descomposición de los residuos orgánicos se producen sustancias tóxicas volátiles y no volátiles que inhiben los nematodos parásitos de plantas tales como cianuro de hidrógeno, nitrilos e isotiocianatos.

En relación con la tolerancia o resistencia de las plantas a los nematodos fitoparásitos, Oka (2010) cita 2 causas posibles, el desarrollo de poblaciones de microorganismos inductores

específicos y la exposición a compuestos inductores presentes en la enmienda.

Las enmiendas orgánicas pueden introducir microorganismos al suelo o bien aumentar la microflora existente (Hoitink et al. 1997, Treonis et al. 2010), lo que puede afectar negativamente las poblaciones de nematodos ya sea por depredación, parasitismo y competencia por sitios de infección o alimentación sobre la raíz de la planta (Oka 2010, Akhtar 2000).

Sun et al. (2006) estudiaron la microflora asociada a huevos y hembras de *Meloidogyne* spp., y encontraron que los hongos predominantes fueron *Paecilomyces lilacinus*, *Fusarium* spp., *Pochonia chlamydsoporia*, *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Acremonium* spp., además de actinomicetes. En ensayos de invernadero, algunos de ellos redujeron el índice de agallamiento hasta en un 60%. Jonathan et al. (2000) estudiaron en tomate y banano el efecto sobre *M. incognita* de las bacterias *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *B. sphaericus*, *Agrobacterium radiobacter*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. chlororaphis*, *Burkholderia cepacia*, *Pasteuria penetrans*, y actinomicetes, todas favorecieron el crecimiento de ambos cultivos y en tomate suprimieron el desarrollo de agallas en las raíces.

Dos tipos de insumos orgánicos que han demostrado potencial en el control de nematodos son los abonos orgánicos y la quitina (Cohen 2001, Oka y Yermiyahu 2002, Merzendorfer y Zimoch 2003, Arancon et al. 2004, De Jin et al. 2005, Gortari y Hours 2008, Oka 2010). Marull et al. 1997 determinaron un número menor de individuos de *Meloidogyne javanica* en raíces de chile y tomate cultivados en suelos enmendados con compost elaborado con base en residuos municipales. McSorley y Gallaher (1995) encontraron que el uso de compost con base en residuos vegetales aplicados al suelo, redujo las poblaciones de *Paratrichodorus minor*, *Criconemella* spp., y *Pratylenchus* spp., e incrementó la producción de maíz. En tomate Oka y Yermiyahu (2002) encontraron que la adición de compost a base de estiércol bovino, en dosis de 10 o 25% (v/v), suprimió la presencia de agallas de *M. javanica*.

Serfoji et al. 2010 indican que la utilización de vermicompost aumentó la producción de tomate, ya que mejoró el contenido de nutrientes en el suelo y la asimilación de los mismos por las plantas, además observaron una reducción en las poblaciones de *Meloidogyne incognita*. Artavia et al. (2010), Noble y Coventry (2005) y Arancon et al. (2004) informan que la aplicación de vermicompost logró suprimir enfermedades causadas por *Phytophthora*, *Fusarium*, *Plasmodiophora*, *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Verticillium*.

Arancon et al. (2004) encontraron que suelos de parcelas tratadas con vermicompost presentaron menos poblaciones de fitonematodos que los tratados con fertilizantes inorgánicos; además las poblaciones de nematodos fungívoros y bacteriófagos fueron mayores en las parcelas tratadas con vermicompost.

Por otro lado la quitina, debido a sus propiedades físico-químicas y biológicas, genera gran interés en el área agrícola (Tharanathan y Kittur 2003, Gortari y Hours 2008), este compuesto es un biopolímero aminado y componente estructural que contribuye a la resistencia mecánica de los organismos que la contienen, después de la celulosa es el polisacárido más abundante en la naturaleza y el principal componente del exoesqueleto de insectos y crustáceos, además forma parte de las paredes celulares de los hongos, algas, y de la estructura básica de los huevos de los nematodos (Cohen 2001, Oka y Yermiyahu 2002, Merzendorfer y Zimoch 2003, De Jin et al. 2005, Gortari y Hours 2008). Debido a que no se encuentra presente en plantas y vertebrados, se puede utilizar de manera segura en el control de plagas y enfermedades (Cohen 2001). La adición de quitina al suelo provoca un resultado adverso sobre las poblaciones de nematodos (Oka y Yermiyahu 2002, De Jin et al. 2005), posiblemente como consecuencia de la producción de compuestos nitrogenados tóxicos como el amoníaco y el ácido nítrico (Oka 2010), y a su capacidad para incrementar la actividad de microorganismos quitinolíticos capaces de degradar la quitina presente en los huevos (Shubakov y Kucheryavykh 2004, De Jin et al. 2005, Nguyen

et al. 2007, Gortari y Hours 2008). Los hongos *Humicola*, *Gliocladium*, *Phoma*, *Fusarium*, *Chaetomium*, *Cylindrocladium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Sporotrichum*, *Beauveria*, y *Mucor*, y bacterias como *Serratia*, *Pseudomonas* y *Burkholderia* se citan como microorganismos quitinolíticos (Shubakov y Kucheryavykh 2004, De Jin et al. 2005, Gortari y Hours 2008, Rodríguez-Kabana 1991).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de un vermicompost y su enriquecimiento con quitina sobre la infección de *Meloidogyne incognita* en tomate bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en los invernaderos del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) y en el Laboratorio de Nematología del Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos (CIPROC) de la Universidad de Costa Rica, durante marzo-agosto del 2009.

Incremento de la población de nematodos: Macetas plásticas con 2000 cm³ de suelo tratado previamente con vapor por 24 h, se utilizaron para sembrar plantas de *Solanum lycopersicum* var., Hyslip. En cada maceta se sembró una planta de tomate y se adicionó una suspensión de huevos y juveniles en segundo estado de *Meloidogyne incognita*, las plantas inoculadas se mantuvieron en crecimiento por 75 días en invernadero.

Material vegetal para el ensayo: Semillas de tomate var., Hyslip fueron puestas a germinar en bandejas con suelo previamente tratado con calor. Tres semanas después, las plantas estaban listas para ser trasplantadas a macetas plásticas de 2000 cm³ de capacidad con su respectivo tratamiento.

Preparación del suelo y enmiendas orgánicas: El suelo provino de Chachagua de San Carlos (Cuadro 1), se trató con vapor a 96°C por 24 h. El vermicompost se obtuvo a base de

Cuadro 1. Análisis químico del suelo.

pH		cmol(+).l ⁻¹			%		Mg.l ⁻¹					%
H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	MO
6,5	0,15	4,53	0,89	0,01	5,58	3	ND	1,6	8	54	14	1,9

estércol bovino procedente del módulo lechero de la Sede del Atlántico de la Universidad de Costa Rica. La quitina utilizada (C₈H₁₃NO₅)_n fue de Sigma-Aldrich (Shirm Shell, practical grade). Se realizó una mezcla de vermicompost (sin tratamiento térmico) y suelo en proporción 25:75% y 50:50% respectivamente, además se preparó una mezcla de suelo con 0,4% (p/p) de quitina y las mezclas suelo/vermicompost con quitina en la misma proporción, para llenar las macetas plásticas de 2000 cm³ de capacidad. Tres días después de la preparación de las mezclas, una planta de tomate de 3 semanas fue trasplantada a cada maceta.

Extracción de inóculo de *Meloidogyne incognita*: De las plantas de tomate inoculadas se extrajo el sistema radical, se lavó y se procedió a seleccionar las masas de huevos con la ayuda de equipo de disección y un estereoscopio marca Bausch & Lomb a 45X. Las masas de huevos fueron colocadas en un beaker con agua destilada y un inyector de burbujas de aire por 24 h. Los huevos y juveniles en segundo estado recién eclosionados fueron recuperados con la ayuda de 2 cribas de 0,150 y 0,025 mm (N° 100 y 500 mesh). El contenido de la criba de 0,025 mm se recolectó en un beaker, se aforó hasta 500 ml y se homogenizó para tomar 10 alícuotas de 5 ml cada una y cuantificar la población.

Inoculación de plantas: Siete días después del trasplante, se realizó la inoculación de *M. incognita* (Figura 1), alrededor de cada planta y aproximadamente a 1 cm del tallo se agregaron 5000 unidades de inóculo (huevos+juveniles en segundo estado). Las plantas mantuvieron su crecimiento en condiciones de capacidad de campo,

en el invernadero del CIA por 60 días después de la inoculación, no se aplicó fertilización química.

Diseño experimental: Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con 6 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos fueron:

1. 100% Suelo+*M. incognita* (0%V).
2. 75% Suelo+25% (v/v) de vermicompost+*M. incognita* (25%V).
3. 50% Suelo+50% (v/v) de vermicompost+*M. incognita* (50%V).
4. 100% Suelo+0,4% (p/p) de quitina+*M. incognita* (0%V+Q).
5. 75% Suelo+25% (v/v) de vermicompost+0,4% (p/p) de quitina+*M. incognita* (25%V+Q).
6. 50% Suelo+50% (v/v) de vermicompost+0,4% (p/p) de quitina+*M. incognita* (50%V+Q).

Variables evaluadas: Las plantas fueron evaluadas a los 60 días después de la inoculación con *M. incognita*. Cada planta fue cortada en la base, para obtener el peso fresco aéreo y el peso seco aéreo (60°C hasta peso constante). En cada repetición previamente identificada, se recuperó el sistema radical y el suelo, para determinar la población final de *M. incognita*. El contenido de la maceta de 2000 cm³ se introdujo en una bolsa plástica, se homogenizó por agitación, se extrajo una muestra de 100 cm³ y se procesó por el método de centrifugación con solución azucarada. El sistema radical fue lavado para obtener el peso fresco, el Índice de Nódulos Radicales (INR) (escala 1=0, 2=1 a 25, 3=26 a 50, 4=51 a 75 y 5=76 a 100% del sistema radical agallado) y se realizó una tinción con Floxina-B para determinar el



Fig. 1. Inoculación del nematodo. A. Sistema radical de tomate donde se incrementó el inóculo de *Meloidogyne incognita* para la investigación (edad 75 días). B. Suspensión de nematodos (huevos+J2) utilizada en la investigación. C. Plantas de tomate var. Hyslip, 7 días después del trasplante, preparadas para la aplicación de los nematodos.

Índice de Masas de Huevos (IMH) (escala 0=0, 1=1 a 2, 2=3 a 10, 4=31 a 100 y 5=más de 100 masas de huevos). Posteriormente cada sistema radical se cortó en trozos de aproximadamente 1 cm y se procesó con hipoclorito de sodio al 1% para obtener la población (huevos y juveniles en segundo estado) por medio de cribas de 0,150 y 0,025 mm (N° 100 y 500 mesh). Se obtuvo además el Factor de Reproducción (FR=Población final /Población inicial) de *M. incognita*.

Los conteos de hongos, bacterias, actinomicetes se realizaron por medio de recuentos en platos, para ello se hicieron en cámara de transferencia, diluciones seriadas (1/10) del suelo hasta la dilución 1×10^8 , a partir de las diferentes

diluciones se transfirieron por duplicado alícuotas de 100 ul de cada dilución a platos de albuminato de sodio para el recuento de bacterias y actinomicetes y de Martin para el recuento de hongos (Wollum 1982, Lorch et al. 1995). La evaluación de los platos y conteo de las unidades formadoras de colonias se realizó 5 días después.

Análisis estadístico: Los datos se analizaron por medio del análisis de varianza, como separador de medias, se utilizó la prueba LSD Fisher ($p=0,05$). En el caso de los grupos funcionales los datos fueron transformados con el \log_{10} . Se evaluó la normalidad con la prueba de Shaphiro Wilks.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La adición de vermicompost al suelo y en combinación con quitina provocó un incremento en las variables de crecimiento de la planta (Cuadro 2). El peso fresco foliar se incrementó 20 veces cuando se adicionó vermicompost al 25% y 35 veces con la dosis de 50%, ambos con respecto al tratamiento con solo suelo (0%V), lo que indica que el abono brinda un aporte significativo en la producción de biomasa del cultivo, al respecto Zaller (2007) encontró que la adición de vermicompost llenó los requerimientos nutricionales de plántulas de tomate en vivero. Al aplicar quitina junto con el vermicompost, el peso fresco se incrementó 30 y 40 veces cuando se utilizó vermicompost al 25% y a 50% respectivamente (Cuadro 2). La quitina, material rico en nitrógeno, podría favorecer por medio de la activación de la biomasa microbiana, la producción de sustancias promotoras de crecimiento o la liberación de nutrientes propios o presentes en el abono y contribuir así al crecimiento de la planta. Las dosis vermicompost 25% (25%V), vermicompost 25%+quitina (25%V+Q), vermicompost 50%(50%V) y vermicompost 50%+quitina (50%V+Q) incrementaron significativamente el peso seco foliar con respecto a los tratamientos 0%V y solo suelo+quitina (0%V+Q). Los resultados referentes al peso fresco de raíz demuestran un incremento significativo con la aplicación del

vermicompost con respecto al tratamiento 0%V, así, al 25%V, se observó un aumento en el peso fresco de raíz de 7 veces, mientras que para la dosis de 50%V el incremento fue de 10 veces. En este sentido, Zaller 2007 observó en plantas de tomate, un aumento en el crecimiento radical de la planta al adicionar vermicompost. El mismo comportamiento se observó al colocar la quitina junto con el vermicompost, el peso fresco radical fue significativamente mayor, en la dosis de 25% V+Q y en la de 50% V+Q (10 y 15 veces mayor respectivamente en comparación con 0%V).

Cuando se aplicó vermicompost al 25 y al 50% y en mezcla con quitina, la densidad poblacional de *Meloidogyne incognita* en el sistema radical disminuyó de manera significativa respecto al tratamiento 0%V, el mismo efecto se presentó en el suelo (Cuadro 3). Al respecto, Khalilian et al. (2002) encontraron que la adición de compost a base de desechos municipales disminuyó la densidad de *Hoplolaimus columbus* durante los 4 años de estudio, las parcelas tratadas presentaron densidades comparables a las encontradas cuando se utilizó Aldicarb 15G. Serfoji et al. (2010) informaron de una reducción en el número de masas de huevos, en el número de agallas y en el factor de reproducción de *Meloidogyne incognita* en tomate, luego de aplicar vermicompost junto con *Glomus aggregatum* y *Bacillus coagulans*. Khalilian et al. (2002) atribuyen la disminución de la población de nematodos a un aumento en

Cuadro 2. Efecto de vermicompost y la adición de quitina sobre variables de crecimiento.

Tratamiento	Peso fresco foliar (g)	Peso seco foliar (g)	Peso fresco radical (g)
Suelo	11,08a	1,40a	6,11a
25% VE	216,86b	42,43b	44,43b
50% VE	391,10cd	53,05b	63,93c
Suelo+Q*	11,10a	1,27a	4,43a
25% VE+Q	330,78c	53,15b	61,78c
50% VE+Q	447,62d	59,33b	94,10d

Cada valor tiene un promedio de 4 repeticiones. Valores seguidos por la misma letra en una misma columna no difieren significativamente cuando el promedio fue separado por diferencia mínima significativa ($p \leq 0,05$).

Cuadro 3. Efecto del vermicompost y la quitina sobre la infección de *M. incognita* en plantas de tomate 2 meses después de la inoculación.^v

Tratamiento	<i>Meloidogyne I</i> sistema radical	<i>Meloidogyne</i> en suelo ^w	FR ^x	INR ^y	IMH ^z
Suelo (0%V)	408 875d	57 100c	93,20c	5,00b	5,00c
25% V	176 212bc	18 400b	38,92b	2,75a	2,80a
50% V	52 538ab	2900a	11,09ab	2,75a	2,80a
Suelo+Q	288 938cd	53 900c	68,57c	5,00b	4,80bc
25% V+Q	88 575ab	2100a	18,14ab	2,50a	3,80ab
50% V+Q	15 488a	3300a	3,76a	2,00a	3,00a

v Cada valor tiene un promedio de 4 repeticiones. Valores seguidos por la misma letra en una misma columna no difieren significativamente cuando el promedio fue separado por diferencia mínima significativa ($p \leq 0,05$).

w Cada maceta contenía 2000 cm³ de suelo, vermicompost o quitina solo o en mezcla.

x Factor de Reproducción; FR=Población Final/5000 unidades de inóculo.

y Índice de nódulos radicales.

z Índice de masas de huevos.

la actividad microbiana producto de la adición de abono orgánico. Chen et al. (2000) reportaron una reducción en la severidad del agallamiento de las raíces de lechuga y menor producción de huevos de *M. hapla* con el uso de compost; además Oka y Yermiyahu (2002) mostraron que la aplicación de compost elaborado a partir de estiércol bovino en dosis de 10 y 25% (v/v) inhibió la producción de agallas de *M. javanica* en las raíces de tomate, los extractos acuosos del compost presentaron una alta actividad nematocida especialmente sobre los juveniles, los autores relacionaron este efecto supresivo con altas concentraciones de N, especialmente N-NH₃, y una alta conductividad eléctrica de la enmienda.

La aplicación de quitina en mezcla con 50% de vermicompost, mostró una reducción significativa en el número de *M. incognita* en el sistema radical (15 488 nematodos) con respecto a 0%V y al tratamiento Suelo+Q (408 875 y 288 938 nematodos.sistema radical⁻¹ respectivamente) (Cuadro 3).

Con respecto a *M. incognita* en suelo, se observó una disminución significativa en esa variable al aumentar la dosis de vermicompost (18 400 nematodos para 25%V y 2900 nematodos para 50%V) en relación con el tratamiento 0%V (57 100 nematodos.2000 cm⁻³ de suelo). La

adición de quitina a la mezcla con vermicompost al 50% logró reducir drásticamente la población de nematodos en el suelo si se compara con el tratamiento 0%V (3300 y 57 100 nematodos respectivamente) (Cuadro 3).

El factor de reproducción (FR) de *M. incognita* se redujo cuando se aplicaron los tratamientos 25%V, 50%V, 25%V+Q y 50%V+Q (Cuadro 3). El mayor efecto sobre el FR se logró con la adición de 50%V+Q (3,76), comparado con un FR de 93,2 en el tratamiento control (0%V).

En los tratamientos 0%V y 0%V+Q, se obtuvieron los mayores valores del INR (5 en ambos tratamientos) y del IMH (5 y 4,8 respectivamente), mientras que con la aplicación de vermicompost solo o en mezcla con quitina se presentaron valores entre 2,0 y 3,8 para la variable IMH. De Jin et al. (2005) indicaron que la aplicación de compost con quitina redujo de manera significativa el desarrollo de las agallas en las raíces de plantas de tomate en un 64% respecto al control. Los autores indican que la actividad quitinolítica derivada de adicionar al suelo el compost con quitina puede ser un factor relevante en la reducción de la infección por nematodos, datos que concuerdan con lo obtenido en esta investigación donde el enriquecimiento de

vermicompost con quitina logró la mayor reducción de las poblaciones de *M. incognita*.

La aplicación de quitina al suelo como enmienda única provocó cambios significativos sobre la población de hongos, ya que aumentó el número de propágulos (Figura 2). Los hongos han mostrado gran potencial en el control de nematodos, según algunos autores debido a la generación de enzimas extracelulares en las que se incluyen las quitinasas (Akhtar y Malik 2000, Kerry 1990, Sun et al. 2006, Nguyen et al. 2007). Halmman et al. (1999) encontró que la adición de quitina en el suelo al 1% (p/p) causó la supresión de *M. incognita*, en plantas de algodón y relacionó esta supresión con el aumento de las poblaciones de hongos. La adición de vermicompost con y sin quitina no causó cambios significativos en el número de propágulos de hongos con respecto al tratamiento 0%V. Por otro lado, al incrementarse la dosis de vermicompost al 50% se observa una tendencia a una menor población de bacterias (Cuadro 3), que resulta significativa en el caso del tratamiento 50%VQ. La población de actinomicetos se vio incrementada tanto por la adición de vermicompost como por la adición de quitina (Figura 2). Los actinomicetos son uno de los

grupos de bacterias más abundantes (90%), muestran una alta actividad biodegradativa al secretar un amplio rango de enzimas que les permiten metabolizar sustancias complejas estables (Cardona et al. 2009).

Powlsen et al. (2008) informaron que la adición de quitina al compost provoca cambios en la composición de la comunidad microbiana y Halmman et al. (1999) indican que la supresión de los nematodos parásitos de las plantas debido a la adición de quitina no sólo está asociada con cambios microbianos en el suelo y rizosfera, sino también con cambios en la comunidad de bacterias dentro del tejido. Los mismos autores indican que es posible utilizar abonos orgánicos enmendados con productos como la quitina como una herramienta para el manejo de nematodos patógenos de plantas.

El vermicompost bajo las condiciones evaluadas tuvo un efecto significativo en la reducción de las poblaciones de *M. incognita* en tomate, se encontró además que el efecto se puede acentuar mediante quitina en mezcla con el vermicompost. Es necesario en próximas investigaciones evaluar el efecto del enriquecimiento con residuos que contienen quitina, como

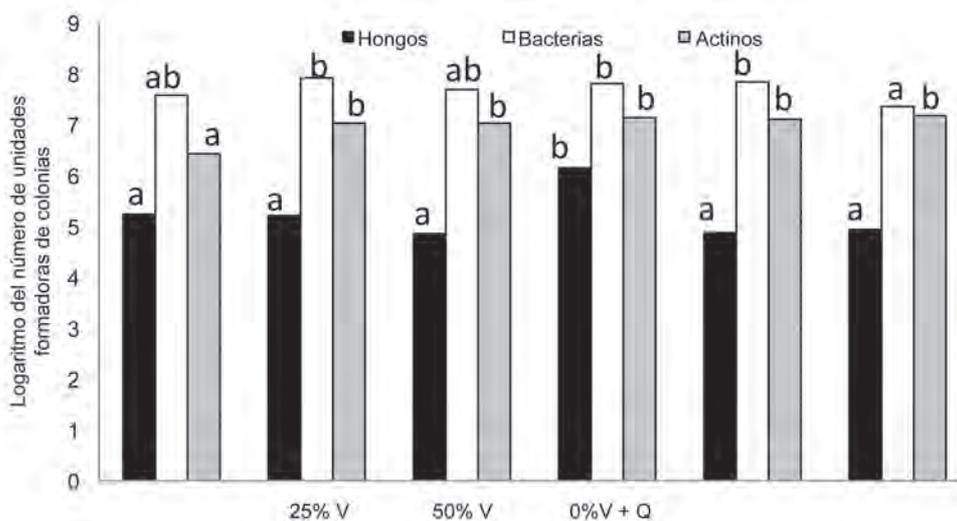


Fig. 2. Efecto de vermicompost y la adición de quitina sobre la población de hongos del suelo.

los desechos de camarón u otro crustáceo, en la producción de compost o vermicompost, como una alternativa para el control de *Meloidogyne incognita* y aunado a ello, una vía para reducir los problemas de contaminación asociados a estos residuos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada con financiamiento de los proyectos VI-733-A8-089 y VI-733-A1-821 de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

LITERATURA CITADA

- ABAWI G.S., WIDMER T.L. 2000. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology*. 15:37–47.
- AKHTAR M., MALIK A. 2000. Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technology* 74:35-47.
- ARANCON N., GALVIS P., EDWARDS C., YARDIM E. 2004. The trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicompost. *Pedobiología*. 47(5):736-740.
- ARTAVIA S., URIBE L., SABORÍO F., ARAUZ L.F., CASTRO L. 2010. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la supresión de *Pythium myriotylum* en plantas de tiquizque (*Xanthosoma sagittifolium*). *Agronomía Costarricense* 34(1):17-29.
- BARKER K., KOENNING S. 1998. Developing Sustainable Systems for Nematode Management. *Annual Review Phytopathology*. 36:165–205.
- CARDONA G., PEÑA-VENEGAS C., RUIZ-GARCÍA M. 2009. Comunidades de hongos actinomicetos en tres tipos de vegetación de la Amazonia colombiana: abundancia, morfotipos y el gen 16s ADNr. *Revista Biología Tropical*. 57(4):1119-1139.
- CAYUELA M., MILLNER P., MEYER S., ROIGA A. 2008. Potential of olive mill waste and compost as biobased pesticides against weeds, fungi, and nematodes. *Science of the total environment*. 399:11-18.
- CHEN J., ABAWI G., ZUCKERMAN B. 2000. Efficacy of *Bacillus thuringiensis*, *Paecilomyces marquandii*, and *Streptomyces costaricanus* with and without Organic Amendments against *Meloidogyne hapla* Infecting Lettuce. *Journal of Nematology*. 32(1):70–77.
- COHEN E. 2001. Chitin synthesis and inhibition: a revisit. *Pest Management Science*. 57:946–950.
- De JIN R., SUH J., PARK R., KIM Y. 2005. Effect of chitin compost and broth on biological control of *Meloidogyne incognita* on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Nematology*. Vol. 7(1):125-132.
- DONG L., ZHANG Q. 2006. Microbial control of plant-parasitic nematodes: a five-party interaction. *Plant Soil*. 288:31–45.
- FUJIMOTO T., HASEGAWA S., OTOBE K., MIZUKUBO T. 2010. The effect of soil water flow and soil properties on the motility of second-stage juveniles of the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Soil Biology & Biochemistry* 42:1065-1072.
- GORTARI M., HOURS R. 2008. Fungal chitinases and their biological role in the antagonism onto nematode eggs. A review *Mycology Progress*. 7:221–238.
- GUERENA M. 2006. Nematodes: Alternative Controls. A Publication of ATTRA-National Sustainable Agriculture. 18 pp.
- HALLMANN J., RODRÍGUEZ-KÁBANA R., KLOEPPER J. 1999. Chitin-mediated changes in bacterial communities of the soil, rhizosphere and within roots of cotton in relation to nematode control. *Soil Biology and Biochemistry*. 31(4):551-560.
- HOITINK H.A.J., STONE A.G., HAN D.Y. 1997. Supresión de enfermedades mediante compost. *Agronomía Costarricense*. 21(1):25-33.
- HOITINK H.A.J., BOEHM M.J. 1999. Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon. *Annual Review Phytopathology*. 37:427–446.
- JONATHAN E., BARKER K., ABDEL-ALIM F., VRAIN T., DICKSON D. 2000. Biological control of *Meloidogyne incognita* on tomato and banana with rhizobacteria, actinomycetes, and *Pasteuria penetrans*. *Nematropica* 30(2):231-240.
- KHALILIAN A., SULLIVAN M., MUELLER J., SHIRALIPOUR A., WOLAK F., WILLIAMSON R., LIPPERT R. 2002. Effects of surface

- application of MSW compost on cotton production-soil properties, plant responses and nematode management. *Compost Science & Utilization*. 10(3):270-279.
- KERRY B. 1990. An Assessment of Progress toward Microbial Control of Plant-parasitic Nematodes. Supplement to *Journal of Nematology*. 22(4):621-631.
- LORCH H.J., BENCKIESER G., OTTOW J.C.G. 1995. Basic methods for counting microorganisms in soil and water, pp. 146-191. In: K. Alef y P. Nannipieri (eds). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press.
- MARULL J., PINOCHET J., RODRÍGUEZ-KABANA R. 1997. Agricultural and municipal compost residues for control of root-knot nematodes in tomato and pepper. *Compost Science Utilization*. 5:6-15.
- MCSORLEY R., GALLAHER R.N. 1995. Effect of yard waste compost on plant parasitic nematode densities in vegetable crops. *Journal Nematology*. 27:545-549.
- MERZENDORFER H., ZIMMICH L. 2003. Chitin metabolism in insects: structure, function and regulation of chitin synthases and chitinases. *Journal of Experimental Biology*. 206:4393-4412.
- MEYER S., RICE C., ZASADA I. 2009. DIBOA: Fate in soil and effects on root-knot nematode egg numbers. *Soil Biology & Biochemistry*. 41:1555-1560.
- NGUYEN A., KIMA Y., OHA K., JUNGA W., PARKA R. 2007. The role of chitinase from *Lecanicillium antillanum* B-3 in parasitism to root-knot nematode *Meloidogyne incognita* eggs. *Biocontrol Science and Technology*. 10:1047-1058.
- NOBLE R., COVENTRY E. 2005. Suppression of soil-borne plant diseases with composts: A review. *Biocontrol Science and Technology*. 15:3-20.
- OKA Y. 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments. A review. *Applied Soil Ecology* 44:101-115.
- OKA Y., YERMIYAHU U. 2002. Suppressive effects of composts against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* on tomato. *Nematology* 4(8):891-898.
- OTOBE K., ITOU K., MIZUKUBO T. 2004. Micro-moulded substrates for the analysis of structure-dependent behaviour of nematodes. *Nematology*. 6:73-77.
- PAKEERATHAM K., MIKUNTHAN G., THARSHANI N. 2009. Effect of different animal manures on *Meloidogyne incognita* (Kafoid and White) on tomato. *World Journal of Agricultural Sciences*. 5(4):432-435.
- POULSEN P., MØLLER J., MAGID L. 2008. Determination of a relationship between chitinase activity and microbial diversity in chitin amended compost. *Bioresource Technology*. 99:4355-4359.
- RAAIJMAKERS J., PAULITZ T., STEINBERG C., ALABOUVETTE C., MOËNNE-LOCCOZ Y. 2009. The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. *Plant Soil*. 321:341-361.
- RAVIV M., OKA Y., KATAN J., HADAR Y., YOGEV A., MEDINA S., KRASNOVOSKY A., ZIADNA H. 2005. High nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops. *Bioresource Technology*. 96:419-427.
- RODRÍGUEZ M., GÓMEZ L.Y., PETEIRA B. 2007. *Meloidogyne mayaguensis* (Rammah y Hirschmann), plaga emergente para la agricultura tropical y subtropical. *Revista de Protección Vegetal*. 22(3):183-198.
- RODRÍGUEZ-KABANA R. 1991. Control biológico de nematodos parásitos de plantas. *Nematopica* 21(1):111-122.
- SERFOJI P., RAJESHKUMAR S., SELVARAJ T. 2010. Management of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato cv. Pusa Ruby by using vermicompost, AM fungus, *Glomus aggregatum* and mycorrhiza helper bacterium, *Bacillus coagulans*. *Journal of Agricultural Technology*. 6(1):37-45.
- SHUBAKOV A., KUCHERYAVYKH P. 2004. Chitinolytic Activity of Filamentous Fungi. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 40(5):445-447.
- SUN M., GAO L., SHI Y., LI B., LIU X. 2006. Fungi and actinomycetes associated with *Meloidogyne* spp., eggs and females in China and their biocontrol potential. *Journal of Invertebrate Pathology*. 93(1):22-28.
- TERMORSHUIZEN A.J., VAN RIJN E., VAN DER GAAG D.J., ALABOUVETTE C., CHEN Y., LAGERLÖF J., MALANDRAKIS A.A., PAPLOMATAS E.J., RÄMERT B., RYCKEBOER J., STEINBERG C., ZMORA-NAHUM S. 2006. Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in

pathogen response. *Soil Biology and Biochemistry*. 38:2461-2477.

THARANATHAN R., KITTUR F. 2003. Chitin: the undisputed biomolecule of great potential. *Critical Review in Food Science*. 43(1):61-87.

TREONIS A., AUSTIN E., BUYER J., MAUL J., SPICER L., ZASADA I. 2010. Effects of organic amendment and tillage on soil microorganisms and microfauna. *Applied Soil Ecology*. 46(1):103-110.

WOLLUM A.G. 1982. Cultural methods for soil microorganisms, pp. 781-802. In: A.L. Page, R.H.

Miller y K.R. Keeney (eds). *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties. ASA y SSSA.

ZALLER J.G. 2007. Vermicompost in seedling potting media can affect germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*. 112:191-199.

ZASADA S., MEYER J., HALBRENDT M., RICE C. 2005. Activity of Hydroxamic Acids from *Secale cereale* Against the Plant-Parasitic Nematodes *Meloidogyne incognita* and *Xiphinema americanum*. *Phytopathology*. 95 (10):1116-1121.

CARACTERIZACIÓN DEL DESARROLLO Y ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS DEL HÍBRIDO DE MAÍZ HC-57

Róger Fallas^{1/*}, Floria Bertsch*, Carlos Echandi**, Carlos Henríquez*

Palabras clave: *Zea mays*, curvas de absorción, macronutrientes, micronutrientes, fenología, grados día.
Keywords: *Zea mays*, nutrient absorption curves, macronutrients, micronutrients, phenology, heat units.

Recibido: 21/09/10

Aceptado: 26/07/11

RESUMEN

En la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica se realizó un ensayo con el objetivo de determinar la absorción de nutrientes por parte del híbrido comercial de maíz HC-57. Se sembraron un total de 120 plantas, a las que se les dio buen manejo hídrico y nutricional. Se realizaron muestreos aproximadamente cada 15 días y se colectaron un total de 9 plantas por época de muestreo. A dichas plantas se les estimó la altura, se les cuantificó el número de hojas y fueron divididas en secciones (raíz, follaje y mazorca). Se secaron en estufa a 80°C y se estimó el peso seco. Posteriormente se determinó la concentración de nutrientes en el Laboratorio de Suelos y Folias del Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica y se obtuvieron las curvas de absorción de nutrientes para macro y microelementos. Para un rendimiento de 50 000 mazorcas.ha⁻¹, con un peso seco de 141,5 g por mazorca, se presentó una absorción máxima total por hectárea de 111 kg de N, 43 kg de P₂O₅, 168 kg de K₂O, 26 kg de CaO, 28 kg de MgO, 10 kg de S, 3200 g de Fe, 100 g de Cu, 400 g de Zn, 300 g de Mn y 100 g de B. Además, se realizó una caracterización del ciclo de desarrollo del híbrido, relacionada con las condiciones climáticas

ABSTRACT

Nutrient absorption and phenology development of the Costa Rican corn hybrid HC-57. The aim of the study was to investigate the total nutrient absorption in the corn hybrid HC-57. The experiment was carried out at the Agricultural Experimental Station Fabio Baudrit Moreno of the University of Costa Rica, in Alajuela Costa Rica. A plot with 120 plants under optimal growth conditions was used. Plants were sampled every 15 days using 9 units per sampling. The entire plant was collected and the height and number of leaves determined. Then the plants were divided into roots, foliage and cobs, dried at 80°C, weighed and analyzed at the Laboratory of the Agronomic Research Center of the University of Costa Rica. For macro and micronutrients, uptake curves were obtained. For a yield estimate of 50 000 cobs.ha⁻¹, with a dry weight of 141,5 g per cob, the maximum nutrient absorption per hectare was 111 kg of N, 43 kg P₂O₅, 168 kg K₂O, 26 kg CaO, 28 kg MgO, 10 kg S, 3200 g Fe, 100 g Cu, 400 g Zn, 300 g Mn and 100 g B. It was found that the Corn hybrid HC-57 required approximately 1500 growing degree days to complete its development cycle and 1254 growing degree days to reach the R3 phenological stage, at which it is harvested as sweet corn. The

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: rafallasc@gmail.com

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

** Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica.

que permitió asociar la información de absorción con los grados día temperatura, estimados por el método residual modificado descrito por Yzarra et al. (2009), con el propósito de generar una predicción del comportamiento del ciclo y la absorción de nutrimentos de este híbrido en otras localidades. El híbrido HC-57 requirió un aproximado de 1500 grados día temperatura para completar su ciclo de desarrollo y 1254 grados día temperatura para alcanzar la etapa fenológica R3, en la cual se realiza la cosecha para elote.

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos de mayor importancia en el mundo que junto con el arroz y el trigo se posiciona como uno de los principales cereales (APS 1984). En Costa Rica el híbrido de maíz HC-57 es un material que por sus características de adaptación a diferentes climas, tolerancia a pudrición de mazorca, buen cuaje, sabor y textura, se ha posicionado como una muy buena opción productiva a nivel nacional (Girasol 2006).

Aunque el híbrido HC-57 tiene varios años en el mercado, no se ha caracterizado su ciclo fenológico, ni se tiene cuantificada su absorción de nutrimentos.

Pese a que las etapas fenológicas del cultivo son similares entre variedades e híbridos de maíz, la duración entre cada una de ellas puede variar por diferentes factores como son las características genéticas propias, las fechas de siembra, las localidades y las condiciones climáticas (Iowa State University 1992).

También se ha encontrado que la tasa de desarrollo de los cultivos está relacionada con la temperatura (Iowa State University 1992, Miller y Brandt 2001), lo que ha promovido la definición de otro concepto en el desarrollo de los cultivos, llamado “tiempo térmico”, el cual sustituye al tiempo cronológico (Misle 2003).

La utilización del concepto de “tiempo térmico” o “grados día temperatura” en el cultivo

information on nutrient absorption and on the respective growing degree days is presented for all the stages evaluated, in order to create a link between both parts.

del maíz, así como en otros cultivos como rosa, frijol y melón, ha demostrado una amplia validez en la predicción de eventos o estados fenológicos; hay estudios que se basan en la acumulación de calor como unidad de medición y no sobre unidades diarias, como generalmente se realiza (Misle 2003, Rodríguez y Flórez 2006, Barrios y López 2009). El asocio del tiempo térmico a la absorción de nutrimentos por los cultivos también ha sido documentado por otros autores (Misle 2003).

Por otra parte, es importante conocer el desarrollo del cultivo y las etapas de mayor necesidad de nutrimentos durante la producción pues de esa forma se puede ofrecer al cultivo las condiciones adecuadas para obtener rendimientos óptimos. En el caso del maíz, García (2005) menciona que aportar condiciones óptimas en la etapa de floración es imprescindible para lograr buenos rendimientos.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar y caracterizar la absorción de nutrimentos por parte del híbrido HC-57, y relacionar esta absorción con el desarrollo fenológico y la acumulación de grados día temperatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEFBM), localizada en Barrio San José de Alajuela, a 840 msnm, la cual clasifica según

Holdridge (1982) como una zona de vida de bosque húmedo premontano, con un clima subhúmedo caliente y estación seca bien definida. La precipitación pluvial promedio anual es de 1940 mm distribuidos de mayo a diciembre, con humedad relativa diaria de 78%, evaporación anual de 1876 mm, radiación solar total anual 8428,2 MJ y brillo solar 2396,5 h.

Se sembraron 120 plantas de maíz del híbrido HC-57, siguiendo el patrón convencional utilizado en la EEFBM, que consiste en una densidad de 50 000 plantas.ha⁻¹, espaciadas a 0,8 m entre hileras y 0,5 m entre planta, con 2 plantas en cada punto de siembra. Las plantas recibieron el manejo hídrico y nutricional que normalmente se le aplica a los experimentos con ese híbrido de maíz dentro de la estación. La fertilización utilizada fue de 150 kg.ha⁻¹ de N, 22,5 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ y 10 kg.ha⁻¹ de K₂O, acorde a las condiciones generales del suelo. El estado de la plantación fue adecuado a lo largo de todo el ciclo de modo que se puede asumir que los resultados responden a una plantación regular del híbrido HC-57 bajo esas condiciones.

Se realizaron evaluaciones en 7 diferentes épocas del ciclo de desarrollo del cultivo, con inicio a los 22 días después de la siembra (dds). En cada una de las evaluaciones se determinó la etapa fenológica en la que se encontraba la plantación, para lo cual se utilizó el patrón establecido en el estado de Iowa, Estados Unidos (Iowa State University 1992).

La muestra recolectada fue de 9 plantas en cada época de muestreo, a las cuales se les estimó de forma individual la altura desde la base hasta el "collarín" o lígula superior visible. Posteriormente, cada planta se dividió en raíz, follaje y mazorca, tejidos que fueron secados en estufa a 80°C por 3 días para determinar el peso seco de cada parte.

Para estimar la concentración de nutrimentos presentes en los tejidos, las plantas de las 3 repeticiones se unieron, y se enviaron al Laboratorio de Suelos y Foliars del CIA-UCR. Con la información obtenida y con el respectivo asocio entre la concentración y el peso seco de cada

tejido, se obtuvo el consumo efectuado por cada uno de ellos en cada etapa y así desarrollar las curvas de absorción de nutrimentos del cultivo.

También se relacionó la información climatológica de temperatura, proveniente de la estación Clase B ubicada en la propia EEFBM con las curvas de absorción de nutrimentos. Para el cálculo de los grados día temperatura (GDT) se utilizó la fórmula de Ometto, que se describe en Yzarra et al. 2009 y ha sido utilizada a lo largo del tiempo por varios autores (Avilán y Rodríguez 1995, Hamada y Silveira Pinto 2001, Yzarra et al. 2009); el cálculo también se detalla a continuación:

$$\text{Cuando } T_m > T_b \text{ y } T_m < T_B: \\ \text{GDT} = \left(\frac{T_m - T_m}{2} \right) + (T_m - T_b)$$

$$\text{Cuando } T_m > T_b \text{ y } T_m > T_B: \\ \text{GDT} = \left(\frac{2(T_m - T_m)(T_m - T_b) + (T_m - T_m)^2 - (T_m - T_B)^2}{2(T_m - T_m)} \right)$$

Donde:

TM=Temperatura máxima diaria

Tm=Temperatura mínima diaria

TB=Temperatura base máxima

Tb=Temperatura base mínima

Se usó una temperatura base mínima de 10°C y una máxima de 30°C en concordancia con las recomendaciones establecidas en la literatura (Wiebold, sa).

La obtención de los GDT en cada etapa de muestreo, ofrece una herramienta adicional al productor para transferir la información generada en la EEFBM a las diferentes localidades del país donde se cultiva este híbrido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo de la planta y estado fenológico

En la Figura 1 se presenta el ciclo de desarrollo del híbrido HC-57 expresado en términos de número de hojas y altura.

El híbrido de maíz HC-57 presenta una etapa de crecimiento vegetativo que se extiende

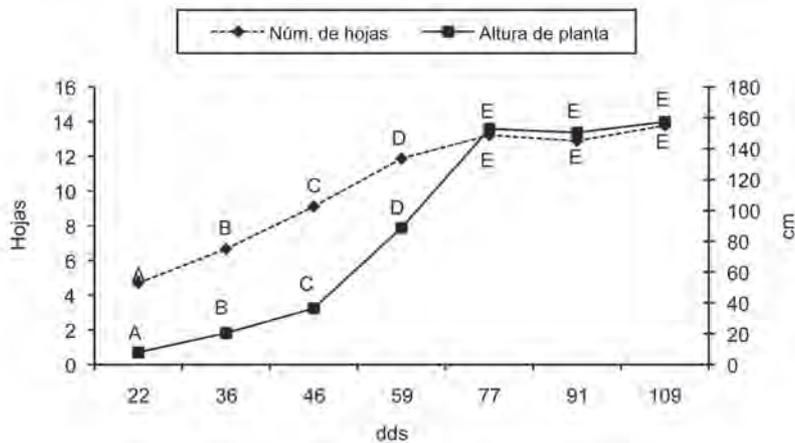


Fig.1. Altura y número de hojas del híbrido de maíz HC-57 durante su ciclo de desarrollo en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. Año. 2009.

desde la etapa inicial, hasta antes de los 77 dds (de VI a VT) en la cual incrementa significativamente su número de hojas y su altura; después de esta etapa la planta no presenta ningún incremento significativo en ese último aspecto (Figura 1). Esta misma situación acontece con la variable peso seco del follaje (tallo y hojas) (Figura 2).

La estabilización en la producción de material vegetativo observada a partir de los 77 dds en la emisión de hojas nuevas, altura de planta y peso seco del follaje, corresponde con el inicio del proceso reproductivo de la planta, e inicio de formación de la mazorca, la cual se caracteriza por un aumento significativo de su peso desde la

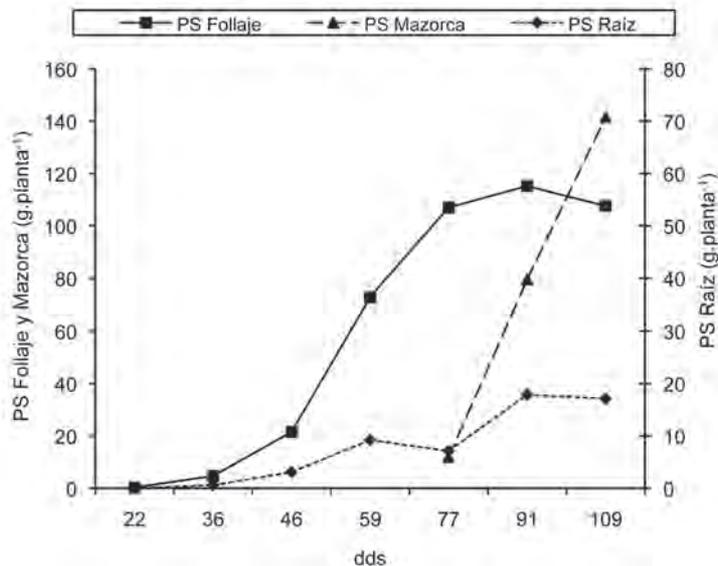


Fig. 2. Peso seco de raíz, follaje y mazorca del híbrido de maíz HC-57 (g.planta⁻¹) durante su ciclo de desarrollo en la estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. Año 2009.

etapa R1 hasta el final del ciclo de desarrollo del cultivo (Madurez fisiológica) (Figura 2).

Con las mediciones efectuadas no fue posible determinar el momento en que ocurre el proceso de diferenciación del meristemo superior (flor masculina) ya que el meristemo al estar recubierto por las hojas nuevas, obstaculizaron su visualización. Por esta razón, las variables altura de planta y emisión de hojas nuevas no son de utilidad para determinar dicho evento fenológico, y lo conlleva a ser detectado sólo mediante muestreos destructivos.

En relación con la cuantificación del peso seco de la raíz se considera que, en proporción al trabajo que representa, es una variable que aporta poca información al estudio, ya que entre muchas de las etapas de desarrollo no se presentaron diferencias significativas. Esta situación unida al hecho que el procedimiento de medición de raíz es muy laborioso, tanto durante el proceso de extracción como durante la remoción del suelo adherida a las mismas a la hora del lavado, permite recomendar para futuros trabajos de absorción, la posibilidad de prescindir de este tejido. En el caso concreto del híbrido de maíz HC-57 el máximo porcentaje de raíz obtenido en relación

con el peso total de la planta correspondió con menos de un 7%.

Como se puede observar en el Cuadro 1, el ciclo de desarrollo del HC-57 duró 109 días para alcanzar la etapa de madurez fisiológica y 91 días para ser cosechado para elote, aspecto esperable bajo las condiciones de producción del lugar. No obstante debe considerarse que dicha información puede variar en diferentes ciclos de siembra y en las diferentes localidades del país donde es cultivado el híbrido, ya que condiciones ambientales como temperatura tienen un efecto directo sobre los procesos fisiológicos del desarrollo de las plantas (Casasola y Tiessen 2009).

Además se ha determinado que el híbrido presenta un desarrollo dependiente del fotoperiodo, obteniéndose una mayor altura de planta en fotoperiodos crecientes y menor en decrecientes (Echandi 2010). Comunicación personal. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, Costa Rica, cabe destacar que la siembra de este ensayo se realizó a finales de setiembre, donde el fotoperiodo es decreciente, por lo que puede existir cierta variación de los datos con otras épocas de siembra.

Como se mencionó anteriormente el uso de los GDT tiene gran utilidad en la predicción

Cuadro 1. Ciclo fenológico del híbrido de maíz HC-57 y grados acumulados de temperatura obtenidos en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica.

dds	Acúmulo GDT	Estado fenológico	Observaciones
22	318	V5	
36	501	V7	
46	632	V9	Meristemo superior diferenciado
59	811	V12-VT	
77	1062	R1-R2	
91	1254	R3	Cosecha para elote: grano lechoso
109	1501	Madurez fisiológica	Cosecha para grano

dds=días después de la siembra.

GDT=Grados día temperatura calculado mediante la fórmula de Ometo (Yzarra et al. 2009), con una temperatura base mínima de 10°C y máxima de 30°C.

de las etapas fenológicas por las que atraviesa el maíz y en la predicción de la época de cosecha. El híbrido HC-57 requirió un aproximado de 1500 GDT para completar su ciclo de desarrollo y se requirieron un total de 1254 para alcanzar la etapa fenológica R3, en la cual se realiza la cosecha para elote (Cuadro 1).

Concentración de nutrimentos según tejido

El promedio de las concentraciones de nutrimentos en cada uno de los tejidos a lo largo del ciclo del maíz HC-57 y la diferencia estadística entre medias se presentan en el Cuadro 2.

Follaje. Según se observa en el Cuadro 2, la concentración de N, P y K en el follaje decrece

en forma significativa conforme avanzan las etapas, pues pasa de valores cercanos a 4%, 0,3% y 4,7% respectivamente, a concentraciones 6 y 3 veces menores, 0,67%, 0,05% y 1,49%, respectivamente, al final del ciclo.

En el caso del Ca y Mg no se encontraron diferencias en la concentración para la mayoría de las etapas evaluadas, salvo en la etapa más joven donde en general, todos los nutrimentos se encuentran más concentrados. Estas diferencias no fueron significativas estadísticamente, ni mayores a las variaciones aceptadas como máximas para los análisis foliares de laboratorio (Corrales et al. 2005).

En relación con los elementos menores la tendencia es más errática, aunque en general,

Cuadro 2. Concentraciones promedio de nutrimentos en los diferentes tejidos del híbrido de maíz HC-57 en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica.

Tejido	dds	%							mg.kg ⁻¹			
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Mazorca	77	1,92B	0,31B	1,73C	0,07	0,14	0,13B	156B	5B	29A	18C	9B
	91	1,05A	0,22A	1,13B	0,05	0,13	0,09A	84A	2A	27A	14B	6A
	109	0,96A	0,22A	0,58A	0,03	0,13	0,08A	65A	2A	25A	8B	5A
Follaje	22	3,98F	0,3D	4,7E	0,52	0,37	0,27	2221	16	31	58	10
	36	3,35F	0,2C	3,6D	0,21	0,14	0,16	165	6	15	26	5
	46	2,74D	0,2C	2,9C	0,22	0,14	0,15	239	6	15	28	7
	59	2,27C	0,2C	2,6B	0,23	0,15	0,14	144	6	19	35	9
	77	1,22B	0,14B	1,6A	0,23	0,14	0,10	183	5	17	37	12
	91	1,08AB	0,11B	1,4A	0,27	0,15	0,09	123	4	37	38	13
	109	0,67A	0,05A	1,5A	0,25	0,14	0,07	88	4	15	25	11
Raíz	22	2,00	0,19	1,86	0,31	0,15	0,20	13515	70	39	116	35
	36	2,10	0,13	1,75	0,16	0,10	0,15	4982	36	17	43	14
	46	1,74	0,13	1,94	0,13	0,08	0,14	3411	39	16	93	12
	59	1,57	0,10	1,82	0,09	0,06	0,12	2906	26	13	26	10
	77	0,88	0,07	1,66	0,08	0,05	0,09	1389	21	11	19	5
	91	0,79	0,07	1,56	0,11	0,05	0,10	2398	34	34	27	8
	109	0,69	0,06	1,66	0,09	0,05	0,07	1562	18	13	17	6

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

tienden a decrecer. Sólo en el caso de B, la concentración en las etapas iniciales es muy similar a la de las etapas finales.

Mazorca. En el caso de la mazorca se evaluó la concentración en 3 etapas fenológicas. Cuando hubo diferencias, éstas se presentaron entre las 2 primeras etapas R(1-2) y R3 (Cuadro 2). La única disminución que resulta relevante de destacar es la de K, ya que de concentraciones de 1,73% semejantes a las del follaje a los 77 dds, conforme se consolidaba la mazorca, bajaron a los 109 dds a la tercera parte (0,58%).

Raíz. Sobre las concentraciones en la raíz, como ocurre con la mayoría de los cultivos, la variación entre los datos es la más alta y resulta difícil establecer tendencias claras. No obstante, en general, las concentraciones fueron en descenso con la edad.

Curvas de absorción de nutrimentos

Como se mencionó anteriormente, las curvas de absorción de nutrimentos para el híbrido HC-57 se elaboraron al relacionar el peso seco de la muestra (Figura 2), con la concentración respectiva de cada tejido en las diferentes etapas de crecimiento (Cuadro 2). En las Figuras 3 y 4 se resumen estas curvas de absorción para los nutrimentos mayores y menores, respectivamente.

Macronutrimentos

Se encontró que la absorción de N por el híbrido HC-57, está definida según las etapas fenológicas, es decir hasta antes de los 59 dds (VT) la planta absorbe la mayor cantidad del elemento; el 80% del total requerido en su ciclo de desarrollo completo corresponde a lo absorbido en esta etapa y es consumida principalmente por el follaje.

Después de los 59 dds las necesidades de N por la planta son menores, y más bien se muestra una reducción en el contenido de este elemento en el follaje y en la raíz. Este comportamiento obedece a la formación de estructuras

reproductivas, ya que a partir de ese momento la planta se encuentra en el estado fenológico VT, que significa que inicia la formación de la mazorca (Cuadro 1). La reducción en el contenido de nutrimentos en el follaje y la raíz podría obedecer a un efecto de “exportación” o translocación de nutrimentos hacia las estructuras reproductivas (Bertsch 2003), donde el follaje se presenta como el tejido que aporta la mayor cantidad de nutrimentos hacia la formación de la mazorca.

En el caso del P, el comportamiento a nivel del follaje presenta un patrón similar al del N, ya que la mayor acumulación en este tejido ocurre antes de los 59 dds, sin embargo la absorción porcentual total del elemento difiere del N, ya que la planta sigue el proceso de absorción de cantidades importantes de P (más del 50%) en las etapas posteriores a los 59 dds. Este consumo tardío en la absorción de P indica que el follaje no tiene la capacidad de suministrar la totalidad del elemento que se requiere para la formación de la mazorca, por lo que continúa con la absorción en forma directa del suelo. Este nutrimento (P) es necesario para la formación de sustancias como enzimas, ácidos nucleicos, etc., los cuales son requeridos en todas las etapas del ciclo de desarrollo de la planta y también en la etapa de formación del grano es necesario para la acumulación de fitina en la semilla, la cual es necesaria para alcanzar buen tamaño, número y viabilidad de las semillas (IPNI 1999). A nivel radical se presenta también un importante acúmulo en estas etapas posteriores a los 59 dds.

Por su parte el comportamiento del K se parece más al del N, es decir la mayor absorción (cerca del 75%) se da en las etapas anteriores a los 59 dds, y luego de esto se da un traslado del nutrimento desde el follaje hacia la formación de la mazorca; no obstante si se observan solamente los contenidos de K a nivel radical, este órgano acumula importantes cantidades porcentuales en etapas posteriores al inicio de formación de mazorca (cerca de un 40% del total absorbido por la raíz, dato no mostrado).

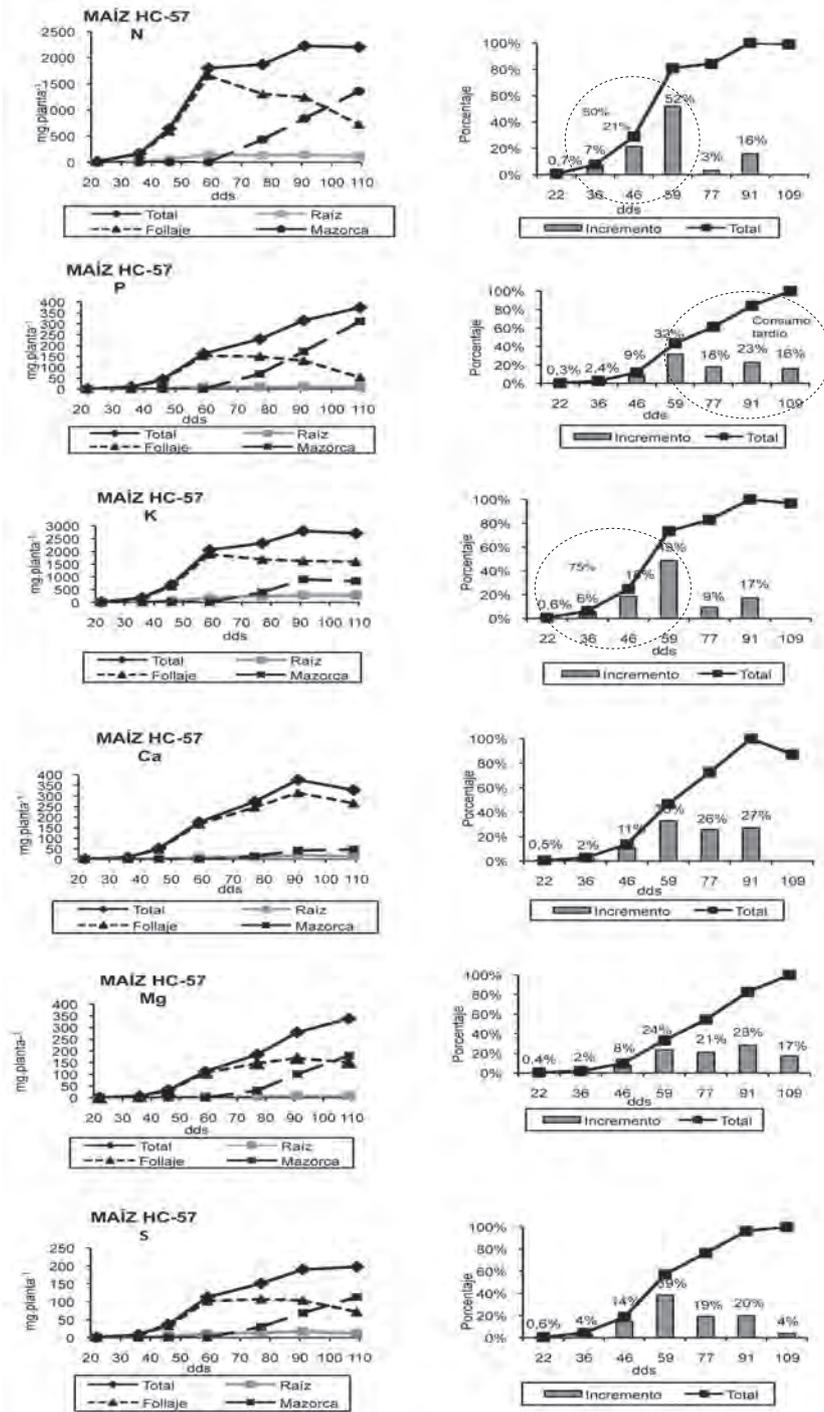


Fig. 3. Absorción total e incremento porcentual de macronutrientos para las diferentes partes de la planta del híbrido de maíz HC-57 en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. Año 2009.

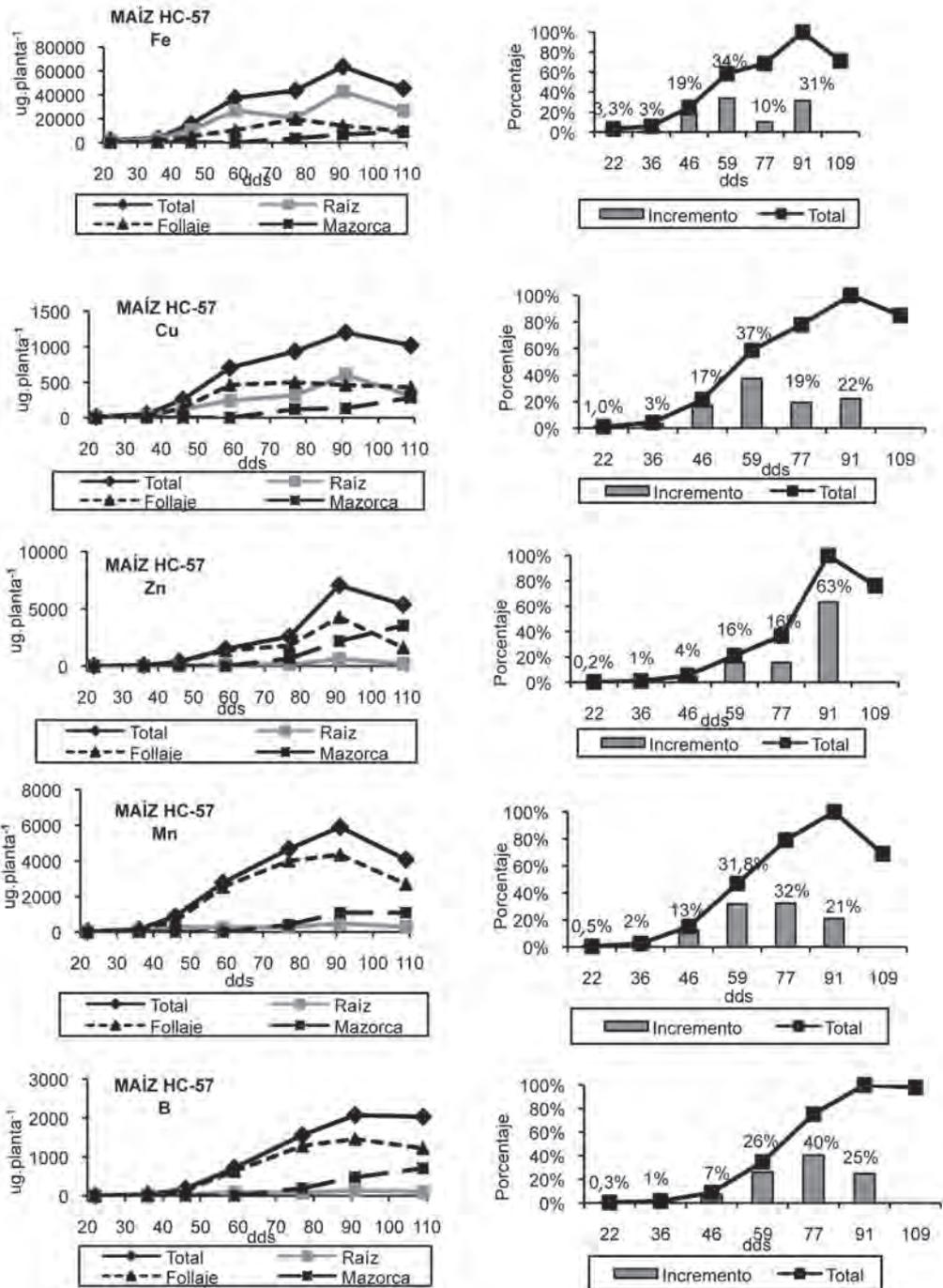


Fig. 4. Absorción total e incremento porcentual de micronutrientes para las diferentes partes de la planta del híbrido de maíz HC-57 en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. Año 2009.

La absorción de Ca y Mg parece no depender de una etapa fenológica, ya que estos elementos se absorben de manera constante aún cuando se da la formación de la mazorca y su contenido en el follaje solo disminuyó en la última etapa evaluada, probablemente por un efecto de senescencia del tejido. En el caso del Ca este comportamiento es congruente con la función estructural de este elemento, ya que es constituyente esencial de los poligalacturonatos de Ca (Dordas 2008), los cuales dan estabilidad a las paredes celulares del tejido formado y del que se encuentra en formación.

El patrón mostrado por el S es similar al del N y K, no obstante, los requerimientos de S en las etapas posteriores a los 59 dds superan el 40% del total requerido por la planta durante su ciclo de desarrollo.

Es importante destacar que la absorción de todos estos elementos en las etapas anteriores a los 36 dds son en términos generales menores al 10% del total y en el caso de la mazorca su absorción se caracteriza por incrementos prácticamente lineales desde su formación hasta el final del ciclo. Solo en el caso del K se encontró una estabilización en su contenido en la etapa que abarca de R3 a madurez fisiológica.

Micronutrientos

El comportamiento del HC-57 en la absorción total de microelementos, es como en la mayoría de los cultivos, más errática que la de los mayores, y no parece ser dependiente de los cambios reproductivos de la planta en algunos de los elementos, más bien, la planta tiende a acumular estos elementos en todas las etapas hasta los 91 dds (R3, 1254 GDT) y solamente en la etapa final se presenta una reducción en el contenido de todos los micronutrientos (Figura 4).

La etapa de mayor necesidad de Mn y B en el follaje es la comprendida entre 46 y 59 dds (V9-VT, 632-811 GDT), que coincide con la etapa de polinización. Esto resulta de particular importancia, ya que según Brown y Hu (1998) la planta de maíz es una de las especies en las que el B no tiene movilidad, por lo tanto una aplicación foliar

de B en estas etapas de mayor requerimiento podría contribuir a mejorar la producción de este cultivo. Además es conocido que este elemento tiene gran importancia en el proceso de polinización y un aumento en el rendimiento del cultivo del maíz (Ziaeyan y Rajaie 2009).

A nivel radical, entre los 77 y 91 dds, el híbrido incrementó su absorción de Mn y B en valores cercanos al 40% del máximo absorbido por este tejido.

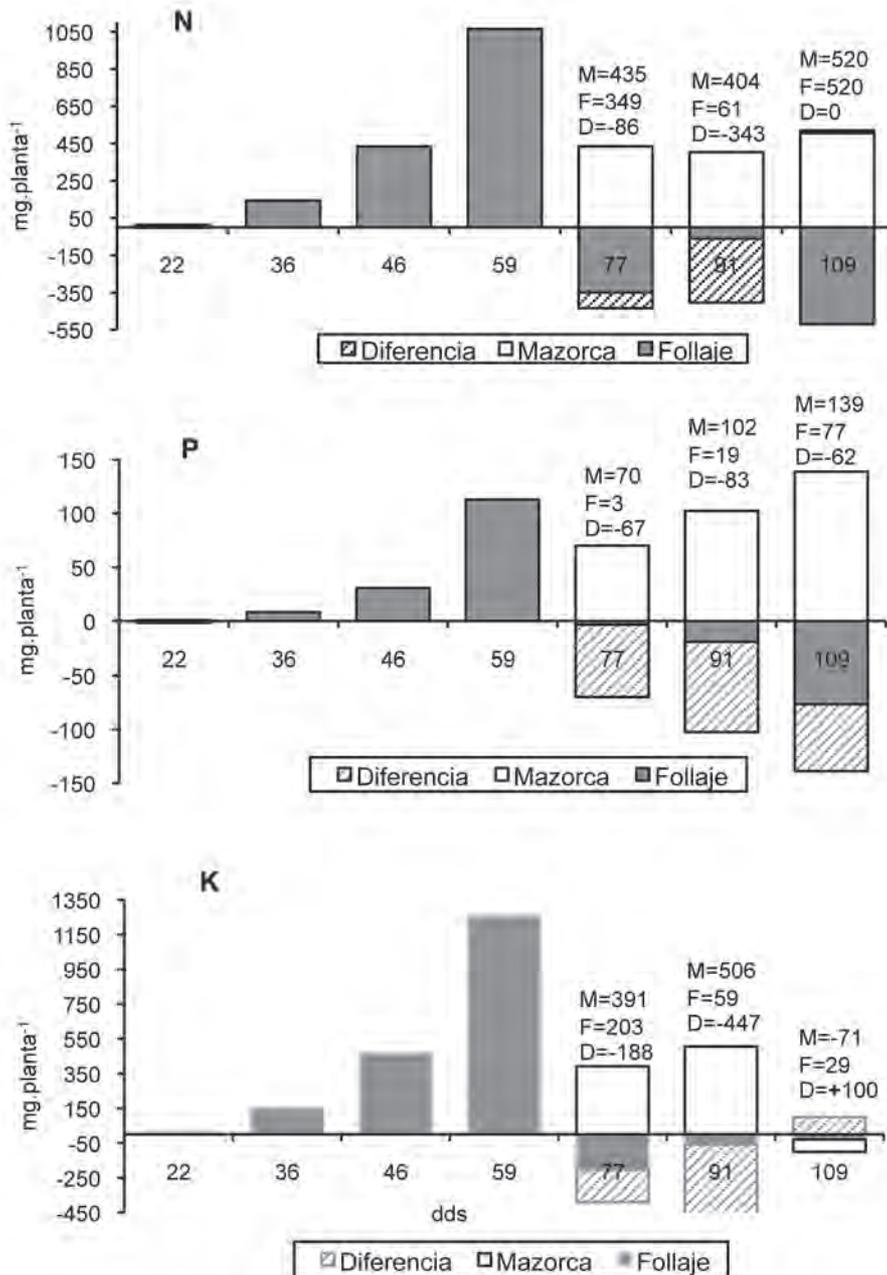
La mayor demanda de Zn se presentó en las etapas finales del ciclo productivo del híbrido, lo cual tiene importancia no sólo desde el aspecto agronómico, sino también desde el punto de vista de nutrición de la población, pues a nivel mundial es reconocida la gran problemática de deficiencia de este elemento (Çakmak 2009). Un suplemento de Zn en las fases finales del cultivo beneficiaría tanto al cultivo como a la población que consumirá el producto.

Análisis de translocación de nutrientes N, P y K

Como se mencionó anteriormente, a los 59 dds ocurren 2 fenómenos relevantes: se produce el máximo desarrollo del follaje y a su vez, se inicia la formación de la mazorca. Al analizar los datos de absorción en valores absolutos alrededor de este momento, se encontró que existe relación entre la disminución del contenido de algunos nutrientes en el follaje y el incremento de los mismos en la mazorca.

Para el caso del N, como se puede observar en la Figura 5, una gran cantidad de los requerimientos para la formación de la mazorca los suple el follaje. De los 435 mg de N requeridos por la mazorca a los 77 dds, aproximadamente 349 son aportados por el follaje, lo cual representa la mayoría del requerimiento. En la etapa de los 91 dds solo una pequeña cantidad (61 mg) de lo requerido por la mazorca (404 mg) es aportado por el follaje. En la etapa final las cantidades requeridas por la mazorca fueron aportadas completamente por el follaje.

Esta situación no se presentó con el P, el cual en las etapas de los 77 y 91 dds debió ser



M= Aumento del nutrimento en mg en la mazorca. F= Pérdida del nutrimento en mg en el follaje (tallo y mazorca). D= Diferencia entre lo absorbido por la mazorca y lo perdido por el follaje.

Fig. 5. Relación entre la disminución del contenido de nutrimentos en el follaje y su respectivo incremento en la mazorca en el híbrido de maíz HC-57, Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica.

aportado posiblemente por la absorción desde el suelo, ya que el follaje solo aportó un 3 y un 19% en cada etapa respectivamente, solamente en la etapa final, la de los 109 dds, se presentó un suministro bastante importante de P por el follaje, ya que aportó 77 de los 139 mg requeridos por la mazorca en esta etapa.

Para el caso del K en la etapa de los 77 dds el follaje suple más del 50% de los requerimientos de la mazorca, sin embargo en la etapa posterior (91 dds) solo 59 de los 506 mg requeridos por la mazorca fueron aportados por el follaje. En la última etapa tanto el follaje como la mazorca presentaron una disminución en el contenido de este elemento.

Absorción total

En el Cuadro 3 se resume para todos los elementos, la cantidad de nutrientes absorbidos por la raíz, el follaje (tallo y hojas) y la mazorca en las diferentes etapas.

En el Cuadro 4 se resume la cantidad por hectárea absorbida por una plantación del híbrido HC-57 con un rendimiento de 50 000 mazorcas.ha⁻¹; las cantidades se expresan en términos totales y por cosecha.

En el experimento se cosechó la mazorca, por lo que en forma directa no se obtuvo el rendimiento en grano, sin embargo si se asume que el 85% de esa mazorca llegara a ser grano cosechable al 14% de humedad y si se considera un 10% de pérdida, el rendimiento estimado para las 50 000 mazorcas sería de aproximadamente 6,25 t.ha⁻¹ de grano (14% de humedad).

La utilidad de conocer estos requisitos del cultivo, radica en que se puede reponer al suelo la cantidad de nutrientes que son extraídos

mediante la cosecha de la mazorca, y evitaría la degradación química del suelo y además asegura la sostenibilidad del sistema productivo. Sin embargo esta información, no se debe convertir en el criterio único de fertilización, ya que en un sistema productivo intervienen muchos otros factores de tipo ambiental, físico, o hasta mineralógicos, los cuales podrían modificar la eficiencia de la fertilización.

En síntesis, las aplicaciones de N y K deben realizarse en etapas iniciales del ciclo de desarrollo del cultivo, ya que después de los 59 dds (V12-VT, 811 GDT) la demanda o absorción de nutrientes es menor. Aplicaciones tardías de estos elementos, podrían no tener un efecto importante sobre el rendimiento del cultivo, sin embargo debe verificarse mediante ensayos de campo.

Es posible que este híbrido presente una buena respuesta a las aplicaciones de P en etapas intermedias y tardías del ciclo de desarrollo, ya que se presentó una importante absorción de este elemento en ambas etapas; esto también requiere de la evaluación experimental a nivel de campo antes de llevarse a nivel comercial.

Realizar aplicaciones foliares de B en las etapas cercanas a los 59 dds podría beneficiar al cultivo con una mejor polinización y aplicaciones foliares de Zn al final del ciclo ayudarían a mejorar el valor nutricional del producto cosechado.

El asocio de las curvas de absorción de nutrientes a la información meteorológica a través del parámetro grados día temperatura resulta en una herramienta que puede colaborar en la extrapolación de la información generada en este estudio hacia otras zonas del país.

Cuadro 3. Cantidad promedio de nutrimentos absorbidos en las etapas del ciclo de desarrollo del híbrido de maíz HC-57 y los respectivos grados día temperatura de cada etapa, Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica.

Tejido	dds	GDT*	Etapa fenológica	Peso seco (g)	Cantidad Absorbida**										
					mg.planta ⁻¹						µg.planta ⁻¹				
					N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Mazorca	77	1062	R1-R2	22,6	435	70	391	16	31	30	3518	121	648	399	196
	91	1254	R3	79,6	839	172	897	42	101	69	6714	133	2176	1088	478
	109	1501	Madurez fisiológica	141,5	1359	311	826	47	179	113	9152	283	3538	1085	708
Tallo y hojas	22	318	V5	0,3	13	1	16	2	1	1	733	5	10	19	3
	36	501	V7	4,7	156	9	166	10	6	7	772	30	68	120	23
	46	632	V9	21,6	590	40	632	48	30	32	5145	137	331	604	144
	59	811	V12-VT	72,9	1655	153	1891	168	107	102	10 475	462	1361	2528	632
	77	1062	R1-R2	107,0	1306	150	1688	246	146	107	19 623	499	1784	3996	1284
	91	1254	R3	115,2	1245	131	1629	315	169	104	14 137	461	4264	4341	1460
	109	1501	Madurez fisiológica	107,6	725	54	1600	265	151	72	9470	430	1614	2690	1220
Raíz	22	318	V5	0,1	2	0,2	2	0,3	0,2	0,2	1352	7	4	12	4
	36	501	V7	0,6	12	1	10	1	1	1	2934	21	10	25	8
	46	632	V9	3,1	54	4	60	4	3	4	10 537	120	50	286	36
	59	811	V12-VT	9,2	144	10	168	8	6	11	26 764	243	123	239	89
	77	1062	R1-R2	14,8	131	10	245	11	7	14	20 562	316	158	276	79
	91	1254	R3	17,9	141	12	279	19	10	17	42 844	607	613	476	137
	109	1501	Madurez fisiológica	17,1	119	10	285	15	8	13	26 739	308	223	297	103
Total	22	318	V5	0,4	15	1	17	2	1	1	2084	12	14	31	7
	36	501	V7	5,3	169	10	176	11	7	8	3705	51	78	145	32
	46	632	V9	24,6	644	44	692	52	33	37	15 682	257	381	890	180
	59	811	V12-VT	82,1	1799	163	2058	176	112	113	37 239	704	1484	2767	721
	77	1062	R1-R2	144,4	1871	230	2324	273	184	151	43 703	936	2590	4671	1559
	91	1254	R3	212,7	2224	315	2804	377	279	190	63 695	1201	7054	5905	2074
	109	1501	Madurez fisiológica	266,3	2202	375	2710	328	338	198	45 361	1022	5375	4072	2030
Máximo total		1501		266,3	2224	375	2804	377	338	198	63695	1201	7054	5905	2074

* Grados día se presenta el acumulado de las diferentes etapas.

** Cantidad absorbida contempla el total de cada nutrimento en cada etapa, no desestima absorción de etapas anteriores.

dds: días después de la siembra.

GDT: Grados día temperatura con una temperatura base mínima de 10°C y máxima de 30°C.

Cuadro 4. Cantidad estimada del requerimiento de nutrimentos por la planta y por la cosecha del híbrido de maíz HC-57 con un rendimiento aproximado de 50 000 mazorcas por hectárea, Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica.

Sección	kg.ha ⁻¹										
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Total	111,2	18,7	140,2	18,8	16,9	9,9	3,2	0,1	0,4	0,3	0,1
Mazorca	67,9	15,6	44,8	2,4	9,0	5,7	0,46	0,01	0,18	0,05	0,04
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Total	111,2	42,9	168,3	26,4	28,0	9,9	3,2	0,1	0,4	0,3	0,1
Mazorca	67,9	35,6	53,8	3,3	14,9	9,9	3,2	0,1	0,4	0,3	0,1

El rendimiento de 50 000 mazorcas.ha⁻¹ se estima que puede equipararse a 6,25 t.ha⁻¹ de grano al 14% de humedad.

LITERATURA CITADA

- APS 1984. Compendium of corn diseases. The American Phytopathological Society. 2 ed. 105 p.
- AVILÁN L., RODRÍGUEZ M. 1995. Época de floración y cosecha del aguacate en la región norte de Venezuela. *Agronomía Tropical* 45(1):35-50.
- BARRIOS E., LÓPEZ C. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia* 43(1):29-35.
- BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, ACCS. 307 p.
- BROWN P., HU HENNING. 1998. Boron mobility and consequent management in different crops. *Better Crops* 82(2):29-31.
- ÇAKMAK I. 2009. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 23(4):281-289.
- CASASOLA S., TIESSEN A. 2009. Efectos de la influencia ambiental y genética en la fisiología y desarrollo en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*). Memorias del Programa de Verano de la Ciencia, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- CORRALES M., BERTSCH F., BEJARANO J. 2005. Los laboratorios de análisis de suelos y foliares en Costa Rica: Informe del comité de laboratorios de análisis de suelos, plantas y aguas. *Agronomía Costarricense* 29(3):125-135.
- DORDAS C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28:33-46.
- GARCÍA F. 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. IPNI. 19 p.
- HAMADA E., SILVEIRA PINTO H. 2001. Avaliação do desenvolvimento do trigo utilizando medidas radiométricas em função de graus-dia. *Anais X SBSR, Foz de Iguazú, INPE.* p 95-101.
- HOLDRIDGE L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. IICA, San José Costa Rica. 216 p.
- IOWA STATE UNIVERSITY. 1992. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service. Special report N°. 48.
- IPNI. 1999. Functions of phosphorus in plants. *Better Crops* 83(1):6-7.
- MILLER P., BRANDT S. 2001. Using growing degree days to predict plant stages. Montguide Extension Service, Montana State University. 8 p.
- MISLE E. 2003. Caracterización termofisiológica del ritmo de absorción de nutrientes del melón (*Cucumis melo* L., var *reticulatus* Naud). *Cien. Inv. Agr.* 30(1):39-50.
- REVISTA GIRASOL. 2006. Semillas del futuro. *Revista Girasol* 9(31):3-6.
- RODRÍGUEZ W., FLÓREZ V. 2006. Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en

- función de la acumulación de la temperatura. *Agronomía Colombiana* 24(2):247-257.
- WIEBOLD B. sa. Growing degree days and corn maturity. Corn Facts, MU Plant Sciences Extension Web Site, College of Agriculture, Food and Natural Resources, University of Missouri. <http://www.psu.missouri.edu/cornx>.
- YZARRA W., TREBEJO I., NORIEGA V. 2009. Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en la costa central del Perú. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA* (1):1-10.
- ZIAEYAN A., RAJAIE M. 2009. Combined effect of Zinc and Boron on yield and nutrients accumulation in corn. *International Journal of Plant Production* 3(3):35-44.

DIAGNÓSTICO DE ENFERMEDADES EN COLMENAS DE ABEJAS AFRICANIZADAS EN COSTA RICA: PREVALENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE SETIEMBRE A NOVIEMBRE DEL 2007

Rafael A. Calderón^{1/}, Luis A. Sánchez**

Palabras clave: Loque, Acariosis, Nosemiasis, Varroosis, abejas Africanizadas, prevalencia, muestreo nacional.
Keywords: Foulbrood, Tracheal mites, Nosema disease, Varroosis, Africanized honey bees, prevalence, national sampling.

Recibido: 24/02/11

Aceptado: 31/08/11

RESUMEN

Reportes sobre la prevalencia y distribución de enfermedades en abejas africanizadas en Costa Rica son escasos. Se han realizado algunos estudios para determinar su presencia, sin embargo la información no ha sido completa; por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la prevalencia de las principales enfermedades que afectan tanto a la cría como a las abejas adultas en Costa Rica. Se realizó un muestreo nacional de abejas adultas y panales, de setiembre a noviembre del 2007. La mayoría de muestras se recolectaron en las provincias de San José, Guanacaste y Alajuela. En total se analizaron mediante técnicas de laboratorio 161 muestras de panal y 163 de abejas, pertenecientes a 96 apicultores. Se determinó una alta prevalencia de Loque europeo (54,7%), Nosemiasis (67,5%) y Varroosis (cría=37,9%, abejas=40,5%); mientras que únicamente un 1,8% y un 4,4% de las muestras fue positiva para Acariosis y Cría de Tiza, respectivamente. Todas las muestras resultaron negativas a Loque americano. La mayor prevalencia de Loque europeo se presentó en octubre; mientras que en setiembre se determinó la menor cantidad. Un 60,0% (n=61) de las

ABSTRACT

Diagnosis of bee diseases in africanized honey bees in Costa Rica: prevalence and distribution from September to November 2007. There are few reports concerning the occurrence of bee diseases in Africanized honey bees (AHB) in Costa Rica. There are some preliminary studies, but the information is not entirely complete. For this reason, the aim of this study was to determine the prevalence of brood and adult bees diseases in AHB in Costa Rica. In our study, conducted between September and December 2007, 163 AHB colonies, belonging to 96 beekeepers from different geographic areas of Costa Rica, were randomly sampled. Most brood and adult bees samples were taken from colonies located in San Jose, Guanacaste and Alajuela. We found that 54.7%, 67.5% and 40.5% of the samples were positive to European Foulbrood, Nosema disease and Varroosis, respectively. A low prevalence of Tracheal mites (1.8%) and Chalkbrood (4.4%) were found. All samples were negative to American Foulbrood. The prevalence of European Foulbrood was greater in October, whereas in September we found the lowest incidence. Most of the samples positive to varroa

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: rcalder@una.ac.cr

* Programa de Patología Apícola, Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

muestras positivas a varroa presentó un nivel de infestación leve, mientras que un 18,0% reveló un nivel fuerte. Asimismo, un 11,9% de las muestras positivas a Nosema presentó un nivel de infección fuerte, principalmente en noviembre. La alta prevalencia de enfermedades, como Loque europeo y Nosemiasis, puede estar relacionada con la época del año en que se realizó el estudio y la escasa aplicación de medidas preventivas en los apiarios. Por lo anterior, es necesario implementar un programa sanitario, mediante muestreos periódicos, para conocer la situación sanitaria de las colmenas y así poder brindar recomendaciones a los apicultores.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que afecta la apicultura mundial, esta relacionado con la sanidad de los apiarios. La presencia de enfermedades en las colmenas de abejas melíferas (*Apis mellifera*) reduce la producción de miel, y en ciertos casos pueden ocasionar la pérdida de la colonia, sino se controlan adecuadamente (Bailey y Ball 1991). En los últimos años, se ha reportado en España el despoblamiento y pérdida masiva de colmenas; a este fenómeno se le ha denominado Síndrome de Despoblamiento de la Colmena (SDC). En Estados Unidos se le conoce como Síndrome del Colapso de la Colonia (CCD, por las siglas en inglés) y más recientemente en Europa, lo reportan como pérdida de abejas. Una de las principales causas asociadas a este síndrome es la presencia de enfermedades infecciosas de origen viral y parasitario (Higes et al. 2006).

Al considerar el impacto de las enfermedades en la apicultura, se requieren métodos de diagnóstico de laboratorio eficientes para detectar de manera precisa los diferentes agentes patógenos (Shimanuki et al. 1992). Sin embargo, una de las mayores limitantes para la producción apícola a nivel nacional y regional, es la ausencia

(60.0%, n=61) showed a low mite infestation level, whereas 18.0% had a high level. November was the month with highest infection levels among cases of Nosema disease (11.9% of the positive samples). These results are clear evidence of a high prevalence of European Foulbrood, Nosema disease and varroa mites in Africanized bees in Costa Rica. This prevalence could be related to the time of the year for the sampling period and the scant disease-prevention programs in the apiaries. For these reasons, it is necessary to implement a health program, by means of regular samplings of the apiaries, to know the sanitary situation of the colonies and provide relevant recommendations for beekeepers.

de prácticas de manejo que incluyan programas de diagnóstico, control y prevención de las enfermedades de la cría y de las abejas adultas (Calderón y Ortiz 2000).

Informes sobre la prevalencia y distribución de enfermedades de las abejas Africanizadas en Costa Rica, son aislados. Desde 1997, el laboratorio de Patología Apícola del Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT), ha analizado la incidencia de enfermedades de la cría y de las abejas adultas (en total se han analizado más de 5000 muestras). Las muestras procedieron de diferentes zonas del país y fueron enviadas por apicultores independientes, asociaciones de apicultores y empresas apícolas (Calderón y Ortiz 2000). Sin embargo, el envío de muestras no ha sido continuo ni metódico.

Para evaluar de manera sistemática la situación sanitaria de las colmenas del país, en el 2006 se realizó el primer muestreo nacional de enfermedades dirigido al análisis de abejas adultas, lo que permitió tener una mejor visión de lo que ocurre en la mayoría de apiarios del país (Calderón et al. 2007). No obstante, no se incluyó el diagnóstico de enfermedades de la cría (panales). Por lo anterior, el principal objetivo de este estudio fue determinar la prevalencia y distribución

de las principales enfermedades que afectan tanto a la cría como a las abejas adultas en Costa Rica, mediante un muestreo sistemático y aleatorio de la mayoría de zonas apícolas del país.

El diagnóstico de laboratorio se hizo para determinar la presencia de Loque americano, Loque europeo, Varroosis, Cría de tiza, Polilla, Nosemiasis y Acariosis. A continuación se indican algunas de las principales características de estas enfermedades.

Loque americano: Es una enfermedad bacteriana que afecta a la cría de las abejas melíferas. La principal característica es la putrefacción de la cría, asociada con un olor fétido, similar al pegamento (cola), lo cual ayuda preliminarmente para el diagnóstico de campo (Bailey y Ball 1991). Es causada por el *Paenibacillus larvae*, bacteria que forma esporas altamente resistentes, capaces de permanecer viables en el medio por varios años, lo que favorece la dispersión y alta patogenicidad (BID/OIRSA 1990, Calderón y Zamora 2007).

Loque europeo: Es causado por un conjunto de bacterias, entre las que destaca el *Melissococcus plutonius*, el cual se considera el agente que inicia la infección (Ritter 2001). Algunos de los síntomas que se observan en panales afectados por Loque europeo son cría salteada, que ha afectado la cría abierta, olor avinagrado y la costra que se forma al morir la cría se desprende fácilmente (Bailey y Ball 1991).

Varroosis: Es una parasitosis causada por el ácaro *Varroa destructor*, el cual afecta tanto a las abejas adultas como a la cría (Bew 1992). Se alimenta de la hemolinfa de la abeja, debilitándola y ocasionándole serios problemas, como alteraciones internas y la transmisión de agentes infecciosos, principalmente virus (Ball 1996, Dufol et al. 1991). Los síntomas que podrían observarse son reducción de la población de la colonia, opérculos perforados, las abejas se muestran inquietas, hay mortalidad de la cría, abejas

con malformaciones en las alas, entre otros (Calderón et al. 1998, Van Veen et al. 1998).

Cría de tiza: Es una enfermedad fúngica causada por el hongo *Ascosphaera apis*, el cual afecta la cría de las abejas entre los 3 y 4 días de edad. Las esporas del hongo son ingeridas con el alimento larval y germinan en el tracto digestivo de la larva, formándose micelios que se expanden rápidamente, que recubren la superficie de la larva; la cría que muere se transforma en estructuras duras y de color blanco (momias), similares a un pedazo de tiza (Gilliam y Vandenberg 1997, Ritter 2001).

Polilla: La polilla de la cera, también conocida como palomilla o alevilla de la cera, es un pequeño insecto que pertenece al orden Lepidoptera, familia Pyralidae, los que se caracterizan por presentar un par de alas muy desarrollado y recubiertas con escamas. Se diferencian 2 tipos de polilla de la cera; la polilla de mayor tamaño corresponde a *Galleria melonella* (polilla mayor) y la más pequeña a *Achroea grisella* (polilla menor) (Bailey y Ball 1991). Las larvas de la polilla son auténticas minadoras, capaces de devorar diferentes materiales blandos, como los panales de cera (BID/OIRSA 1990).

Nosemiasis: Es causada por el microsporidio *Nosema* sp., el cual afecta el tracto digestivo de las abejas adultas (Bailey y Ball 1991). Hasta hace algunos años, se consideraba que la Nosemiasis en abejas melíferas, *A. mellifera*, era causada estrictamente por *N. apis* (Microspora, Nosematidae); mientras que la abeja asiática, *A. cerana*, era infectada básicamente por *N. ceranae* (Microspora, Nosematidae). Actualmente, se ha determinado la aparición de *N. ceranae* en abejas melíferas en países europeos, que causan daños cuantiosos, debido a su alta patogenicidad (Higes et al. 2006). Recientemente, se determinó la presencia de *N. ceranae* en Costa Rica, que afecta la mayoría de zonas apícolas del país (Calderón et al. 2008). Cuando se presentan algunos signos relacionados con Nosema, el problema es muy

serio. Se observan abejas que no pueden volar, otras abejas con el abdomen distendido y en casos muy severos puede observarse disentería (diarrea) (Higes et al. 2006).

Acariosis: Es causada por el ácaro *Acarapis woodi*, el cual es un parásito microscópico que afecta únicamente las abejas adultas, parasitando la parte pro-torácica de la tráquea (BID/OIRSA 1990). Ningún síntoma caracteriza exclusivamente esta enfermedad parasitaria; sin embargo la ausencia de signos no implica que la abeja este libre de Acariosis. Algunas manifestaciones que podrían estar relacionadas son abejas con alas distendidas, abanicándolas sin poder volar, abdomen distendido, abejas muertas o moribundas en frente de la colmena, entre otras (Bailey y Ball 1991, Ritter 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar la prevalencia de Loque americano, Loque europeo, Cría de tiza, Polilla, Varroosis, Nosemiasis y Acariosis en Costa Rica, se realizó un muestreo de abejas adultas y panales con cría, de setiembre a noviembre del 2007. Las muestras de abejas y panales se colectaron de zonas apícolas como Los Santos, Acosta, Pérez Zeledón, Puriscal, Turrubares, Atenas, Orotina, Grecia, entre otras.

Número de colmenas muestreadas: Para determinar el número de colmenas que se muestrearon (tamaño de la muestra), se consideró la prevalencia de las enfermedades citadas anteriormente en 315 muestras analizadas en 2005-2006. Al tomar en cuenta la prevalencia esperada y el número de colmenas presentes en el país, se estimó que el número de colmenas a muestrear era de 160 a 200, con una confiabilidad del 90,0-95,0%. Los apicultores y apiarios muestreados se seleccionaron de manera aleatoria; de la mayoría de apiarios se colectó una muestra de abejas y panal de una colmena, ubicada generalmente al inicio del apiario (corresponde con la entrada). En

apiarios constituidos por más de 50 colmenas, se colectaron 2 muestras, mediante la selección de la colmena inicial y la intermedia.

Características de la muestra

Muestra de panal: De cada colmena se seleccionó un panal con cría (abierto y sellado) y se cortó un pedazo de 10x10 cm. La muestra se envolvió en papel periódico y luego se colocó en un sobre de papel.

Muestra de abejas adultas: Se colectaron 100 abejas adultas de la cámara de cría (interior de la colmena), en un frasco plástico de boca ancha. Para la conservación de las muestras, a cada frasco se le adicionó alcohol al 70%, de manera que las abejas quedaran cubiertas.

Además, a cada sobre de papel y a cada frasco se le indicó la siguiente información: 1-Nombre del propietario 2-Lugar de la colecta 3-Nombre del apiario 4-Número de la colmena 5-Fecha de la colecta 6-Número de colmenas en el apiario 7-Observaciones generales. En observaciones generales, se describió algún síntoma observado en la colmena.

Acreditación de técnicos apícolas: Para colectar las muestras a nivel de campo, se acreditaron 10 técnicos, los cuales se encargaron de tomar las muestras de los apiarios y su posterior envió al laboratorio. Además, los técnicos realizaron una encuesta al productor para obtener información sobre los tratamientos realizados durante el año.

Técnicas utilizadas en el laboratorio: Para realizar el diagnóstico de enfermedades, las muestras de panal y abejas se analizaron en el Laboratorio de Patología Apícola del Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT-UNA), ubicado en Lagunilla-Barreal de Heredia. A continuación se describen las técnicas utilizadas en el laboratorio para el diagnóstico de las enfermedades en los panales (cría) y abejas adultas.

Muestras de panal (cría)

Loque americano y Loque europeo: Para el diagnóstico de Loque se utilizó la tinción de Gram, la gota colgante y el cultivo bacteriológico.

Tinción de Gram: Es una tinción diferencial empleada para la visualización de bacterias. Se utiliza tanto para referirse a la morfología celular bacteriana, como para realizar una primera aproximación a su diferenciación, considerándose bacterias Gram positivas las que se observan de color violeta y bacterias Gram negativas las que se visualizan de color rojo. Para aplicar esta tinción, se preparó un frotis con la cría afectada, el cual se fijó con calor y se tiñó inicialmente con cristal violeta. Posteriormente, el frotis se lavó con agua y se cubrió con una solución yodada. Luego se decoloró con una mezcla de alcohol etílico/acetona y finalmente se cubrió con safranina (color de contraste). El examen de la lámina se realizó en el microscopio con el objetivo de inmersión (100x) (Bailey y Ball 1991).

Técnica de la gota colgante: La cría afectada se mezcló con una gota de agua destilada en un cubreobjetos, hasta que se formó una película opaca, la cual se fijó al cubreobjetos con calor. Se procedió a teñir el frotis con fuchsina-fénica durante 5-7 s. Finalmente, se colocó el cubreobjetos sobre un portaobjetos con aceite de inmersión. Para el examen de la lámina, se utilizó el objetivo de inmersión del microscopio, mediante el cual se ubicó el área donde el agua se estancó entre los grumos de aceite, para determinar la presencia de esporas flotantes. Únicamente las esporas del *P. larvae* (agente causal del Loque americano) muestran movimiento Browniano, mientras que las esporas de otros agentes se observan fijas al cubreobjetos (Ritter 2001).

Cultivo bacteriológico: Para el cultivo bacteriológico se utilizó el medio Infusión Cerebro-Corazón enriquecido con 0,1 mg de Hidroclorato de tiamina (vit B1). Se incubó por un periodo de 96 h a 37°C en una atmósfera de 5-10% de CO₂ (Bailey y Ball 1991). Asimismo, se usó el medio de cultivo J, el cual contiene triptona, extracto de

levadura, K₂HPO₄, agar y glucosa. Es importante indicar que este medio propicia un mejor crecimiento de la bacteria *P. larvae* y favorece su esporulación. Al igual que el medio de cultivo anterior, el medio J se incubó por 96 h a 37°C en una atmósfera de 5-10% de CO₂ (BID/OIRSA 1990).

Varroosis: Para determinar el nivel de infestación de los panales, se realizó un examen directo de 50 celdas de obrera selladas. Se desoperculó cada celda y se revisó la cría (pupa) minuciosamente, así como el interior de la celda. Inicialmente se observó a simple vista y posteriormente por medio de una lupa. El nivel de infestación fue expresado como un porcentaje, el cual se obtuvo mediante la relación del número de celdas con ácaros, entre el total de celdas examinadas x 100 (Ritter 2001).

Cría de tiza: Para esta enfermedad causada por hongos, se usó la técnica del examen directo y el cultivo. Larvas afectadas por esta enfermedad aparecen como estructuras duras y de color blanco, que pueden tornarse gris o negro, según la formación de los cuerpos fructíferos. Las muestras de cría que presentaban los síntomas indicados, se revisaron preliminarmente mediante el examen directo. Cada larva fue montada en KOH al 5% y revisada al microscopio a 40 y 100x. Posteriormente, algunas de ellas se cultivaron en el medio Czapek Dox y se incubaron a temperatura ambiente (Gilliam y Vandenberg 1997).

Polilla: La presencia de polillas adultas, larvas en distinto estado de desarrollo, ninfas, defecaciones, panales destruidos, entre otros, son síntomas que se consideraron en los panales para el diagnóstico de esta plaga (Bailey y Ball 1991). El diagnóstico diferencial entre ambos tipos de polilla, que considera el tamaño de los adultos, no se realizó en este estudio.

Muestras de abejas adultas

Nosemiasis: Para el diagnóstico de este microsporidio se aplicó el método de Cantwell. Se colocaron 15 abejas sobre un papel absorbente.

Posteriormente, los abdómenes fueron separados y colocados en un mortero, donde fueron macerados, con 1,0 ml de agua destilada total=15,0 ml por cada abdomen. El macerado se homogenizó, agitándolo constantemente durante un min, luego una gota de la suspensión fue colocada en un portaobjetos. El frotis se examinó en el microscopio a un aumento de 40x y las esporas fueron identificadas por ser ovaladas, brillantes y refringentes. El nivel de infección se reportó con el promedio de esporas observadas por campo de visión del microscopio y se indicó como leve, moderado o fuerte (Cuadro 1) (Cantwell 1970).

Cuadro 1. Nivel de infección de Nosemiasis mediante el método de Cantwell.

Nivel infección	Cantidad de esporas por campo
Leve	1–10
Moderado	11–20
Fuerte	21 o más

Acariosis: Se realizó un examen directo de 15 abejas con la técnica del disco mesotorácico. A cada abeja se le realizó un corte transversal (a manera de disco) de la parte anterior del tórax (contiene las tráqueas). Los discos se colocaron en Hidróxido de Potasio (KOH) al 5% y se incubaron a 37°C por 24 h. Las tráqueas se examinaron preliminarmente en el estereoscopio y aquellas sospechosas de Acariosis (levemente

oscuras=melanización) se revisaron al microscopio a 10 y 40x (Shimanuki et al. 1992).

Varroosis: Para el diagnóstico del ácaro varroa en abejas adultas se utilizó el método de tamizaje. Se colocó una muestra de aproximadamente 50 abejas en un frasco de boca ancha. Se agregó al frasco una solución jabonosa (300 ml de agua más 0,5 g de detergente en polvo), la cual se agitó por 1 min para separar los ácaros del cuerpo de las abejas. El líquido se filtró a través de un cedazo de 8 agujeros por pulgada para separar las abejas. Luego, el líquido filtrado se tamizó por segunda vez a través de un cedazo fino, donde quedaron retenidos los ácaros. Se cuantificaron tanto los ácaros como las abejas, con un reporte de infestación de la muestra, obtenido de la relación porcentual del: número de ácaros/número de abejas adultas x 100 (Bailey y Ball 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron un total de 161 muestras de panal con cría y 163 muestras de abejas adultas, pertenecientes a 96 apicultores. La mayoría de muestras correspondió a las provincias de San José, Guanacaste y Alajuela (Cuadro 2). No se tomaron muestras de Heredia ni de Limón, debido a que la apicultura en estas zonas es escasa (principalmente por las condiciones climáticas).

De las muestras de panal analizadas, un alto porcentaje resultó positiva a Loque europeo y Varroosis; mientras que todas las muestras resultaron negativas a Loque americano (Cuadro 3).

Cuadro 2. Muestras de panal (n=161) y abejas adultas (n=163) analizadas por provincia para el diagnóstico de enfermedades en Costa Rica (setiembre-noviembre del 2007).

Provincia	Panales con cría		Abejas adultas	
	Número de muestras	%	Número de muestras	%
San José	56	34,8	53	32,5
Guanacaste	51	3,7	41	25,2
Alajuela	29	18,0	35	21,5
Puntarenas	23	14,3	32	19,6
Cartago	2	1,2	2	1,2

Cuadro 3. Muestras de panales examinadas para el diagnóstico de Loque americano, Loque europeo, Varroosis, Cría de tiza y Polilla.

Enfermedad	Muestras analizadas	Muestras positivas	(%)
Loque americano	161	0	0
Loque europeo	161	88	54,7
Varroosis	161	61	37,9
Cría de tiza	161	7	4,4
Polilla	161	53	32,9

Loque americano: El primer reporte oficial de Loque americano en Costa Rica indica la presencia de esta enfermedad bacterial desde 1985 (Blanco 1990). En el presente estudio todas las muestras de panal analizadas resultaron negativas a Loque americano. Lo anterior corresponde con lo observado en los últimos 12 años, en los reportes de esta enfermedad bacterial han sido escasos. Al respecto, en mayo de 1999, se determinó la presencia de Loque americano, en muestras de panal provenientes de San Ignacio de Acosta. Asimismo, en diciembre del 2006, un apiario ubicado en el cantón de Mora (Ciudad Colón), fue inspeccionado debido a la sospecha de cría enferma. Se revisaron 10 colmenas, de las cuales 2 presentaron serios problemas de mortalidad en la cría sellada. Con base en la inspección sanitaria realizada al apiario afectado, la sintomatología clínica observada en la cría sellada y en los diferentes análisis de laboratorio, se determinó la presencia de *P. larvae*, agente causal de Loque americano (Calderón y Zamora 2007). Tanto el caso de Acosta, como el del cantón de Mora, se confirmaron en el Laboratorio de Patología Apícola del CINAT. Debido a la importancia de esta enfermedad bacterial y acorde con lo reportado en la literatura (Bailey y Ball 1991, Ritter 2001), se recomendó la eliminación de las colmenas más afectadas y el tratamiento de las restantes. Asimismo, se restringió la movilización de colmenas del área afectada. Al tomar en cuenta la facilidad de transmisión de la enfermedad, la práctica intensiva de trasladar colonias de abejas a diferentes zonas apícolas, la dispersión de enjambres africanizados y la ausencia de

prácticas adecuadas de control, se determina que la incidencia de esta enfermedad hubiera tenido efectos muy drásticos.

Loque europeo: Un 54,7 de las muestras analizadas resultaron positivas a Loque europeo (Cuadro 3). En años recientes, se ha observado un aumento en la presencia de esta enfermedad en Costa Rica, lo cual corresponde con lo determinado en este estudio (Calderón y Ortiz 2000). La mayor prevalencia correspondió a octubre; mientras que en setiembre se determinó la menor cantidad de muestras positivas (Figura 1). La provincia con mayor prevalencia fue San José, mientras que en Puntarenas se determinó la menor cantidad. Algunos de los cantones que resultaron más afectados por Loque europeo fueron Hojancha, Coto Brus, Acosta, San Ramón, entre otros.

El alto índice de prevalencia de Loque europeo puede estar relacionado con la época del año en que se realizó el estudio (setiembre-noviembre). Las condiciones de alta humedad presentes en la época lluviosa y la reducción en la población de abejas en la colmena (colmenas débiles debido a la escasez de alimento), favorecen el desarrollo de esta enfermedad bacterial (Bailey y Ball 1991). Se ha reportado que en casos de infección leve, el Loque europeo puede ser controlado por abejas que presentan un alto comportamiento higiénico (remoción de la cría afectada) (Shimanuki et al. 1992). Sin embargo, en colmenas débiles puede persistir, lo que ocasiona una disminución significativa en la producción de miel y un retraso en el desarrollo de la población de abejas pecoreadoras (abejas

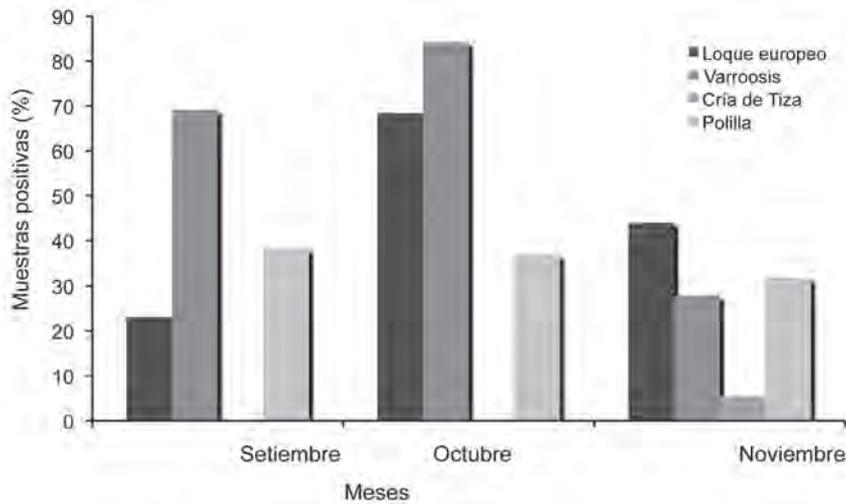


Fig.1. Prevalencia de enfermedades que afectan la cría de las abejas melíferas.

que colectan polen y néctar), que comprometería la viabilidad de la colonia.

Varroosis: La Varroosis es considerada como uno de los problemas sanitarios de mayor importancia económica a nivel mundial (Ritter 2001). En nuestro país apicultores de diferentes zonas apícolas han reportado la pérdida de colmenas y una reducción en la producción de miel, debido a la presencia del ácaro *V. destructor* en los apiarios (Calderón et al. 1999).

En este estudio un 37,9% de las muestras de panal resultaron positivas a Varroosis. Mientras que en las muestras de abejas adultas, un 40,5% resultaron positivas, lo cual es similar a lo observado en el 2006, en que se determinó un 42,0% de muestras con presencia del ácaro *V. destructor* (Calderón et al. 2007).

Un aspecto a resaltar es que el 60,7% (n=61) de las muestras de panal positivas presentó un nivel de infestación leve, similar al encontrado en abejas adultas el cual corresponde a un 60,6% (n=66). Mientras que un 18,1% y un 16,7% de las muestras presentaron un nivel de infestación fuerte en panales y abejas adultas, respectivamente.

En octubre se determinó el mayor número de muestras de panal positivas a varroa (84,2%

n=61); mientras que en noviembre se observó la menor cantidad (27,9% n=61). El nivel de infestación observado en noviembre, puede estar relacionado con la aplicación de productos acaricidas para su control. Se debe tomar en cuenta que el daño que la Varroosis causa a las colmenas depende del grado de infestación. Se estima que el mayor efecto negativo sobre la producción se observa cuando la población de ácaros supera el 10% de infestación (Ritter 2001). La provincia con la mayor prevalencia a varroa correspondió a Puntarenas, mientras que la menor prevalencia se observó en Guanacaste (Figura 1). Aunque Cartago presentó una prevalencia del 100%, únicamente se evaluaron 2 muestras por lo que dicho resultado no se considera representativo. En diciembre del 2008, se determinó una alta infestación de varroa (nivel infestación fuerte=superior al 13,0%) en colmenas ubicadas en Jicaral de Puntarenas y en Linda Vista de Cartago, aspecto importante de resaltar ya que en diciembre inicia la cosecha de miel en Costa Rica. Para esta época, las colmenas deberían presentar bajos niveles de infestación de varroa y estar en buenas condiciones sanitarias para el inicio de la producción de miel.

Cría de tiza: En el 2004 se reportó la presencia del hongo *A. apis*, agente causal de la Cría de tiza en colmenas de abejas Africanizadas en Costa Rica (Calderón et al. 2004). Desde entonces, se ha observado con cierta frecuencia la presencia de este hongo en muestras de panal remitidas al laboratorio. En el presente estudio se determinó una baja prevalencia de cría de tiza, donde noviembre es el mes con mayor cantidad de muestras positivas (Figura 1). La provincia con la mayor prevalencia correspondió a San José, mientras que la menor se observó en Guanacaste. En la mayoría de panales con cría de tiza, se determinó la presencia de otras enfermedades como Loque europeo y Varroosis. Se indica que la presencia de esta enfermedad fúngica esta relacionada con una baja población de abejas adultas (colmenas débiles: incapaces de mantener la temperatura de la cámara de cría constante), y a condiciones de alta humedad relativa (estación lluviosa) (Bailey y Ball 1991). De manera general, la cría de tiza no es considerado un problema muy serio para la apicultura, reportándose en muchos casos como una condición de escasa importancia económica (Ritter 2001).

Polilla: Un 32,9% de las muestras analizadas resultaron positivas a polilla, presentándose la mayor prevalencia en setiembre (Figura 1). La provincia con mayor cantidad de muestras positivas fue San José, mientras que Guanacaste presentó el menor número de panales positivos a polilla. Los cantones más afectados son: Acosta, Aserrí, Hojancha y Jicaral. Se ha indicado que ciertas condiciones favorecen el desarrollo de la polilla. Por ejemplo, la polilla mayor, *G. mellonella*, produce daño en colonias débiles, especialmente en aquellas colmenas que reciben una mala alimentación durante la época de escasez o en colmenas altamente infestadas con el ácaro *V. destructor* (Shimanuki et al. 1992). Asimismo, la polilla afecta colmenas abandonadas por las abejas (evasión) o panales que el apicultor deja tirados en el apiario. Una colonia con una población moderada de abejas no permite el desarrollo de la polilla, ya que al emerger las larvas del lepidóptero, son eliminadas de la colmena por las obreras (BID/OIRSA 1990, Ritter 2001).

Un número considerable de muestras de abejas adultas examinadas resultaron positivas a Nosemiasis (Figura 2); mientras que la mayoría fueron negativas a Acariosis (Cuadro 4). La alta

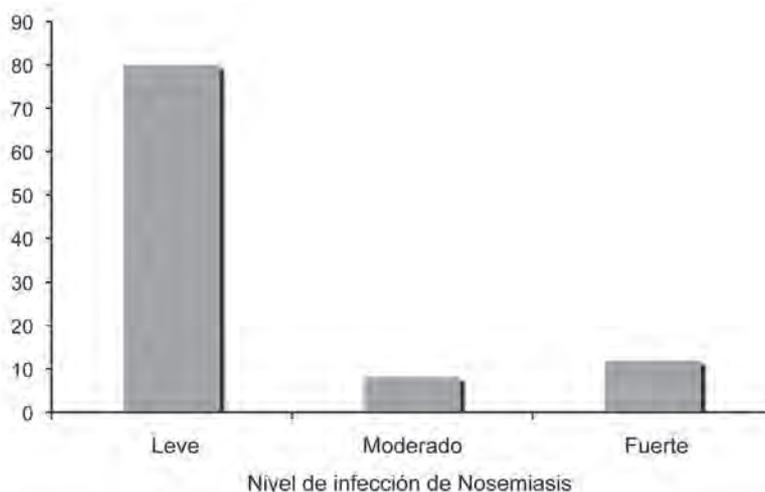


Fig. 2. Nivel de infección de Nosemiasis en abejas melíferas (n=110). La mayoría de muestras presentó un nivel de infección leve.

Cuadro 4. Muestras de abejas adultas analizadas para el diagnóstico de Nosemiasis, Acariosis y Varroosis en Costa Rica (n=163) (setiembre-noviembre del 2007).

Enfermedad	Muestras positivas	(%)
Nosemiasis	110	67,5
Acariosis	3	1,8
Varroosis	66	40,5

prevalencia de Nosemiasis y la poca incidencia de Acariosis; coincide con los resultados obtenidos en el primer muestreo nacional realizado en el 2006, en el cual se observó una cantidad considerable de muestras positivas a Nosema, y una prevalencia inferior al 1,2% para Acariosis (Figura 3) (Calderón et al. 2007).

Nosemiasis: La prevalencia de Nosemiasis obtenida en el presente estudio (67,5%), es considerablemente mayor a la observada en el 2006 (28,0% de muestras positivas) (Figura 3) (Calderón et al. 2007, Calderón y Fallas 2009).

La mayor presencia de Nosema se determinó en la provincia de Alajuela, principalmente

en los cantones de San Mateo y San Ramón; mientras que en Guanacaste y San José se observó la menor prevalencia (Figura 4). La mayoría de muestras positivas a Nosemiasis (n=110) presentó un nivel de infección leve (Figura 2). Se debe indicar que en colmenas con baja cantidad de esporas, la Nosemiasis no se manifiesta clínicamente, ya que se encuentra en un estado de latencia. Sin embargo, ciertas condiciones como periodos de encierro de las abejas dentro de la colmena (hacinamiento), debido principalmente a lluvias prolongadas, fríos intensos o fuertes vientos favorecen su desarrollo, lo que ocasiona que un nivel de infección leve, aumente a moderado o incluso alcance un nivel fuerte (Ritter 2001). Un 11,9% de las muestras analizadas presentó un nivel de infección fuerte, principalmente en noviembre, mes en el que las colmenas deben estar en buenas condiciones sanitarias para el inicio de la cosecha de miel.

Acariosis: El 1,8% de muestras positivas a Acariosis determinado en este estudio (Cuadro 4), es similar a lo observado en el 2006, donde se obtuvo una prevalencia del 1,1% (Figura 3). Lo anterior, corresponde con la disminución en la prevalencia de esta enfermedad parasitaria observada en los últimos años en Costa Rica. En 1999, un 15,0% (n=112) de las muestras analizadas resultó positiva a Acariosis, con niveles de

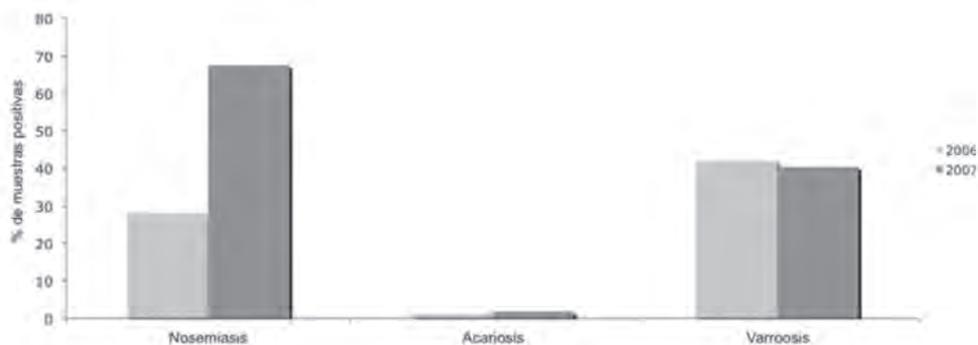


Fig. 3. Prevalencia de Nosemiasis, Acariosis y Varroosis determinada en Costa Rica en el 2006 (n= 262) y 2007 (n= 163).

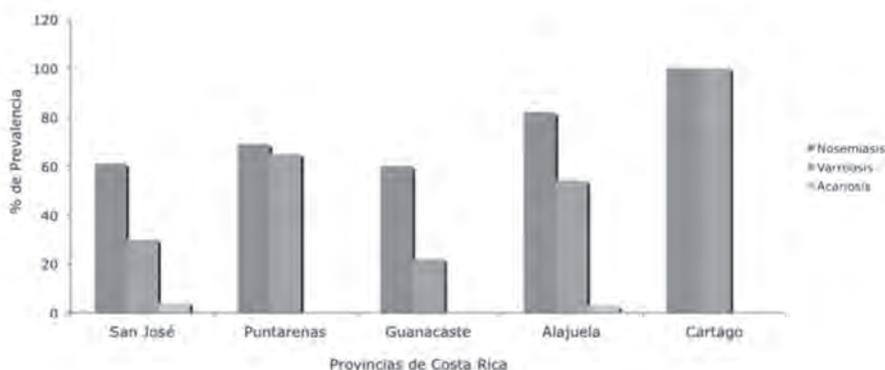


Fig. 4. Incidencia de Nosemiasis, Varroosis y Acariosis en abejas Africanizadas procedentes de diferentes provincias de Costa Rica.

infección de moderado a fuerte (Calderón y Ortiz 2000). La aplicación intensiva de ácido fórmico al 65–85% (v/v) para el control del ácaro *V. destructor* en nuestro país (1997-2002), podría estar relacionada con este descenso, ya que este ácido posee una alta efectividad en el control del ácaro *A. woodi* (Calderón et al. 2009, Ritter 2001).

La alta incidencia de ciertas enfermedades, como Loque europeo, Varroosis y Nosemiasis determinada en este estudio, puede estar relacionada con la época del año en que se realizó la investigación (estación lluviosa) y la escasa aplicación de medidas preventivas en los apiarios. Es frecuente observar colmenas con panales oscuros, exceso de marcos vacíos y baja población de abejas adultas. Asimismo, la mayoría de apicultores del país no realiza diagnóstico preventivo de enfermedades y en algunos casos, se exceden en la aplicación innecesaria e inadecuada de medicamentos (antibióticos, acaricidas). Por lo anterior, es necesario implementar un programa sanitario en los apiarios mediante muestreos periódicos (2 veces al año), para conocer la situación sanitaria de las colmenas. Esto permitirá tomar acciones inmediatas relacionadas con la prevención y la aplicación de medidas oportunas para el control de las enfermedades. Principalmente durante la estación lluviosa, época en la que hemos determinado con base en el estudio realizado, una alta incidencia de enfermedades.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a los apicultores que participaron en este muestreo nacional de enfermedades. A los diferentes técnicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), especialmente a la Lic. Ana Cubero, por su participación activa en la colecta y envió de muestras. Asimismo, agradecemos a los asistentes que participaron en el procesamiento de las muestras en el laboratorio.

LITERATURA CITADA

- BAILEY L., BALL B. 1991. Honey Bee Pathology. Second Edition. Academic Press, London, UK. 193 p.
- BALL B. 1996. Honey bee viruses: a cause for concern. *Bee World* 77:117-119.
- BEW M. 1992. Varroasis disease of honey bees-diagnosis and control. MAFF leaflet, London, UK. 8 p.
- BID/OIRSA. 1990. Enfermedades de la cría y de las abejas adultas, pp. 147. In: Programa regional para el manejo y control de la abeja africanizada (ed). Enfermedades y Plagas de la Abeja Melífera Occidental, San Salvador, El Salvador.
- BLANCO G. 1990. Loque americana en las abejas melíferas de Costa Rica. *Ciencias Veterinarias* 12:2-3.

- CALDERÓN R.A., ARCE H., VAN VEEN J. 1998. Detección, distribución y control de *Varroa jacobsoni* Oudemans en Costa Rica. *Ciencias Veterinarias* 21:29-38.
- CALDERÓN R.A., ARCE H., VAN VEEN J., LALAMA K. 1999. Efectividad de algunos productos utilizados para el control de la Varroasis en Costa Rica, pp. 24-26. In memorias del VI Congreso Nacional de Apicultura.
- CALDERÓN R.A., FALLAS N. 2009. Prevalencia del microsporidio *Nosema* sp., en abejas Africanizadas en Costa Rica. *Boletín de Parasitología* 10:1-4.
- CALDERÓN R.A., ORTIZ A. 2000. Principales enfermedades que afectan a las abejas melíferas. *Notas Apícolas Costarricenses* 6:1-24.
- CALDERÓN R.A., RIVERA G., SÁNCHEZ L.A., ZAMORA L.G. 2004. Chalkbrood (*Ascosphaera apis*) and some other fungi associated with Africanized honey bees (*Apis mellifera*) in Costa Rica. *Journal of Apicultural Research* 43:187-188.
- CALDERÓN R.A., SÁNCHEZ L., FALLAS N. 2009. Presencia de Acariosis en abejas melíferas en Costa Rica. *Boletín de Parasitología* 10:1-4.
- CALDERÓN R.A., SÁNCHEZ L., FALLAS N., CUBERO A., MUÑOZ A. 2007. Prevalencia de las principales enfermedades que afectan a las abejas melíferas en Costa Rica, pp. 87. In: *Memorias del IX Congreso Nacional de Apicultura*.
- CALDERÓN R.A., SÁNCHEZ L.A., YAÑEZ O., FALLAS N. 2008. Presence of *Nosema ceranae* in Africanized honey bee colonies in Costa Rica. *Journal of Apicultural Research and Bee World* 47:328-329.
- CALDERÓN R.A., ZAMORA L.G. 2007. Presencia de Loque americana en colmenas de abejas africanizadas en Costa Rica, pp. 87. In: *Memorias del IX Congreso Nacional de Apicultura*.
- CANTWELL G.E. 1970. Standard methods for counting nosema spores. *American Bee Journal* 110:222-223.
- DUFOL M., MARTÍNEZ A., SÁNCHEZ C. 1991. Comparative test of fluvalinate and flumethrin to control *Varroa jacobsoni* Oudemans. *Journal of Apicultural Research* 30:103-106.
- GILLIAM M., VANDENBERG J. 1997. Fungi, pp. 718. In: R.A. Morse y R. Nowogrodzki (eds) *Honey bee Pest, Predators and diseases*. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.
- HIGES M., MARTIN R., MEANA A. 2006. *Nosema ceranae*, a new microsporidian parasite in honey bees in Europe. *Journal of Invertebrate Pathology* 92:93-95.
- RITTER W. 2001. *Enfermedades de las abejas*. Editorial Acribia S.A., Zaragoza, España. 146 p.
- SHIMANUKI H., KNOX D., DE JONG D. 1992. Diseases of pests of honey bees, pp. 1324. In: J.M. Graham (ed). *The Hive and the Honey Bee*. Dadant and sons, Illinois, USA.
- VAN VEEN J.W., CALDERÓN R.A., CUBERO A., ARCE H.G. 1998. *Varroa jacobsoni* Oudemans in Costa Rica: Detection, spread and treatment with Formic Acid. *Bee World* 79:5-10.

EFFECTO DEL GRADO DE MADUREZ Y LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA PAPAYA HÍBRIDO POCOCÍ

Gerardina Umaña^{1/*}, Carlos Luis Loría^{**}, Juan Carlos Gómez^{***}

Palabras clave: *Carica papaya*, poscosecha, almacenamiento, grados de maduración, temperatura de almacenamiento.

Keywords: *Carica papaya*, postharvest, storage, maturity stages, storage temperature.

Recibido: 25/02/11

Aceptado: 17/08/11

RESUMEN

Se cosechó en Cariari (Guápiles), papaya Híbrido Pococí con 4 grados de maduración, con el objetivo de conocer cambios en las características físico-químicas que ocurren en la fruta bajo 2 condiciones de almacenamiento: 1) 22°C y 85% humedad relativa (temperatura ambiente) y 2) 14°C y 95% humedad relativa, durante 14 días, seguidos de 9 días a 22°C y 85% humedad relativa. Los valores de la tasa respiratoria al inicio del almacenamiento a temperatura ambiente fueron bajos (6,3-13,3 ml.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂), con importante alza entre el día 3 y 5, sin encontrarse diferencias significativas entre tratamientos a partir del día 7. Los frutos cosechados con grado 3, alcanzaron al menos un 75% de amarillo en el día 7, mientras que frutos de grado 1, en el día 9. A partir del día 5, no se presentaron diferencias en firmeza de cáscara entre los grados 1, 2 y 3. Se registraron valores de firmeza en pulpa menores a 20 N (relacionados con madurez de consumo), en los días 7 (grado 2 y grado 3) y 9 (grado 1). Después de salir del almacenamiento a 14°C, la respiración de los grados 1, 2 y 3 fue estadísticamente igual, con aumento importante en el día 5 del almacenamiento a temperatura ambiente. Se observó un incremento rápido en el porcentaje de

ABSTRACT

Effect of maturity stage at harvest and storage conditions on the ripening behavior of Pococi hybrid papayas. Papayas (Híbrido Pococí) were harvested from a field in Cariari, Guapiles, Costa Rica, with 4 maturity degrees, which were defined by the number of yellow stripes on the surface of the fruit (0, 1, 2 or 3 stripes). The objective was to understand changes in the physico-chemical characteristics that occur in papayas under 2 storage conditions: 1) 22°C and 85% RH (RT), or 2) 14°C and 95% RH (CT), both during 14 days, followed by room temperatures storage for 9 more days. At the beginning of the storage at RT (22°C), respiration rates of the fruits were low 6.3 to 13.3 ml.kg⁻¹.h⁻¹ CO₂, then an abrupt increase was observed between day 3 and 5. Fruit respiration rates did not differ among treatments after 7 days, regardless of the differences in color stripes number at harvest (0, 1, 2 or 3 stripes). Yellow coverage of the skin reached 75% of total area, after 7 days of storage for fruits picked with 2 or 3 yellow stripes, while fruits with one 1 stripe at harvest reached that color until day 9. Pulp firmness decreased throughout storage, reaching values below 20 N (good for consumption) at day 7 (2 and 3 stripes)

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: gerardina.umana@ucr.ac.cr

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

** Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica.

*** Corporación Agrícola del Monte, Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica.

amarillo entre los días 3 y 7 hasta alcanzar, todos los grados, porcentajes superiores al 75% en el día 7. A la salida del almacenamiento en frío, se encontró una pérdida importante de firmeza de la cáscara hasta 83% y de la pulpa hasta 90%. Los grados brix al momento de cosecha estuvieron comprendidos entre 7,9 y 11,3, con poca variación durante el almacenamiento, situación parecida a lo que se presentó con la acidez titulable.

INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.), es una planta perteneciente a la familia Caricaceae, originaria de América tropical, del sur de México hasta Costa Rica; cultivada en la actualidad en diferentes regiones tropicales y subtropicales del mundo (Guillén 2002), con una producción mundial en el año 2008 de 9 732 158 de toneladas (FAO 2011).

Para el año 2005, Costa Rica registró 596,11 hectáreas y un total de 35 570 (t), con un rendimiento promedio de 59,67 t.ha⁻¹, uno de los más altos del mundo. Para estimular el consumo de esta fruta a nivel nacional, así como de proveer a los agricultores de nuevas variedades para diversificar, el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad de Costa Rica (UCR) desarrollaron materiales con potencial (Mora y Bogantes 2004). A raíz de esto, se liberó el híbrido "Pococí", lo que incrementó la producción y comercialización de papaya y a la vez se creó la necesidad de mejorar el manejo de esta en cosecha y en poscosecha.

Los criterios que se utilizan para determinar el momento oportuno de cosecha de los frutos pueden estar basados en apariencia, textura, sabor, tamaño, (Kader 1998), y otros más complejos como el tiempo que transcurre entre la floración y la cosecha, la medición de las unidades de calor, ritmo de respiración, contenido de

and 9 (1 stripe) of storage at RT. After storage at 14°C, fruit harvest at 1, 2 or 3 stripes showed similar respiration rates; an important increase was observed at day 5 at room temperature. Development of the skin color increased for all stripes between day 3 and 7, reaching 75% of total at day 7. Skin and pulp firmness of papaya fruits significantly decreased to 83% and 90%, respectively, after stored at 14°C. On the other hand, soluble solids content (SSC) and titratable acidity (TA) did not significantly varied during storage.

sólidos solubles y proporción azúcar/acidez entre otros (FAO 1993).

La maduración en los frutos se define como la fase en la cual un producto ha alcanzado un estado suficiente de desarrollo como para que después de la cosecha y del manejo poscosecha, su calidad sea aceptable (Kader 1998).

La papaya experimenta cambios como pérdida de firmeza, producción de azúcares y constituyentes del sabor acelerados por la producción de etileno y un incremento repentino en la actividad respiratoria, la cual se conoce como etapa de climaterio (Paull y Chen 1983, González 1997). Sin embargo, el primer signo visible de la maduración de este fruto se da por cambios en el color como resultado del aumento en el contenido de pigmentos y disminución significativa del contenido de clorofila (Santos et al. 2005).

En Costa Rica, el criterio más común para la cosecha de papaya es la presencia de fajas longitudinales de coloración amarilla (también llamadas rayas, franjas o pintas) que inician y se concentran en el ápice de la fruta. La decisión de los estados de madurez para cosecha dependen de la distancia a la que se encuentre el mercado, del volumen y precios (Guzmán 1998).

El objetivo de esta investigación fue conocer los cambios en las características físico-químicas que ocurren en frutos de papaya var. Híbrido Pococí cosechados con diferentes grados de maduración y mantenidos en 2 condiciones de temperatura de almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se cosecharon frutos de papaya Híbrido Pococí, tipo cacho, sin daños, golpes, o pudriciones, tamaño mediano, con peso promedio 1 100 g, de una finca dedicada a la producción comercial de papaya, ubicada en Cariari de Guápiles, provincia de Limón, en la zona Atlántica de Costa Rica, a una altitud de 50 msnm.

Las fechas de inicio de los ensayos fueron el 23 de agosto del 2007, en la que se cosecharon un total de 120 frutas para el ensayo de maduración a temperatura ambiente (22°C) que es la temperatura promedio en la que usualmente se almacena y maneja la papaya para el mercado nacional y el día 11 de setiembre del 2007, en el que se cosecharon 120 frutas para el ensayo de almacenamiento a 14°C que es la temperatura a la que se recomienda transportar la papaya al mercado europeo, para luego ser sacada de los contenedores y manejada a temperatura ambiente mientras es vendida en los mercados. Los frutos fueron cubiertos con papel periódico para amortiguar golpes y roces entre ellos; luego fueron trasladados al Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) en la Universidad de Costa Rica, en donde se lavaron en agua con cloro (50 mg.l⁻¹) y se sumergieron en una solución en agua con el fungicida tiabendazole (500 mg.l⁻¹ de ingrediente activo) y se envolvieron completamente en papel periódico blanco.

En ambas fechas, se cosecharon frutos con los grados de maduración utilizados actualmente por los agricultores, determinados en función de la ausencia o presencia de franjas de color amarillo en el ápice de la fruta y que constituyeron los tratamientos a evaluar:

Tratamiento 1. Grado 0: frutos en madurez fisiológica con solo un incipiente cambio de color verde oscuro a verde claro, sin notarse ninguna franja definida.

Tratamiento 2. Grado 1: frutos en madurez fisiológica, con un área de cambio de color verde a amarillo en la cáscara, en una parte cercana al ápice de la fruta (una franja).

Tratamiento 3. Grado 2: frutos en madurez fisiológica, con 2 áreas de cambio de color verde a amarillo en la cáscara (2 franjas).

Tratamiento 4. Grado 3: frutos en madurez fisiológica, con 3 áreas de cambio de color verde a amarillo en la cáscara (3 franjas).

Para el primer ensayo, los frutos fueron almacenados a una temperatura de 22°C y 85% de HR, condiciones que se denominan temperatura ambiente. Estos fueron evaluados antes de introducirlos en la cámara (día 1) y a los 3,5,7,9 y 11 días después de cosechados y de permanecer almacenados a temperatura ambiente.

En el segundo ensayo, los frutos se almacenaron por 14 días a 14°C y 95% de HR y luego a 22°C y 85% de HR por 9 días (condiciones de temperatura ambiente). Estos se evaluaron el día que ingresaron a la cámara (día 1), después el día de la salida de la cámara, y a los 3, 5, 7 y 9 días de permanencia en almacenamiento a temperatura ambiente.

Las variables evaluadas se detallan a continuación:

1. Tasa de respiración: La tasa respiratoria se determinó al pesar y colocar el fruto en un recipiente hermético, de volumen conocido, que formó un sistema cerrado. Para lograr el equilibrio se dejó por 1 h, luego se tomó una muestra del aire interno del recipiente por 15 s, la cual se inyectó a un analizador infrarrojo de dióxido de carbono (Illinois Instrument, modelo 6600) para determinar el contenido de los gases. Con los datos obtenidos se calculó la tasa respiratoria de cada papaya por medio de la siguiente fórmula:

$$CO_2 \text{ (ml.kg}^{-1}\text{.h}^{-1}\text{)} = \frac{[CO_2f]-[CO_2i]*V_{rep}-P}{100 \frac{P}{T} * 1000}$$

donde:

[CO₂f]=Concentración final de CO₂ expresada en porcentaje.

[CO₂i]=Concentración inicial de CO₂ expresada en porcentaje.

V_{rep}=Volumen del recipiente en cm³.

P=peso del fruto en gramos.

T=Tiempo en horas.

2. Color amarillo de la cáscara: Se evaluó como el porcentaje de color amarillo presente en la cáscara.

3. Firmeza de cáscara y pulpa: Con el uso de un penetrómetro John Chatillón Dpp-100 N 100n x 1N, con punzón en forma de diente, se obtuvo el grado de firmeza de ambos tejidos. Los datos se tomaron de la parte central del fruto (ecuador) con 3 mediciones y para las mediciones de la firmeza de la pulpa, se removieron porciones de cáscara con igual grosor, un pelador de frutas.

4. Porcentaje de sólidos solubles (azúcares totales o grados brix): El porcentaje de sólidos solubles se obtuvo de muestras de la parte ecuatorial de la pulpa, las cuales fueron licuadas y filtradas a través de una gasa, para luego hacer la determinación de los azúcares con ayuda de un refractómetro digital marca Atago Pocket Pal-1.

5. Acidez titulable: Se tomaron muestras de jugo de la parte central del fruto y con un titulador automático marca Orion, se tituló con una solución de NaOH 0,1 N a un pH de 8,2. El porcentaje de acidez titulable se calculó con base en el ácido málico.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en ambos ensayos fue un irrestricto al azar con 4 tratamientos (grados de maduración), con 4 repeticiones, con 5 frutas cada repetición. Se realizó un Anova a los datos y la separación de medias se hizo mediante la prueba del LSD ($p=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La papaya Híbrido Pococí almacenada a temperatura ambiente (22°C), presentó diferentes cambios, algunos no tan fáciles de percibir, como fue el aumento en la tasa de respiración, otros más evidentes como el desarrollo del color amarillo y disminución de firmeza, que forman parte

del proceso de maduración en un fruto climatérico (Willis et al. 1998).

En la fruta almacenada durante 2 semanas a 14°C , por efecto de la temperatura más baja, se retrasaron algunos procesos de la maduración como el desarrollo de color amarillo, pero luego al colocarla a temperatura ambiente (22°C), estos continuaron, sin presentar alteraciones en la apariencia ni daños por frío.

La temperatura para el almacenamiento en frío varía según el cultivar y grado de maduración de la papaya, las temperaturas recomendadas fluctúan en el rango de $10-13,5^{\circ}\text{C}$, sin embargo, se ha observado que si la fruta tiene menos de 60% de amarillo y se almacena a 10°C , se pueden presentar daños por frío (Teixeira et al. 2007).

Tasa de respiración

Se encontró que los valores de la tasa de respiración al inicio del almacenamiento (Figura 1A) a temperatura ambiente fueron bajos, estuvieron comprendidos entre $6,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ de CO_2 para el grado 0 y el mayor valor para el grado 2 con $9,10 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ de CO_2 ($p=0,0097$), notándose un incremento entre los días 3 y 5, siendo las tasas detectadas para este último día de $24,54 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ de CO_2 (grado 0), $37,18$ (grado 1), $37,64$ (grado 2) y $27,58$ (grado 3) ($p=0,0488$), lo que según Sañudo et al. (2008), podría estar relacionado con el pico climatérico. Después se observó una merma entre los días 7 y 9 y una nueva alza en el día 11 sin diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Hasta el día 5, el grado 0 presentó los menores valores de respiración, hasta el día 7, a partir del día 7, no se detectaron diferencias entre los tratamientos para esta variable.

Kader (2002) señala valores para la tasa de respiración entre $15 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ de CO_2 para papayas verdes hawaianas y $35 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ de CO_2 para papayas maduras mantenidas a 20°C , que al compararlos con los obtenidos para los frutos del Híbrido Pococí, resultan más altos en la papaya hawaiana verde, pero semejantes en la fruta madura. Bron y Jacomino (2006) informan que los valores para la papaya de la variedad Golden a

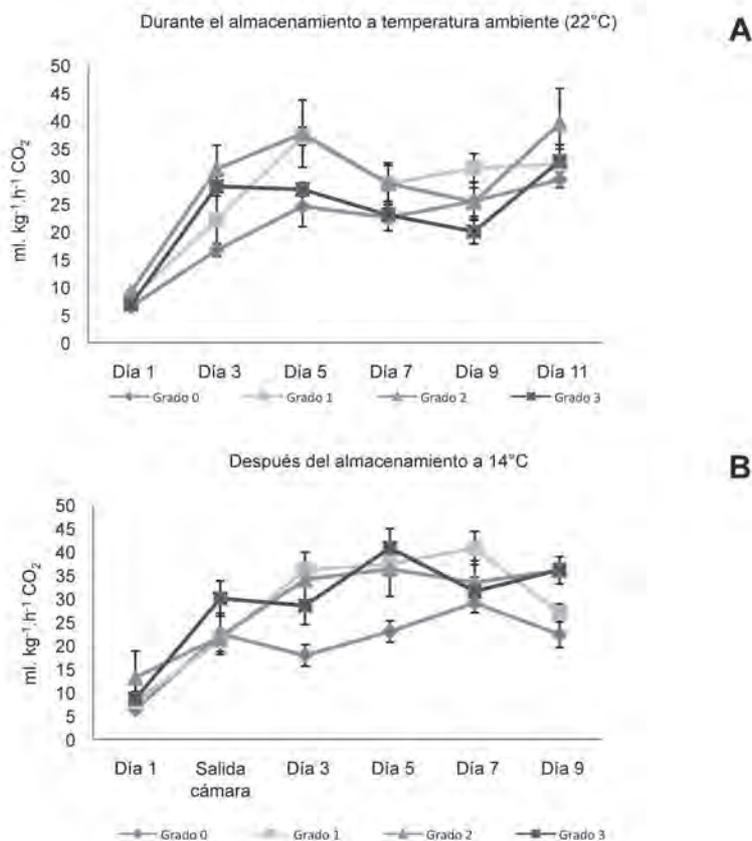


Fig. 1. Respiración de frutos de papaya de la variedad híbrido Pococí con diferente de cosecha evaluados en diferentes días durante el almacenamiento a temperatura ambiente (A) y frutos mantenidos a temperatura ambiente luego del almacenamiento durante 14 días a 14°C (B).

partir del segundo día de almacenamiento a 23°C son de 31 ml.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ para fruta con grado de madurez 0, 1 y 2 y de 37 ml.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ para fruta con grado 3, valores muy semejantes aún cuando los índices de cosecha implican en este caso, fruta con un estado de maduración distinto, donde el grado 0 ellos lo designan para fruta verde, grado 1 para fruta con color amarillo que no alcanza más del 15% de la superficie, grado 2 para fruta con 16-25% de color amarillo, grado 3 con 26-50% de amarillo.

En el caso de los frutos de la papaya que fueron almacenados a 14°C durante 2 semanas (Figura 1B), antes de ingresar a la cámara de

refrigeración (día 1), la respiración estuvo comprendida entre 6,33 ml.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ (grado 0) y 13,33 (grado 2) (p=0,4638). A la salida de cámara, los frutos tenían una tasa respiratoria en los rangos de 21 ml.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ (grado 1) y 29,98 (grado 3) (p=0,2093). Entre los día 3 y 5 después de haber salido del almacenamiento en frío, hubo un incremento importante en esta variable, encontrándose diferencias estadísticas en la tasa respiratoria entre los grados 0 y los grados 1,2,3. En el día 5 se registraron los mayores valores, con 22,93 ml.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ para el grado 0, 37,3 para el grado 1, 36,25 para el grado 2 y 40,78 para el grado 3 (p=0,02). Después se observó una

merma entre los días 5 y 7, y una nueva alza en el día 9 para los grados 2 y 3. Los valores de la tasa de respiración de los frutos con los grados de maduración 1, 2 y 3, no presentaron diferencias estadísticas después de haber salido del almacenamiento a 14°C durante 2 semanas y permanecer a temperatura ambiente durante 9 días.

Desarrollo de color amarillo

El color amarillo es uno de los principales criterios a considerar, tanto a la hora de la cosecha de la papaya, como para la comercialización y el consumo. Antes del almacenamiento a temperatura ambiente, la papaya con el grado 0 presentó 0% de color amarillo, la fruta de grado 1 (1 franja) un 3%, el grado 2 (2 franjas) un 7% y el grado 3 (3 franjas) un 12%.

Los valores para la fruta que iba a ser almacenada en frío fueron de un 8% de amarillo para la de grado 0, 2% para la de grado 1 y un 15% para la de los grados 2 y 3. En el caso de la fruta de grado 0, cuando se cosechó, no presentaba ninguna franja de color amarillo definida en la zona apical, sino que eran áreas de color amarillo en otras zonas de la papaya, como por ejemplo, áreas en contacto de la fruta con el tallo, y que fueron contabilizadas por si pudieran tener algún efecto en el proceso de maduración.

El color amarillo fue incrementándose durante el almacenamiento a temperatura ambiente (Figura 2A), presentándose diferencias estadísticas entre los tratamientos a través del tiempo, con el mayor aumento entre los días 5 y 9 de almacenamiento. Los menores porcentajes de color se presentaron en la fruta cosechada con grado 0. Según An y Paul (1990), si la papaya es cosechada con madurez fisiológica cuando muestra el inicio del color amarillo, y se le almacena a temperaturas óptimas, entre 22,5°C y los 27,5°C, tarda entre 10-16 días hasta estar completamente amarilla.

Zhou et al. (2004) citados por Santamaría et al. (2009), señalan que el consumo de la papaya Maradol se recomienda cuando los frutos tienen 75% de color, mientras que según Rocha et al. (2005), la papaya Formosa debe de presentar más

de 50%. Al considerar el primer criterio como modelo del porcentaje mínimo de color amarillo que debería tener la papaya Híbrido Pococí para su consumo (aunque este va a depender del gusto de los diferentes consumidores), se determina que alcanzó ese valor en frutos cosechados con grado 3 el día 7 de almacenamiento a temperatura ambiente, en ese momento, no presentaba diferencias estadísticas con el grado 2. Los frutos con grado 1, alcanzaron el 75% de amarillo a partir del día 9, y los frutos cosechados con grado 0, en el día 11.

La papaya, después de permanecer 2 semanas a 14°C (Figura 2B), presentó a la salida de cámara un avance en el color amarillo, con un 20% para el grado 0, un 28% para el grado 1, un 30,5% para el grado 2 y 40% para el grado 3 ($p=0,0001$), manteniéndose para los siguientes días la tendencia en la que el grado 0 registró los menores valores de amarillo y el grado 3 los mayores.

El mayor incremento en el porcentaje de amarillo se dio entre los días 3 y 7 después de ser trasladada la fruta de 14°C a 22°C, para llegar a porcentajes de color amarillo superiores al 75% a partir del día 7 en todos los grados, sin detectarse en esa evaluación, diferencias estadísticas entre los grados 0, 1 y 2, pero sí con el grado 3, que exhibió el valor más alto.

La manifestación del color amarillo durante la maduración del fruto de papaya, está relacionada con cambios en el contenido de pigmentos, principalmente por la degradación de la clorofila, como consecuencia de procesos oxidativos, así como por la síntesis, desenmascaramiento y predominancia de otros pigmentos como los rojos y amarillos (Santos et al. 2005, Wills et al. 1998).

Abeles et al. (1992) y Wills et al. (1981) citados por Rocha et al. (2005), encontraron que al reducir la temperatura del almacenamiento de la papaya, el desarrollo del color disminuye, por una merma en la degradación de la clorofila, como consecuencia de la reducción en la producción de etileno, sin embargo, tal como lo señalan Paull et al. (1997) y también fue constatado en este ensayo, al ser transferida a temperatura ambiente, puede continuar y llegar a desarrollar el color normalmente.

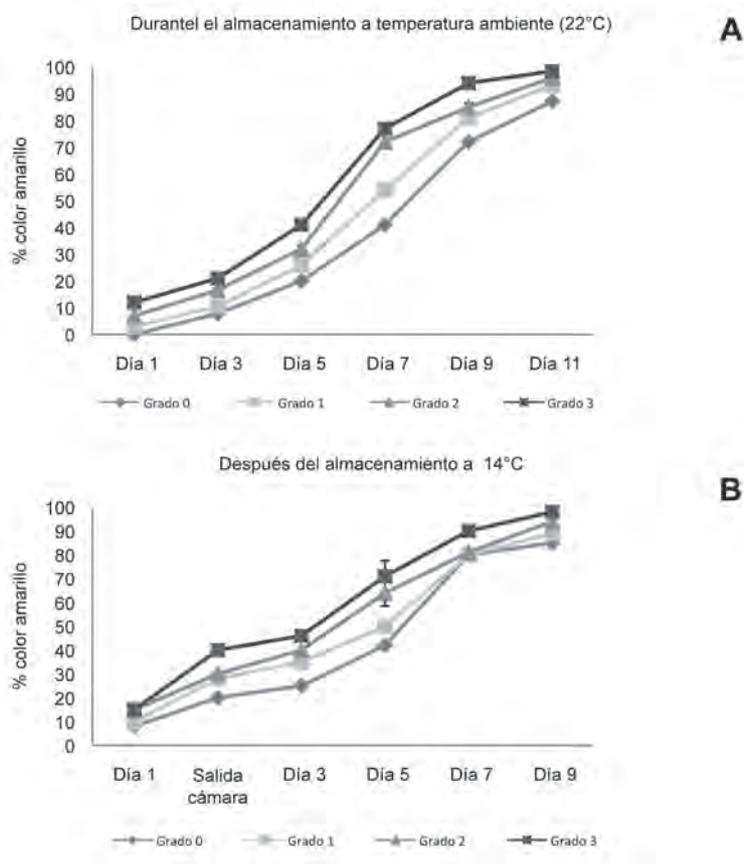


Fig. 2. Color amarillo en cáscara de frutos de papaya con diferente grado de cosecha en la variedad híbrido Pococí, evaluados en diferentes días durante el almacenamiento a temperatura ambiente (A) y frutos mantenidos a temperatura ambiente luego del almacenamiento a 14°C durante 14 días (B).

Firmeza de cáscara y firmeza de pulpa

La Figura 3A, muestra la disminución a través del tiempo de la firmeza de la cáscara de los frutos conservados a temperatura ambiente, encontrándose principalmente diferencias entre la firmeza de las papayas cosechadas verdes (grado 0) y las papayas cosechadas más maduras (grado 3).

Para el día 1 de evaluación, se presentaron diferencias estadísticas entre la firmeza de la cáscara ($p=0,004$), el mayor valor lo presentó la papaya con grado 0 con 95 N, seguido por los grados 1 y 2 con 85 N y 75 N para el grado 3. Fue muy notoria la disminución de la firmeza entre

los 3 y 7 días de almacenamiento. A partir del día 5 no se presentaron diferencias entre los grados 1, 2 y 3 y a partir del día 9, no hay diferencias entre los 4 grados, sin embargo, en los días 9 y 11, las frutas de grado 0 y 1 aún mantenían promedios de firmeza altos, pero probablemente por la variación alta encontrada para esta variable conforme avanzaba la maduración, no se encontraron diferencias estadísticas. Estos resultados parecen indicar que a partir del día 5 de almacenamiento, la firmeza de la papaya no varía de manera significativa en los frutos cosechados con los grados 1, 2, y 3.

Uno de los mayores cambios asociados con la maduración de los frutos es la pérdida de firmeza, favorecida por la acción de enzimas como las hidrolasas, inducidas por el etileno (Thumdee et al. 2007, citados por Sañudo et al. 2008), y que degradan los hidratos de carbono poliméricos, principalmente los de las sustancias pécticas y las hemicelulosas, lo que debilita las paredes celulares y la fuerza en que se mantienen unidas las células (Wills et al. 1998). Este cambio, fue muy evidente entre los días 3 y 9 del almacenamiento de la papaya Híbrido Pococí a temperatura ambiente.

En la Figura 3B se presenta la información para la firmeza de la cáscara de las papayas almacenadas durante 2 semanas a 14°C, encontrándose que en el día 1 (antes de ingresar al almacenamiento en frío), las papayas no presentaron diferencias estadísticas entre los diferentes grados. Sin embargo, después de pasados esos 14 días, al salir del almacenamiento, la fruta presentó una gran pérdida de la firmeza a pesar de haberse mantenido a baja temperatura, con un 65% de disminución para el grado 0, 80% para el grado 1, 28% para el grado 2 y 83% grado 3, lo que muestra que a pesar de que la refrigeración

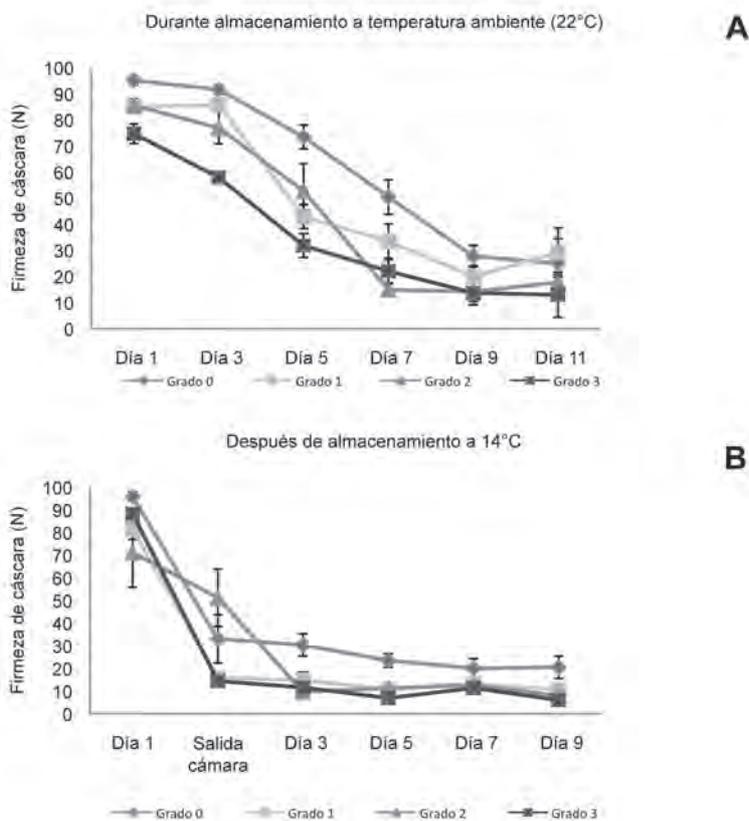


Fig. 3. Firmeza de cáscara (Newton) de frutos de papaya variedad híbrido Pococí con diferentes grados de cosecha evaluados en diferentes días durante el almacenamiento a temperatura ambiente (A) y frutos mantenidos a temperatura ambiente luego del almacenamiento a 14°C durante 14 días (B).

reduce la tasa de diferentes procesos fisiológicos, no los detiene. En la evolución a través del tiempo, el grado 0 fue el que presentó los mayores valores de firmeza y se diferenció estadísticamente de los grados 1, 2 y 3, con excepción de la evaluación realizada a la salida de cámara, en la cual fue el grado 2 el que obtuvo los mayores valores de firmeza.

Con respecto a la tendencia en el comportamiento de la firmeza de pulpa durante el proceso de maduración a temperatura ambiente (Figura 4), este fue muy semejante a lo encontrado para la firmeza en cáscara. En el día 1, la firmeza de

la pulpa de la papaya almacenada a temperatura ambiente (Figura 4A) fue de 79,4 N para el grado 0, 73,4 N para el grado 1, 70 N para el grado 2 y 64,6 N para el grado 3. Y ser estadísticamente diferentes los grados 0 y 3, mientras que los grados 1 y 2 fueron iguales ($p=0,0001$). A partir del día 3 se da una reducción considerable en la firmeza de la pulpa, desde el día 5 los grados 1, 2 y 3 son estadísticamente iguales y entre los días 7 y 9 llegan a tener unos valores de firmeza menores a 20 N, relacionados por Bron y Jacomino (2006) en la papaya de la variedad Golden, con una condición apropiada para el consumo. En general,

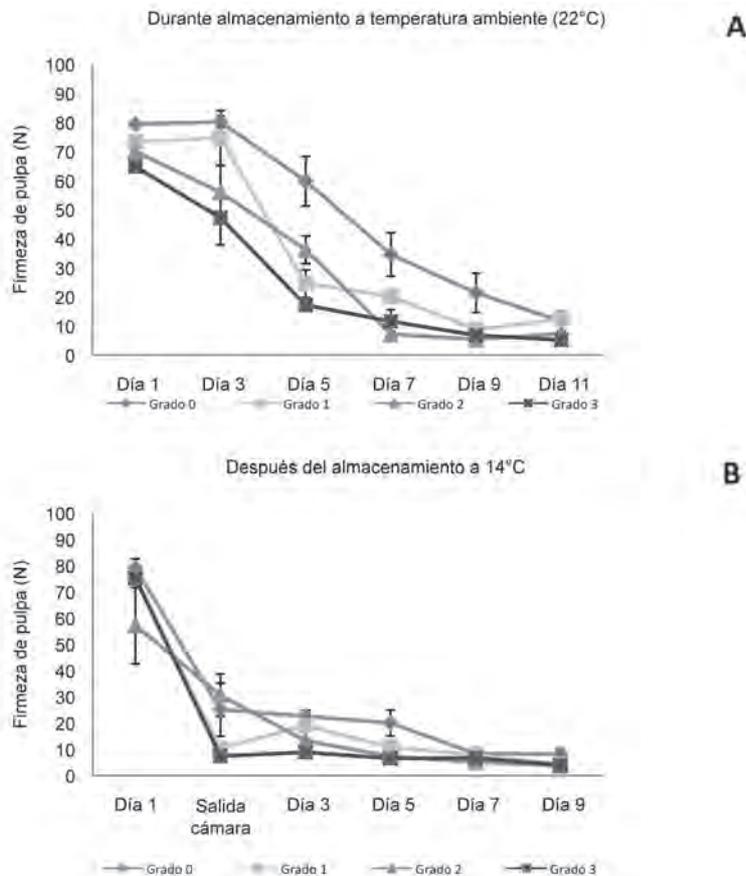


Fig. 4. Firmeza de pulpa (Newton) de frutos de papaya variedad híbrido Pococí, con diferentes grados de cosecha evaluados en diferentes días durante el almacenamiento a temperatura ambiente (A) y frutos mantenidos a temperatura ambiente luego del almacenamiento a 14°C durante 14 días (B).

si la papaya es cosechada cuando ha iniciado el desarrollo del color amarillo en la zona apical, se señala que tiene la firmeza adecuada para su consumo entre los 6 a 12 días después de cosechada (Paull 1993), lo que coincidió con el tiempo requerido por la fruta almacenada a temperatura ambiente en este ensayo.

La firmeza de la pulpa de la papaya antes de ser almacenada a 14°C (Figura 4B), no presentó diferencias estadísticas entre los diferentes grados (día 1), encontrándose valores de, 79,1 N en el grado 0, 75,1 en el grado 1, 57,2 N en el grado 2 y 75,2 en el grado 3. Cuando finalizó el almacenamiento a 14°C (salida de cámara) y la fruta fue evaluada, no se encontraron diferencias estadísticas para esta variable entre los diferentes grados, y al igual que para la firmeza de cáscara, fue muy drástica la disminución durante el periodo de almacenamiento, detectándose porcentajes de pérdida de un 67% para el grado 0, 86% para el grado 1, 46% para el grado 2 y 90% para el grado 3 y aunque no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos para esta evaluación, la fruta de los grados 1 y 3 registraron valores de firmeza menores a 20 N. En la evaluación efectuada 3 días después de permanecer la papaya a temperatura ambiente, los grados 1, 2 y 3 registraron valores de firmeza menores a 10 N, con diferencias estadísticas entre estos con relación al grado 0 ($p=0,0001$). En ese momento, la fruta ya estaba muy suave y afectaría su posibilidad de exportación, pues daría muy poco margen para la comercialización en el mercado de destino. Después de la salida de cámara, los frutos de papaya con 1, 2 y 3 franjas, no mostraron diferencias en la firmeza de la pulpa.

La disminución la firmeza de la cáscara y la pulpa registrados en las diferentes evaluaciones, estuvieron más relacionados con el desarrollo de color de la cáscara de la fruta que se almacenó a temperatura ambiente, en comparación con la fruta almacenada a 14°C. Los coeficientes de correlación entre la firmeza de la cáscara de los diferentes grados de maduración y el porcentaje de color amarillo (datos no mostrados), estuvieron comprendidos entre -0,98 y -0,88 para la fruta

que se almacenó a temperatura ambiente, y entre -0,66 y -0,81 para la fruta almacenada a 14°C. Resultados semejantes se encontraron para la relación entre la firmeza de pulpa y el porcentaje de color amarillo.

La pérdida drástica de firmeza después del periodo de almacenamiento a 14°C, es un indicador de la importancia de estudiar y detallar más en este aspecto, con el fin de lograr los índices de cosecha más apropiados, tratamientos poscosecha y temperaturas, que permitan mantener la calidad tanto durante el envío de la fruta a baja temperatura, como en los días posteriores necesarios para la distribución de la papaya en mercados de destino como el europeo.

Porcentaje de sólidos solubles

Los sólidos solubles en la papaya Pococí al momento de cosecha, estuvieron comprendidos entre 7,9 y 11,3 °brix, con pocas variaciones durante el almacenamiento, lo que concuerda con lo encontrado por Bron y Jacomino en la variedad Golden (2006) y por Sañudo et al. (2008), en la variedad Maradol.

Para la fruta almacenada a temperatura ambiente (Figura 5A), el porcentaje de sólidos solubles (azúcares totales) al inicio de las observaciones fue de 7,9°brix para el grado 0, 9,9 para el grado 1, 10,7 para los grados 2 y 3, presentándose diferencias estadísticas ($p=0,0001$) únicamente entre el grado de maduración 0 y los otros grados. Se observaron muy pocos cambios a través del tiempo, hasta alcanzar en el último día de evaluación, un máximo de 10,8°brix en la fruta con grado 3 de cosecha, sin que fueran significativas las diferencias estadísticas con los distintos grados.

En la papaya que fue almacenada a 14°C (Figura 5B), los valores iniciales de sólidos solubles antes de ingresar a cámara de refrigeración, fueron de 9,8°brix para el grado 0, 10,6 para el grado 1, 11,1 para el grado 2 y 10,7 para el grado 3 ($p=0,06$), con pocos cambios observados después de que salió del almacenamiento, para obtener un máximo de 11,3 para la fruta con grado 3 de cosecha y un mínimo de 10 para el grado 0

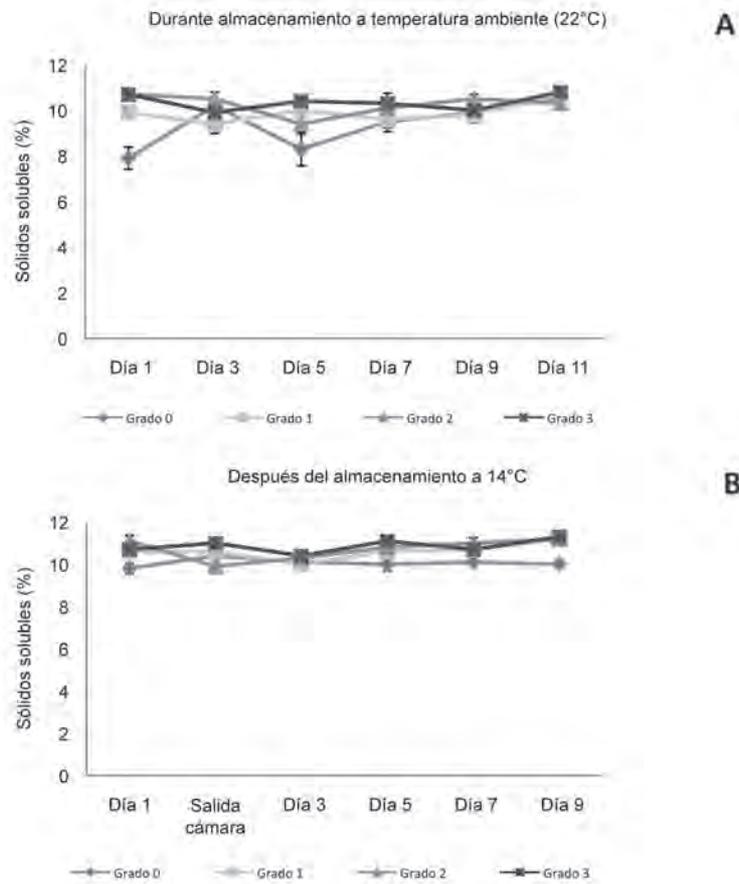


Fig. 5. Porcentaje de sólidos solubles de frutos de papaya evaluados en diferentes días durante el almacenamiento a temperatura ambiente (A) y frutos mantenidos temperatura ambiente luego del almacenamiento a 14°C durante 14 días (B).

($p=0,0066$), sin diferencias significativas entre los grados 1, 2 y 3.

En el caso de la papaya con grado 0 de maduración y almacenada a temperatura ambiente, aunque inició con un menor contenido de sólidos solubles en comparación con los restantes grados, al final del proceso lo niveló, no así la fruta con grado 0 almacenada a 14°C, que finalizó con menores contenidos de azúcares totales en relación con los otros grados. Al respecto autores como Paull et al. (1997) y Kader (2002) señalan que la papaya acumula los azúcares en la etapa final de su desarrollo en el campo, por lo que

los frutos se deben cosechar hasta que presenten un mínimo de color amarillo, de lo contrario, la maduración no es la adecuada y no llegan a alcanzar los azúcares mínimos requeridos para que tengan buen sabor, lo que quizás es más limitante con el almacenamiento a 14°C.

Acidez titulable

La acidez titulable al momento de cosecha, fue muy parecida entre los diferentes grados y prácticamente no cambió durante el proceso de maduración, registrándose valores entre 0,04

y 0,07 para la fruta almacenada a temperatura ambiente y 0,03-0,07 en la fruta conservada a 14°C y luego mantenida a temperatura ambiente

(Figura 6A y 6B), lo que coincide con lo encontrado por Gómez et al. (2002), citados por Sañudo et al. (2008).

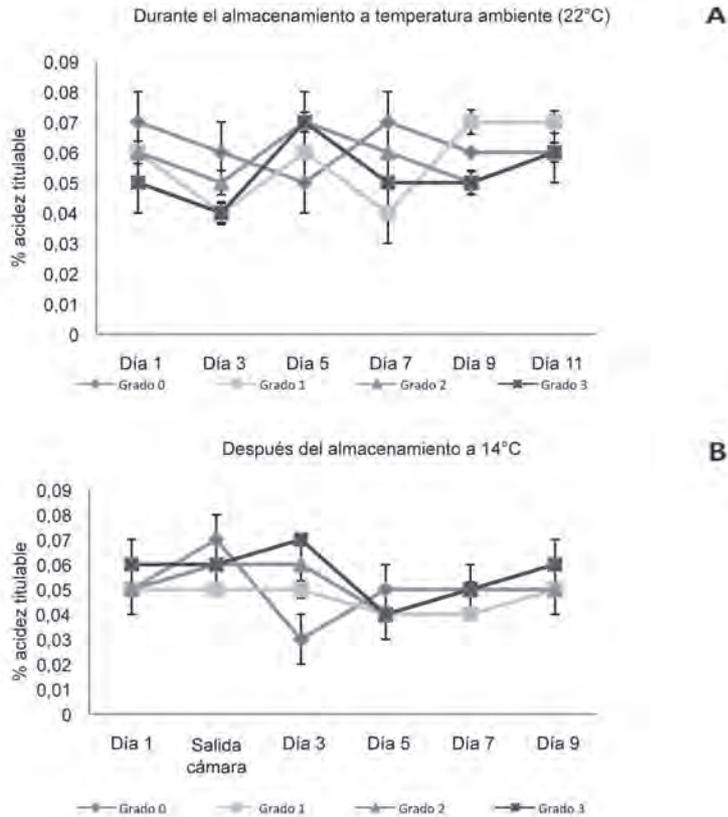


Fig. 6. Acidez (%) de frutos de papaya evaluados en diferentes días durante el almacenamiento a temperatura ambiente (A) y frutos mantenidos a temperatura ambiente luego del almacenamiento a 14°C durante 14 días (B).

LITERATURA CITADA

AN J.F., PAULL R.E. 1990. Storage temperature and ethylene influence on ripening on papaya fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science 115(6):949-953.

BRON I., JACOMINO A. 2006. Ripening and quality of 'Golden' papaya fruit harvested at different maturity stages. Braz. J. Plant Physiol. 18 (3):389-396.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1993. Prevención de pérdidas de

alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Manual de capacitación. Colección FAO: Capacitación, N° 17/2. Consultado en octubre 2010. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T0073S/T0073S00.htm>.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2011. Agricultural Data: FAOSTAT. Papayas. Consultado en enero 2011. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.

GONZÁLEZ C. 1997. Determinación de los problemas de la calidad de la papaya (*Carica papaya*) comercializada

- por una empresa proveedora de supermercados. Propuesta de solución a los problemas prioritarios. Práctica dirigida realizada para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 119 p.
- GUILLÉN J. 2002. Perfil de negocios de jugo concentrado de papaya hacia el mercado de Estados Unidos. Consultado en octubre 2010. Disponible en: <http://www.minec.gobs.sv/perfilesic/perfil20papaya20E.U.2006-11.pdf>.
- GUZMÁN G. 1998. *Carica papaya* (Caricaceae) Serie: Cultivos no tradicionales. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Consultado en octubre 2010. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_papaya.pdf.
- KADER A. 1998. Maturity indices, quality factors, standarization, and inspection of horticultural products. Memorias Simposio Nacional Fisiología y Tecnología Poscosecha de Productos Hortícolas en México. México, D,F. p. 217-222.
- KADER A. 2002. Papaya. Recomendaciones para Mantener la Calidad Poscosecha. UDavis. USA. Consultado en enero 2011. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Papaya.shtml>.
- MORA E., BOGANTES A. 2004. Evaluación de híbridos de papaya (*Carica papaya* L.) en Pococí, Limón, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 15(1):39-44.
- PAULL R. 1993. Pineapple and papaya, pp. 291-323. In: G.B. Seymour J.E. Taylor y G.A. Tucker (eds). *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall.
- PAULL R., CHEN N. 1983. Postharvest variation in cell wall-degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. *Plant Physiology* 72:382-385.
- PAULL R., NISHIJIMA W., REYES M., CVALETTTO C. 1997. Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Technology* 11:165-179.
- ROCHA R.H.C., NASCIMENTO S.R.C., MENEZES J.B., NUNES G.H.S., SILVA E.O. 2005. Qualidade pós-colheita do mamão Formosa armazenado so refrigeração. *Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal (SP)* 27(3):386-389.
- SANTAMARÍA F., DÍAZ R., SAURI E., ESPADAS F., SANTAMARÍA J., LARQUÉ A. 2009. Características de calidad de frutos de papaya maradol en la madurez de consumo. *Agric. Téc. Méx:* 35(3):347-353.
- SANTOS E., CORREA S., CAVALLINI, M., VARGAS, H. 2005. Correlation between ethylene emission and skin colour changes durin papaya (*Carica papaya* L.) fruit ripening. Consultado en enero 2011. Disponible en: <http://www.edsciences.org/articles/jp4/pdf/2005/03/jp4125203.pdf>.
- SAÑUDO J., SILLER J., OSUNA T., MUY RANGEL D., LÓPEZ G., LABAVITCH J. 2008. Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1-metilciclopropeno y ácido 2-cloroetil fosfónico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(2):141-147.
- TEIXEIRA J.A., RASHID Z., NHUT D., SIVAKUMAR D., GERA A., TEIXEIRA M., TENNANT P. 2007. Papaya (*Carica papaya* L.). *Biology and Biotechnology. Tree and Forestry Science and Biotechnology* 1 (1): 47-73.
- WILLS R., McGLASSON B., GRAHAM D., JOYCE D. (Ed.). 1998. Fisiología y bioquímica, pp. 29-51. In: *Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. Acricbia.

FISIOLOGÍA POSCOSECHA, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FRUTAS DE PEJIBAYE (*Bactris gasipaes* KUNTH) CV. TUIRA DARIÉN COSECHADAS A TRES DIFERENTES EDADES¹

Mauricio Serrano*, Gerardina Umaña^{2/*}, Marco V. Sáenz*

Palabras clave: *Bactris gasipaes*, pejibaye, calidad, respiración, poscosecha, fruto no climatérico, capacidad antioxidante.

Keywords: *Bactris gasipaes*, peach palm, quality, respiration, postharvest, non-climacteric fruit, antioxidant capacity.

Recibido: 06/07/11

Aceptado: 18/10/11

RESUMEN

Se determinaron variables de calidad poscosecha, composición química y capacidad antioxidante de frutas de pejibaye cv. Tuira-Darién, cosechados con una edad de 97, 106 y 120 días desde floración. Con base en su patrón respiratorio, el pejibaye pareciera pertenecer al grupo de los frutos no climatéricos, con una tasa respiratoria alta (30-45 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ al inicio del almacenamiento; en etapas más avanzadas del almacenamiento alcanzó 80 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂), lo que le confiere una vida útil poscosecha corta. En los frutos recién cosechados, los valores de firmeza de la pulpa, el color de la pulpa, el color externo, el contenido de sólidos solubles, el contenido de grasa y la capacidad antioxidante se vieron influenciados por la edad de cosecha. No se encontró efecto de la edad de cosecha en el contenido de almidones y carotenoides. Los valores de respiración, índice de color externo y contenido de sólidos solubles aumentaron durante el almacenamiento poscosecha, mientras que la firmeza de la pulpa mostró una disminución. Se encontraron bajos contenidos de acidez titulable, sin variaciones significativas durante el periodo de almacenamiento. Además, mediante el método ORAC en base húmeda, se determinó que el

ABSTRACT

Postharvest physiology, chemical composition and antioxidant capacity of peach palm fruit (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. Tuira Darién, harvested at three different ages. Postharvest quality, chemical composition and antioxidant activity were evaluated on peach palm fruit harvested at 97, 106 and 120 days after blooming. Based on the respiration pattern, peach palm appears to be a non-climacteric fruit, which has a high respiration rate (30-45 mg.kg⁻¹.h⁻¹ CO₂ at the beginning of storage (12°C) and 80 mg.g⁻¹.h⁻¹ CO₂ at the end of storage, which implies a short post-harvest life. External color, pulp color, pulp firmness, soluble solids content, fat content and antioxidant capacity were influenced by harvest age in recently-harvested fruit. There was no effect of harvest age on the content of starch and carotenoids. External color index, respiration values and soluble solids content increased during postharvest storage, while pulp firmness declined. Low acidity contents were found, without significant changes during storage. Using the ORAC method it was determined that the fruit has a high antioxidant capacity 16.18 μmol TE/g on a humid basis, which is higher than reported in other fruits (mango 10.02 μmol TE/g, pineapple 7.93 μmol TE/g, tomato 4.60 μmol

1 Este trabajo es parte de la tesis M.Sc. del primer autor. Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, Universidad de Costa Rica.

2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: gerardina.umana@ucr.ac.cr

* Laboratorio de Tecnología Poscosecha, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

pejibaye tiene una alta capacidad antioxidante (16,18 $\mu\text{mol ET}$ (equivalentes Trolox)/g), superior a la informada para frutas como mango (10,02 $\mu\text{mol ET/g}$), piña (7,93 $\mu\text{mol ET/g}$), tomate (4,60 $\mu\text{mol ET/g}$). Los frutos cosechados con la menor edad (97 días), presentaron los mayores valores de capacidad antioxidante tanto en la determinación ORAC en base seca (58,08 $\mu\text{mol ET/g}$) como en la base húmeda (16,18 $\mu\text{mol ET/g}$).

TE/g). The youngest fruit (97 days) exhibited the highest antioxidant capacity on both dry basis (58,08 $\mu\text{mol TE/g}$) and humid basis (16,18 $\mu\text{mol TE/g}$).

INTRODUCCIÓN

El pejibaye cultivado (*Bactris gasipaes* Kunth) es el resultado de la hibridación, selección natural y domesticación de varias especies silvestres de palmas nativas del trópico húmedo americano. Su distribución abarca desde Nicaragua hasta Bolivia. Tuvo gran importancia y desarrollo durante la época precolombina, cuando posiblemente se constituyó en el principal cultivo para varias tribus de Centro y Suramérica (Mora-Urpí 1983).

Actualmente el pejibaye es de gran aceptación en nuestro país, lo que facilita su promoción y permite sacar provecho de su valor nutritivo. Algunos de los nutrientes más relevantes en este fruto son las grasas, almidones, minerales, fibras de origen vegetal y carotenoides (Fernández 1988). También es una fuente importante de niacina, riboflavina, tiamina, hierro y retinol (Gómez 1990, Mora-Urpí et al. 1997). En este fruto se han encontrado altos contenidos de carotenoides, los cuales están involucrados en el fortalecimiento del sistema inmunológico y disminución del riesgo de enfermedades como cáncer, enfermedades cardiovasculares y artritis entre otros. Estos efectos biológicos se atribuyen a la capacidad antioxidante que poseen, a través de la cual desactivan radicales libres y oxígenos reactivos en el organismo humano (Rodríguez-Amaya 1997).

En los últimos años investigadores y consumidores han mostrado interés hacia el consumo

de frutas exóticas y con alta capacidad antioxidante, lo cual ha impulsado la búsqueda de productos tropicales promisorios y poco investigados como el pejibaye. Sin embargo, la comercialización de esta fruta se dificulta ya que bajo condiciones naturales la vida poscosecha del pejibaye es limitada, lo que provoca grandes pérdidas en poscosecha. En tan solo 4 días a temperatura ambiente, hasta un 70% de la fruta cruda de pejibaye puede sufrir algún grado de deterioro por enfermedades (Sáenz et al. 1992).

Adicionalmente existe un desconocimiento de la fisiología poscosecha de la fruta del pejibaye y de las alternativas que podrían ser utilizadas para extender la vida poscosecha. No se tiene información sobre el comportamiento respiratorio, y sobre variables de calidad poscosecha como el color interno, color externo, cambios en firmeza, contenido de sólidos solubles y acidez.

En relación con la composición química y valor nutritivo del pejibaye, existen resultados muy diversos que se explican tanto por los métodos de análisis, como por la variabilidad genética existente entre los materiales evaluados. Adicionalmente, los resultados de análisis químicos no se han relacionado con índices de cosecha (edad del racimo), para así precisar los cambios que ocurren durante el desarrollo del racimo.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento fisiológico y la composición química, la capacidad antioxidante de la fruta de pejibaye con 3 diferentes edades de cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante junio a octubre del 2006, con fruta de pejibaye de la cv. Tuirá-Darién (Hernández et al. 2008, Mora et al. 1999), procedente del banco de germoplasma de pejibaye perteneciente a la Finca Experimental "Los Diamantes", ubicada en la localidad de Guápiles, cantón de Pococí, provincia de Limón, a 10° 13' latitud norte y 86° 46' longitud oeste, a una altitud de 249 msnm. La precipitación promedio anual es de 4500 mm y la temperatura promedio es 25,9°C.

Se seleccionaron 24 plantas, en las que se identificaron inflorescencias recién polinizadas las que fueron marcadas para luego cosechar los racimos una vez transcurridos 97, 106 y 120 días desde el momento de la floración.

Los racimos se transportaron en cajas plásticas abiertas dentro de un vehículo, protegidos del sol, con ventilación y a temperatura ambiente hasta el Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Entre el momento de la cosecha, transporte y la aplicación de los tratamientos transcurrió un periodo aproximado de 6 horas.

Los frutos se separaron del racimo con el cáliz adherido al fruto; se seleccionaron, lavaron y desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 60 mg.l⁻¹ durante un min. Se descartaron aquellos que presentaban pudriciones, daños mecánicos o mala apariencia.

Después del proceso de lavado y selección, los frutos se colocaron en cajas plásticas abiertas con ranuras laterales. Cada caja contenía aproximadamente 2 kg de frutos provenientes de un único racimo. Se almacenaron en una cámara a 16°C y humedad relativa entre 80% y 90% determinada con un higrómetro digital Delta Track modelo 13307.

El diseño experimental utilizado fue irrestricto al azar con 3 tratamientos (97, 106 y 120 días floración-cosecha) y 8 repeticiones por tratamiento para un total de 24 unidades experimentales. Cada unidad experimental correspondió a una caja.

Al momento de la cosecha se evaluó el contenido de grasa, almidón total, carotenoides totales y capacidad antioxidante total. Además, cada 5 días se evaluaron los cambios en el porcentaje de sólidos solubles, acidez titulable, color interno (pulpa), color externo (epicarpo) y firmeza de pulpa. La pérdida de peso y la tasa respiratoria se evaluó cada 2 o 3 días durante la duración del almacenamiento.

Para las variables firmeza, color interno, sólidos solubles, acidez y tasa respiratoria se realizaron 24 mediciones por tratamiento, mientras que para el color externo se evaluaron 20 frutos por unidad experimental, para un total de 160 observaciones por tratamiento.

El color externo e interno se evaluó sobre 3 puntos equidistantes en el plano ecuatorial del fruto con un colorímetro Minolta® CR-200 mediante la escala CIE L*a*b*. En esta escala la coordenada "L" es una medida de la claridad (blanco-negro y varía desde el punto de ausencia de reflejo, L=0, hasta el punto de reflejo difuso perfecto, L=100). La escala "a" varía desde los valores negativos para el color verde, hasta los positivos para el rojo. La escala "b" varía desde los valores negativos para el color azul, hasta los positivos para el amarillo. Con los valores obtenidos se calculó un índice de color (IC) mediante la fórmula $IC=1000*a/L*b$.

Para la determinación del contenido de sólidos solubles (grados Brix) y la acidez titulable se homogeneizó la pulpa durante un min en licuadora, con una dilución de 3 veces la masa de la muestra y se filtró con papel filtro cualitativo. Cada fruto constituyó una muestra diferente. El jugo filtrado se evaluó con un refractómetro digital Atago Pal-1. Para determinar la acidez titulable se utilizó un titulador automático Orion 960SC. Se calculó el contenido de sólidos solubles y acidez titulable presente en la pulpa mediante el factor de dilución utilizado en la solución homogeneizada.

La firmeza expresada en Newton (N) se evaluó en la pulpa sobre caras opuestas de la fruta con un penetrómetro Chatillon con punta cónica de 6 mm de diámetro. Antes de realizar la evaluación, con un cuchillo se eliminó el epicarpo del

fruto de manera superficial, y a su vez se eliminó la mínima cantidad posible de pulpa durante el corte.

La tasa respiratoria se analizó mediante la utilización de un sistema cerrado, el cual consiste en la colocación de una cantidad de frutos de peso conocido dentro de un recipiente de volumen conocido cerrado herméticamente durante un periodo de 1 h. Se evaluó el % de CO_2 y el % de O_2 dentro del sistema con un analizador de gases Illinois Instruments 6600. Se calculó la tasa respiratoria en términos de producción de dióxido de carbono ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ de CO_2), y con el consumo de oxígeno ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ de O_2) se calculó el cociente respiratorio (CO_2/O_2).

La determinación del contenido de carotenoides se realizó mediante el método AQCITA-M035 (CITA 2007), modificado de Britton et al. (1995), Mencaca y Murillo (2006), y Rodríguez-Amaya (1999). La capacidad antioxidante de las muestras se determinó mediante el método ORAC (oxygen radical absorbance capacity) descrito por Ou et al. (2001). El almidón total se calculó mediante la sumatoria entre el almidón potencialmente disponible y el almidón resistente. Para determinar el almidón disponible se utilizó la

metodología multienzimática descrita por Holm et al. (1986), mientras que para determinar el almidón resistente se utilizó el método descrito por Saura-Calixto et al. (1993). Para determinar el contenido de grasa se realizó hidrólisis ácida de la muestra y determinación del extracto etéreo mediante el sistema Soxhlet descrito por AOAC (1990).

Con los datos obtenidos en cada variable se realizó un análisis de varianza y se graficaron los promedios. A los resultados de análisis químico se les realizó un análisis de varianza y una separación de medias DMS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra los resultados de respiración para frutos de pejibaye con 3 edades de cosecha: 97, 106 y 120 días floración-cosecha; para cada edad de cosecha se utilizaron 8 racimos provenientes de diferentes plantas. Durante los primeros 6 días de almacenamiento los valores de respiración se mantuvieron estables. A partir de los 8 días los 3 tratamientos presentaron un incremento en su tasa respiratoria que coincidió con la degradación progresiva que se observó en la fruta.

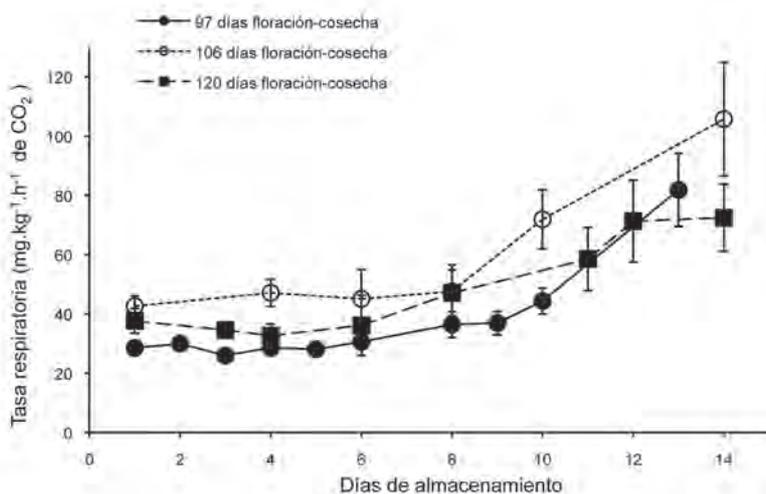


Fig. 1. Tasa respiratoria promedio ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ de CO_2) \pm intervalo de confianza 95% de frutos de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. Tuira-Darién con 3 distintas edades de cosecha durante su almacenamiento a 16°C.

La magnitud de la tasa respiratoria en pejibaye puede considerarse alta en comparación con varios frutos no climatéricos, en los cuales se ha determinado valores máximos cercanos a 30 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ en uva, 25 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ en cereza, 20 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ en piña, 10 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ en limón (Seymour et al. 1993) y en órganos subterráneos como zanahoria (19 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂), papa (20 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂), cebolla (7 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂) (Kays 1997), mientras que para pejibaye se obtuvieron valores de respiración entre 30 y 45 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂ al inicio del almacenamiento, y en etapas más avanzadas del almacenamiento se alcanzó con facilidad 80 mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂. Esto explica en cierta medida la corta duración de la vida útil del pejibaye ya que en frutos no climatéricos existe una correlación entre tasas respiratorias elevadas y una corta vida útil poscosecha (Seymour et al. 1993).

Al inicio (día 1) del almacenamiento (Figura 1) se encontraron diferencias significativas entre los frutos cosechados a los 106 y 120 días, los cuales mostraron valores de respiración más altos, en comparación con los frutos cosechados a los 97 días del periodo floración cosecha ($p < 0,0001$). En muchos frutos no climatéricos por lo general existe una correlación entre tasas

respiratorias elevadas y una corta vida útil poscosecha (Seymour et al. 1993), por lo cual era de esperar una mayor tasa respiratoria para los frutos de pejibaye cosechados con mayor cantidad de días floración-cosecha, dado que estos por lo general tienen una vida útil poscosecha más corta (Mora-Urpí 1983).

Se realizó una regresión a partir del día 8 de almacenamiento (dado que los días, la fruta se encontraba en un periodo de respiración sin mayor variación), esto como herramienta para diferenciar entre los patrones de respiración de un fruto no climatérico y un fruto climatérico. Los valores de R² obtenidos (Figura 2), muestran que existe un buen ajuste lineal de los datos, lo que es un indicador de un aumento lineal de la respiración durante el almacenamiento.

Con base en el patrón respiratorio que un fruto muestra durante el almacenamiento, éste puede clasificarse como climatérico o no climatérico. Los frutos climatéricos experimentan un pico característico en su actividad respiratoria durante su maduración, el cual puede corresponder o anteceder a su estado óptimo para ser consumido, usualmente los incrementos respiratorios siguen un patrón exponencial hasta alcanzar el máximo y posteriormente se produce una caída en la

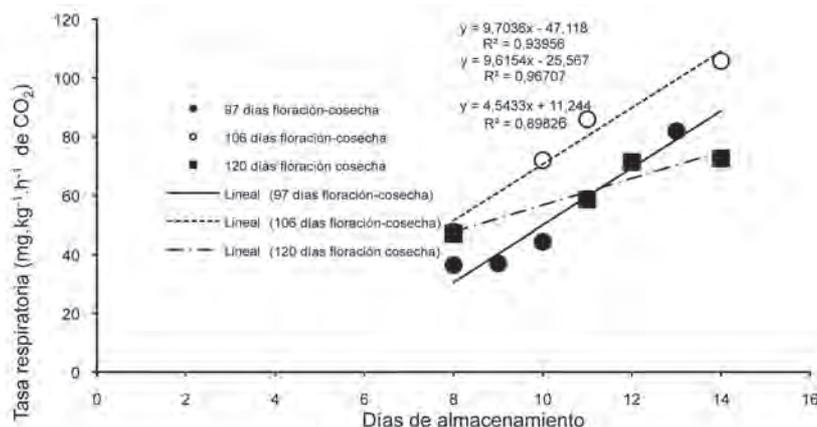


Fig. 2. Tasa respiratoria promedio (mg.kg⁻¹.h⁻¹ de CO₂) de frutos de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. Tuira-Darién con 3 distintas edades de cosecha durante su almacenamiento a 16°C. Se presenta la ecuación de regresión lineal y R² para los datos registrados entre los 8 y 14 días de almacenamiento.

actividad. En contraste, los frutos no climatéricos pueden experimentar un incremento en su actividad respiratoria durante su almacenamiento, con un patrón de tipo lineal sin evidencias de un pico o punto máximo definido (Goldschmidt 1997).

Sin embargo, existen algunos frutos no climatéricos como fresa, carambola y rambután, que pueden mostrar un incremento gradual en su tasa respiratoria durante el tiempo de almacenamiento. En estas 3 frutas con la senescencia ocurre un aumento en la tasa respiratoria, así como un aumento en la susceptibilidad a pudriciones causadas por hongos (O'Hare 1997a, O'Hare 1997b, Bower et al. 2003). De manera similar a la carambola, el patrón de respiración del fruto de

pejibaye (Figura 1) correspondería al de un fruto no climatérico, en el cual se produce un aumento en la respiración con el transcurrir del tiempo de almacenamiento, especialmente a partir de los 8 días, cuando el fruto se vuelve más susceptible a la acción de microorganismos que aceleran su deterioro. Es la primera investigación donde se clasifica al pejibaye como no climatérico, sin embargo, queda pendiente para terminar de realizar esta clasificación, el estudio de producción de etileno en poscosecha.

Los valores de cociente respiratorio obtenidos en la Figura 3 mostraron valores que según Kays (1997) indicarían que el fruto de pejibaye utiliza de manera preferente carbohidratos como

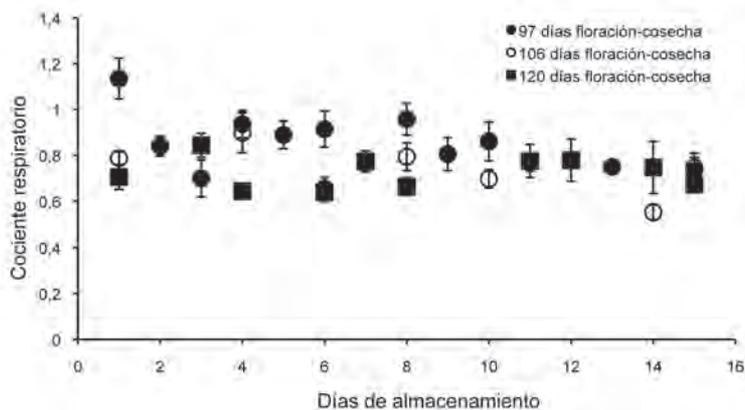


Fig. 3. Cociente respiratorio promedio ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ de CO_2 / $\text{mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ de O_2) \pm intervalo de confianza 95% de frutos de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. Tuira-Darién con 3 distintas edades de cosecha durante su almacenamiento a 16°C .

sustrato para la respiración, aunque la utilización de lípidos como sustrato en una menor medida también podría estar presente. El cociente respiratorio es un coeficiente que expresa la cantidad de moléculas de dióxido de carbono liberadas en relación con la cantidad de moléculas de oxígeno absorbido, y se utiliza para determinar cuál sustrato es utilizado principalmente para producir energía durante la respiración. Estos sustratos por lo general son carbohidratos, lípidos o ácidos orgánicos (Kays 1997).

En términos generales cocientes respiratorios entre 0,7 y 1,3 corresponden a respiración aeróbica (Salveit 2004, citado por Schouten et al. 2009), mientras que cocientes respiratorios muy por debajo de 1 se obtienen cuando el fruto utiliza principalmente lípidos como sustrato para la respiración (Kays 1997).

La firmeza de la pulpa en la Figura 4 fue menor para los índices de cosecha más altos ($p < 0,0001$). La firmeza disminuyó hacia los últimos días de almacenamiento para los frutos

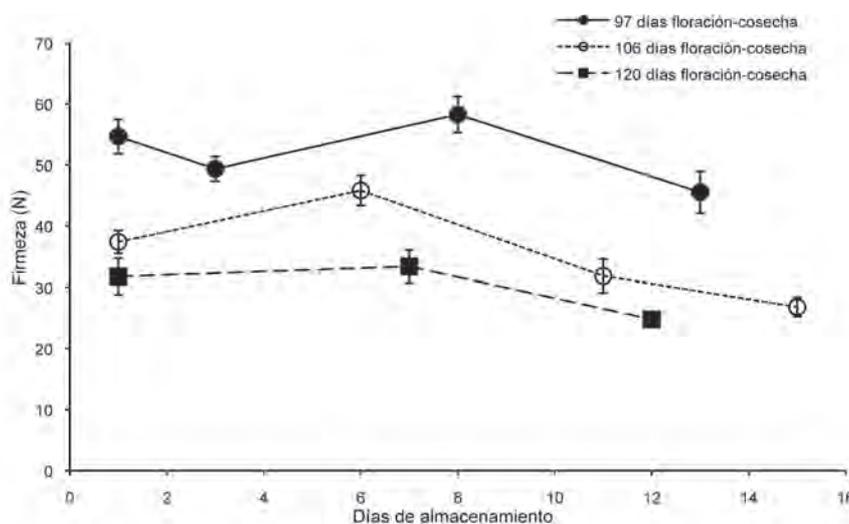


Fig. 4. Firmeza (Newton) \pm intervalo de confianza 95% de la pulpa de frutos de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. Tuirá-Darién con 3 distintas edades de cosecha durante su almacenamiento a 16°C.

cosechados con 97 ($p=0,0001$), 106 ($p<0,0001$) y 120 días de periodo floración-cosecha ($p=0,0001$). En el caso de la fruta fresca de pejibaye, es deseable que la pulpa sea firme, ya que el ablandamiento está relacionado con el deterioro durante su vida poscosecha y con una menor aceptación por parte de los consumidores (Garaico y Espinoza 1993). De ahí que los frutos con índices de cosecha altos fueron más perecederos y presentaron más dificultades para su almacenamiento y manipulación en fresco.

La pérdida de firmeza se produce a través de 3 mecanismos: pérdida de la turgencia celular, degradación de almidones y ruptura de las paredes celulares que es la de mayor importancia en la mayoría de frutas (Seymour et al. 1993). Según la fruta, el efecto de la pérdida de firmeza puede ser detrimental (como en el caso del pejibaye), mientras que en otras la pérdida de firmeza es un componente necesario para alcanzar la calidad óptima para el consumo (Kays 1997).

La Figura 5 muestra los valores de pérdida de peso. A los 6 días de almacenamiento se obtuvieron valores promedio de pérdida de peso entre 2,8% y 4,2%, mientras que posterior a los

12 días se obtuvieron valores que superaron el 7% de pérdida de peso, los cuales muestran que el pejibaye es un fruto que experimenta una importante pérdida de peso durante el almacenamiento, lo cual podría afectar severamente su calidad y apariencia si se almacenara bajo condiciones adversas. La pérdida de agua por transpiración es una de las causas más importantes del deterioro durante el almacenamiento, ya que la mayoría de frutas y legumbres contienen entre el 80% y 90% de agua por peso, parte del cual se pierde por transpiración. Para la mayoría de frutas y vegetales se considera que pérdidas de peso entre 3% y 6% son suficientes para producir un marcado desmejoramiento de la calidad (Hardenburg et al. 1998).

En la Figura 6 se presentan los valores de sólidos solubles (grados brix). Se encontraron diferencias significativas ($p=0,0029$) entre los frutos cosechados con 97 días y los frutos cosechados con 106 y 120 días de periodo floración cosecha al inicio (día 1) del almacenamiento, lo cual demuestra que la edad de cosecha del racimo influye en el contenido de sólidos solubles en el fruto. Aunque pequeño en su magnitud, todos

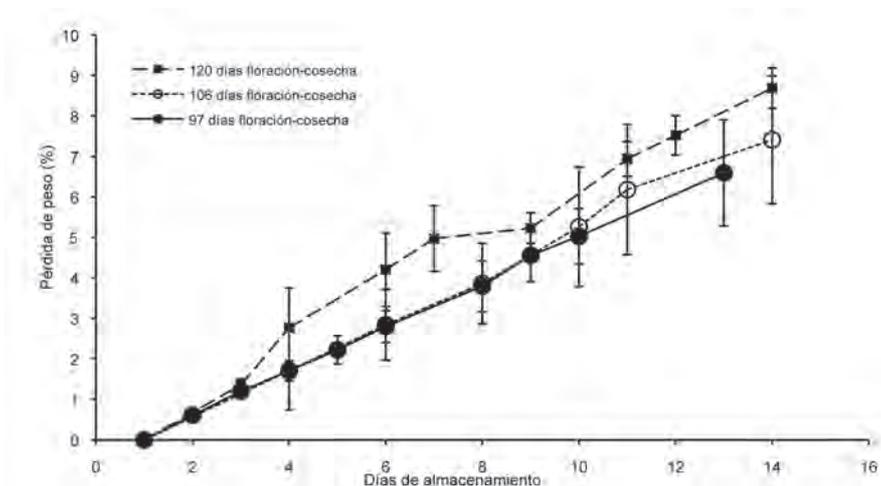


Fig. 5. Pérdida de peso acumulada (%)±intervalo de confianza 95% de frutos de pejobaye (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. Tuira-Darién con 3 distintas edades de cosecha durante su almacenamiento a 16°C.

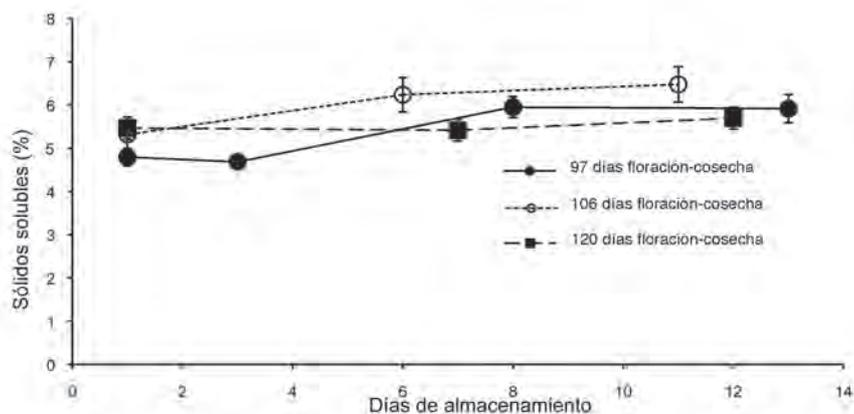


Fig. 6. Contenido de sólidos solubles (%)±intervalo de confianza 95% de la pulpa homogeneizada de frutos de pejobaye (*Bactris gasipaes* kunth) cv. Tuira-Darién con 3 distintas edades de cosecha durante su almacenamiento a 16°C.

los tratamientos experimentaron un incremento significativo ($p < 0,0001$) en el contenido de sólidos solubles durante el periodo de almacenamiento a 16°C, lo cual corresponde con los resultados obtenidos por Chaves (2005) quien encontró un ligero aumento en el contenido de sólidos solubles durante un periodo de almacenamiento a 12°C. Este comportamiento de leve incremento

en sólidos solubles es característico de frutos no climatéricos, en comparación a los frutos climatéricos, los cuales posterior a la cosecha experimentan un incremento muy evidente en su contenido de sólidos solubles, debido a la conversión de almidones en azúcares (Giovannoni 2001).

En la acidez titulable no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos

($p=0,6576$). Los frutos evaluados mostraron valores de acidez titulable entre 0,10% y 0,15%, lo que indica que los ácidos no experimentan cambios relevantes en la fisiología poscosecha del pejibaye, y que además, están presentes en el fruto en una baja cantidad.

Con respecto al índice de color externo (Figura 7), se encontraron diferencias entre tratamientos ($p<0,0001$). Los valores mayores se obtuvieron con el tratamiento de 120 días

floración-cosecha, debido a una mayor presencia de color rojo en la cáscara (índice con valores positivos) que puede ser atribuido a un mayor contenido de carotenoides, los cuales son abundantes en el fruto de pejibaye y aún más en aquellos que presentan cáscara roja (Johannessen 1967). Por el contrario, el índice fue menor con el tratamiento de 97 días floración-cosecha, debido a una mayor presencia de color verde en la cáscara (índice con valores negativos). Se encontraron también

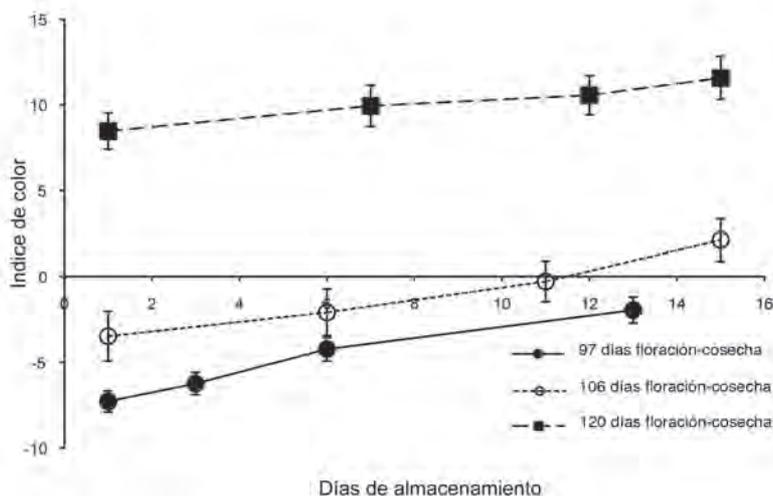


Fig. 7. Índice de color externo \pm intervalo de confianza 95% de la cáscara de frutos de pejibaye (*Bactris gasipaes* kunth) cv. Tuira-Daríen con 3 distintas edades de cosecha durante su almacenamiento.

diferencias en el índice de color durante el tiempo transcurrido en almacenamiento ($p<0,0001$). Este índice aumenta conforme al tiempo de almacenamiento, y concuerda con lo observado por Mora-Urpí (1983) quien encontró que el fruto puede ser cosechado verde, y al ser almacenado bajo buenas condiciones de ventilación tiene la capacidad de cambiar el color en su cáscara. Sin embargo, lo que principalmente permite que el índice de color aumente durante el almacenamiento es la degradación de la clorofila, ya que este es un proceso característico de la senescencia y maduración de frutos, en el cual se desenmascaran pigmentos

formados con anterioridad durante el desarrollo del fruto (Kays 1997, Matile et al. 1999).

De manera similar al color externo, el color de la pulpa mostró valores más altos a mayores índices de cosecha ($p=0,0463$). Pero el valor de este índice no aumenta con el tiempo de almacenamiento en ninguno de los 3 índices de cosecha ($p>0,05$), lo que indica que en la pulpa del pejibaye no ocurre una producción significativa de pigmentos carotenoides una vez cosechado el fruto.

El Cuadro 1 muestra los contenidos de grasa, almidón total, carotenoides totales y

Cuadro 1. Promedio±desviación estándar de contenido de grasa, almidón total, carotenoides totales y capacidad antioxidante (ORAC) de la pulpa cruda de pejibaye cosechado con 3 edades floración-cosecha. n=8 racimos.

Edad de cosecha del racimo	Grasas (%)	Almidón total (%)	Carotenoides (µg/g)	ORAC B.S. (µmol ET/g)	ORAC B.H. (µmol ET/g)
97 días	7,8±2,1 a	64,2±11,9	129,82±56,49	58,08±17,36 b	16,18±5,24
106 días	12,0±4,0 b	69,1±6,5	104,17±53,63	46,82±14,54 ab	15,02±4,84
120 días	12,5±3,3 b	70,7±3,6	143,68±81,39	37,82±11,14 a	14,72±4,07
P>F	0,0935	0,3683	0,5832	0,0997	0,0997

Medias dentro de la misma columna con distinta letra difieren significativamente ($p<0,1$) según prueba DMS.

Datos calculados en base seca para grasas, almidón total y carotenoides. Los resultados de ORAC se presentan en base seca (BS) y base húmeda (BH).

capacidad antioxidante para las distintas edades de cosecha. Estos en conjunto con otros compuestos y minerales hacen del pejibaye una fruta con un gran valor nutricional (Mora-Urpí et al. 1997), superior por la cantidad y balance de diferentes componentes a cualquier otro producto de los trópicos (León 1987). Adicionalmente, los valores de capacidad antioxidante obtenidos resultaron superiores a los reportados en base húmeda para frutas como mango (10,02 µmol ET/g), piña (7,93 µmol ET/g), banano (8,79 µmol ET/g), melón (3,12 µmol ET/g), tomate (4,60 µmol ET/g), kiwi (9,18 µmol ET/g) y uva (12,60 µmol ET/g) (Wu et al. 2004), y vegetales como cebolla (5,40 µmol ET/g), brócoli (3,36 µmol ET/g), zanahoria (2,12 µmol ET/g) y espinaca (7,35 µmol ET/g) (Ninfali y Bacchiocca 2003). El pejibaye es superado en su capacidad antioxidante por algunas frutas, tales como arándano (Kalt et al. 1999), ciruela y fresa (Wang et al. 1996).

Los valores de grasa y almidón obtenidos son similares a los reportados por otros autores. Carrera (1998) encontró en 6 diferentes fenotipos procedentes de Perú contenidos de grasa entre 4,93% y 14,51% y entre 58,2% y 84,2% de almidón en base seca. Leterme et al. (2005) determinaron en promedio 11,4% de grasa y entre 59% y 78% de almidón en base seca para 17 genotipos procedentes de Colombia. Mientras que los

valores obtenidos de carotenoides son superiores a los reportados por Rodríguez-Amaya (1996) quien obtuvo 43,2 µg/g de carotenoides en base seca con pulpa cocida de pejibayes procedentes de Brasil. De Rosso y Mercadante (2007) obtuvieron 197,7 µg/g en base seca con pulpa cocida, pero por medio del método HPLC-PDA-MS/MS, distinto al método espectrofotométrico utilizado en este trabajo.

Se encontraron diferencias significativas ($p<0,1$) para el contenido de grasa y la capacidad antioxidante. Se obtuvo un mayor contenido de grasa conforme mayor fue el índice de cosecha, lo que indica que la planta acumula grasa en los frutos conforme aumenta la madurez del racimo. Por su parte, la capacidad antioxidante tuvo valores mayores entre menor fue el índice de cosecha, aunque esto podría deberse al método utilizado.

No se encontraron diferencias significativas entre las edades de cosecha para el contenido de almidón y el contenido de carotenoides. Posiblemente por la variabilidad genética del pejibaye se requiera un mayor tamaño de muestra en estas variables para declarar diferencias estadísticas. Se presume esto con base en los resultados obtenidos en color externo, color de la pulpa y firmeza, ya que en estas variables sí se encontraron diferencias significativas cuando se utilizó una muestra considerablemente mayor.

En conjunto los resultados de este estudio permiten concluir que el pejibaye es un fruto que se podría clasificar como no climatérico, sin embargo queda por investigar, la producción de etileno en poscosecha. Presenta una tasa respiratoria alta que a su vez le confiere una vida útil poscosecha corta; se determinó un bajo porcentaje de acidez que eventualmente podría favorecer el desarrollo de microorganismos que acortan aún más su vida útil. Variables como la firmeza de la pulpa, el color de pulpa, el color de cáscara, el contenido de sólidos solubles, el contenido de grasa y la capacidad antioxidante dependen de la edad de cosecha. Cosechar los frutos con mayor índice de cosecha permite obtener frutos menos firmes, con un mayor contenido de grasa y almidones, así como también con una pulpa y cáscara más roja. Aunque el color externo y el contenido de sólidos solubles pueden experimentar cambios durante el almacenamiento, estos cambios no tienen la magnitud que experimentan los frutos climatéricos (Kays 1997).

Además de su ya conocido valor nutritivo, se determinó que el pejibaye tiene una alta capacidad antioxidante, superior a la que presentan otras frutas, la cual es mayor en el índice de cosecha más temprano. A pesar de estos resultados, no sería recomendable la cosecha temprana para obtener una mayor capacidad antioxidante. Esto porque los carotenoides son un importante componente nutricional que aporta esta fruta (Mora-Urpí et al. 1997), los cuales están presentes en mayor cantidad en aquellas frutas con epicarpo y pulpa roja (Johannessen 1966), y en esta investigación se determinó que las frutas cosechadas con mayor índice de cosecha tenían un epicarpo y una pulpa más roja. También debe considerarse que el método ORAC mide con facilidad la acción de compuestos hidrofílicos como la vitamina C y los polifenoles, pero no así la actividad antioxidante de los carotenoides (Huang et al. 2000), por lo cual la capacidad antioxidante total se podría subestimar, debido a que en la determinación con el método ORAC no se considera el aporte de los carotenoides presentes en los pejibayes evaluados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Jorge Mora-Urpí y a los funcionarios de la Estación Experimental Los Diamantes por la colaboración brindada para la realización de esta investigación. También se agradece al laboratorio de química del CITA por la colaboración brindada para realizar los análisis químicos aquí presentados. Esta investigación fue financiada por el proyecto PAVUC (Producing Added Value from Under-utilised tropical fruit Crops), PAVUC-FP6-INCO project-DEV 2, contract 015279.

LITERATURA CITADA

- AOAC (OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS). 1990. 15ta ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- BARKAI-GOLAN R. 2001. Postharvest diseases of fruits and vegetables: development and control. London, Elsevier. 418 p.
- BOWER J.H., BIASI W.V., MITCHAM E.J. 2003. Effects of ethylene and 1-MCP on the quality and storage life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology* 28:417-423.
- BRITTON G., LIAAEN-JENSEN S., PFANDER H. 1995. Carotenoids: Isolation and analysis, Birkhauser Verlag, Alemania. p. 95, 102-107.
- CARRERA L. 1999. Isolation and characterisation of pejibaye starch. *Journal of Applied Botany* 73:122-127.
- CHAVES O. 2005. Factores involucrados en el deterioro poscosecha de pejibaye y evaluación de tratamientos para prolongar su vida útil. Tesis de licenciatura en Agronomía con énfasis en Fitotecnia. Liberia, Universidad de Costa Rica, Sede de Guanacaste. 82 p.
- CITA. 2007. Determinación de carotenoides. Método de análisis AQCITA-M035. San José, Costa Rica, Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). 5 p.
- DE ROSSO V.V., MERCADANTE A.Z. 2007. Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55:5062-5072.

- FERNÁNDEZ M. 1988. Definición de las características químico-nutricionales de cuatro poblaciones de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.). Tesis de licenciatura en Tecnología de Alimentos. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 54 p.
- GARAICO K.C., ESPINOZA P.Y. 1993. Efectos del almacenamiento en frío en la conservación del chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth). In Congreso internacional sobre biología, agronomía e industrialización del pijuayo (IV, 1991, Iquitos, Perú). Memorias. Eds. J. Mora Urpí; LT, Szott; M, Murillo; VM, Patiño. San José, CR, Editorial de la Universidad de Costa Rica. 492 p.
- GIOVANNONI J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 52:725-749.
- GOLDSCHMIDT E.E. 1997. Ripening of citrus and other non-climacteric fruits: a role for ethylene. Acta Hort. 463:335-340.
- GÓMEZ G. 1990. Desarrollo y evaluación de un alimento infantil con base en pejibaye (*Bactris gasipaes*). Tesis de licenciatura en Nutrición. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 81 p.
- HARDENBURG R.E., WATADA A.E., WANG C.Y. 1998. Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencias de floristerías y viveros. San José, CR: IICA. 150 p.
- HERNÁNDEZ J.A., MORA-URPÍ J., ROCHA O. 2008. Diversidad genética y relaciones de parentesco de las poblaciones silvestres y cultivadas de pejibaye (*Bactris gasipaes*, Palmae), utilizando marcadores microsatelitales. 2008. Rev. Biol. Trop 56(1):217-245.
- HOLM J., BJORCK I., DREWS A., ASP N.G. 1986. A rapid method for the analysis of starch. Starch/Starke 38:224-229.
- JOHANNESSEN C.L. 1967. Pejibaye palm: physical and chemical analysis of the fruit. Economic Botany 21(4):371-377.
- KALT W., FOMEY C.F., MARTIN A., PRIOR R.L. 1999. Antioxidant Capacity, Vitamin C, Phenolics, and Anthocyanins after Fresh Storage of Small Fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47:4638-4644.
- KAYS S. 1997. Postharvest physiology of perishable plant products. Athens, Georgia, US, Exon Press. 531 p.
- LEÓN J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. San José, CR, IICA. p. 60.
- LETERME P., GARCÍA MF., LONDON, AM., ROJAS MG., BULDGEN A., SOUFFRANT WB. 2005. Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. Journal of the Science of Food and Agriculture 85:1505-1512.
- MATILE P., HORTENSTEINER S., THOMAS H. 1999. Chlorophyll degradation. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 50:67-95.
- MENCACA D., MURILLO E. 2006. Fraccionamiento y caracterización de los principales carotenoides del zapote (*Quararibea cordata*). Panamá, Universidad de Panamá. p. 2-12.
- MORA-URPÍ J. 1983. El pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.): origen, biología floral y manejo agronómico. In Palmeras poco utilizadas en América Tropical. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 118-160.
- MORA-URPÍ J., BOGANTES A., ARROYO C. 1999. Cultivares de pejibaye para palmito, pp. 41-47. In: J. Mora-Urpí y Javier Gainza (eds.), Palmito de pejibaye. Editorial Universidad de Costa Rica.
- MORA-URPÍ J., WEBER J.C., CLEMENT C.R. 1997. Peach Palm (*Bactris gasipaes* Kunth): Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome, IT, Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. 83 p.
- NINFALI P., BACCHIOCCA A.M. 2003. Polyphenols and antioxidant capacity of vegetables under fresh and frozen conditions. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51:2222-2226.
- O'HARE T.J. 1997a. Carambola. In Mitra, S. ed. Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. UK, CAB International. p. 295-307.
- O'HARE T.J. 1997b. Rambutan. In Mitra, S. ed. Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. UK, CAB International. p. 309-321.
- OU B., HAMPSCH-WOODILL M., PRIOR R.L. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49:4619-4626.
- RODRIGUEZ-AMAYA D.B. 1996. Assessment of the provitamin A contents of foods: the Brazilian experience. Journal of Food Composition and Analysis (9):196-230.

- RODRÍGUEZ-AMAYA D.B. 1997. Carotenoids and food preparation: The retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored foods. Campinas, Brazil, Departamento de Ciencias de Alimentos, Universidad Estatal de Campinas. 93 p.
- RODRÍGUEZ-AMAYA D.B. 1999. A guide to carotenoid analysis in foods. Brasil Universidade Estadual de Capinas. p. 34-45.
- SÁENZ M.V., VALVERDE E., VARGAS A. 1992. Cosecha y empaque de pejibaye como fruta fresca. Boletín Pejibaye IV (1):2-5.
- SAURA-CALIXTO F., GOÑI I., BRAVO L., MAÑAS E. 1993. Resistant starch in foods. Modified method for dietary fiber residues. Journal of Food Science 58: 642-643.
- SCHOUTEN R.E., ZHANG X., VERSCHOR J.A., OTMA E.C., TIJSKENS L.M., VAN KOOTEN O. 2009. Development of colour of broccoli heads as affected by controlled atmosphere storage and temperature. Postharvest Biology and Technology 51:27-35.
- SEYMOUR G.B., TAYLOR J.E., TUCKER G.A. 1993. Biochemistry of fruit ripening. London, Chapman and Hall. 454 p.
- WANG H., CAO G., PRIOR R.L. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry 44:701-705.
- WU X., BEECHER G.R., HOLDEN J.M., HAYTOWITZ D.B., GEBHARDT S.E., PRIOR R.L. 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52:4026-4037.

Nota técnica

INFLUENCIA DE COBERTURAS EN SUELO SOBRE LA SELECCIÓN DEL HOSPEDANTE POR *Bemisia tabaci*, EN CONDICIONES DE INVERNADERO

Luko Hilje^{1/*}, Phil A. Stansly^{**}

Palabras clave: Coberturas al suelo, selección del hospedante, *Bemisia tabaci*, tomate, Costa Rica.

Keywords: Ground covers, host-plant selection, *Bemisia tabaci*, tomatoes, Costa Rica.

Recibido: 26/01/11

Aceptado: 18/08/11

RESUMEN

Aunque varios tipos de coberturas en suelo (inertes o vivas) pueden reducir la afluencia de adultos de *B. tabaci* en plantas de tomate, se desconoce el mecanismo específico de acción de cada una de ellas. Por tanto, se realizó un experimento en un invernadero en Turrialba, Costa Rica, para determinar su respuesta tanto a coberturas inertes (metal verde y plástico plateado y amarillo) como vivas: maní forrajero (*Arachis pintoi*, Fabaceae), cinquillo (*Drymaria cordata*, Caryophyllaceae) y culantro (*Coriandrum sativum*, Umbelliferae). Se les comparó con un testigo (suelo desnudo). Hubo 4 repeticiones de cada tratamiento. Cada cobertura se sembró en una maceta grande, rodeado de una plántula de tomate de 15 cm de altura. Las macetas se colocaron sobre el piso del invernadero, espaciadas 40 cm entre sí. Cada experimento se repitió en 4 días consecutivos, para lo cual los tratamientos se aleatorizaron todos los días. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, con las coberturas como la parcela principal y las fechas como las subparcelas. La víspera de cada repetición se liberaron 1200 adultos de *B. tabaci* (biotipo A) en el área experimental y al día siguiente se registraron sus datos tanto en la planta de tomate como en cada cobertura. Los números de adultos

ABSTRACT

Influence of ground covers on host-plant selection by *Bemisia tabaci*, under greenhouse conditions. Even though several ground covers, either inert or living, can reduce *B. tabaci* adult numbers arriving to tomato plants, the specific mechanism by which they act remains unknown. Therefore, an experiment was conducted in a greenhouse in Turrialba, Costa Rica, to determine *B. tabaci* response to both inert (green metal, and silver and yellow plastics) and living covers: perennial peanuts (*Arachis pintoi*, Fabaceae), "cinquillo" (*Drymaria cordata*, Caryophyllaceae) and coriander (*Coriandrum sativum*, Umbelliferae). These were compared to a control (bare soil). There were 4 replicates of each treatment. Each cover was prepared in a large pot, surrounding a 15-cm tall tomato seedling. Pots were distributed on the greenhouse floor, 40 cm apart. Each experiment was replicated over 4 consecutive days, with treatments being randomized each time. A split-plot design was used, with ground covers as the main plot and dates as subplots. On the eve of each replicate, 1200 *B. tabaci* adults (A biotype) were released into the experimental area, and the next day adults on both the tomato

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: luk@ice.co.cr

* Departamento de Agricultura y Agroforestería, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

** Southwest Florida Research & Education Center, University of Florida. Immokalee, FL 34142, EE.UU.

fueron mucho mayores ($p < 0,01$) en las plantas de tomate del testigo que en las de todos los demás tratamientos. Asimismo, no difirieron entre los diferentes tipos de coberturas ($p > 0,05$). Aunque todas interfieren con la habilidad de los adultos para localizar las plantas de tomate, el mecanismo específico de acción difirió según la naturaleza de cada una, excepto en las coberturas vivas, que parecen compartir el mismo mecanismo.

INTRODUCCIÓN

Hace casi medio siglo Kennedy et al. (1961) demostraron que algunas especies de áfidos emplean el contraste de color, es decir, las diferentes longitudes de onda emitidas por las plantas y el suelo desnudo, para localizar a sus hospedantes. Sus hallazgos serían confirmados y ampliados en años subsiguientes por otros autores (A'Brook 1968, Smith 1976).

No obstante, se desconocía que este fenómeno también podría ocurrir con otros homópteros, como la mosca blanca *B. tabaci*, hasta que se evaluaron con éxito varias coberturas inertes, de diferente color, en Israel (Cohen y Melamed-Madjar 1974, 1978, Cohen 1982, Cohen y Berlinger 1986). Más recientemente, gracias a evidencias que sugerían que en semilleros o campos de tomate con crecimiento espontáneo de vegetación silvestre, las plantas de tomate mostraban menor afección por parte de los virus transmitidos por dicho vector; el primer autor se propuso investigar el rol de algunas coberturas vivas en la reducción de la afluencia de adultos de *B. tabaci* y de la incidencia de los begomovirus (Geminiviridae) comúnmente transmitidos por este insecto.

La experimentación con dichas coberturas, desarrollada durante varios años y resumida por Hilje (2008), incluyó una mezcla de vegetación espontánea (plantas arvenses), las leguminosas maní forrajero (*Arachis pintoi*) y mucuna (*Stylobium deeringianum*) (Fabaceae), el cinquillo (*Drymaria cordata*, Caryophyllaceae) y el culantro

plants and the respective covers were counted. Adult numbers were by far highest on tomato plants sown in bare soil ($p < 0.01$). Furthermore, their numbers did not differ among ground covers, either living or inert ($p > 0.05$). Despite all covers interfering with insect's ability to locate tomato plants, the underlying specific mechanism differed depending on each cover's nature, except among living covers, which seemed to share the same mechanism.

(*Coriandrum sativum*, Umbelliferae) (Amador y Hilje 1993, Blanco y Hilje 1995, Cubillo et al. 1999a, Hilje y Stansly 2008). Entre todas, sobresalió la última, tanto por su sencillo manejo agronómico como por el aporte de ingresos complementarios para los agricultores.

No obstante, permanece desconocido el mecanismo mediante el que actúan las coberturas vivas, lo cual ocurre también con varios tipos de coberturas inertes que han demostrado su eficacia en reducir la afluencia de adultos de *B. tabaci* y en la disminución de la incidencia de virosis en tomate (Cohen y Melamed-Madjar 1974, 1978, Cohen 1982, Cohen y Berlinger 1986). Por tanto, de manera paralela a un amplio experimento de campo (Hilje y Stansly 2008), la presente investigación se orientó a tratar de esclarecer el o los mecanismos implicados en la colonización del tomate por parte de los adultos de *B. tabaci*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se efectuó en un invernadero de la Unidad de Fitoprotección, en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba. El CATIE se ubica en la vertiente del Caribe de Costa Rica, a 09°52'N, 83°38'O y 590 m de altitud.

Se utilizó la var. Hayslip (Asgrow Seed Co., Michigan), y las plántulas se produjeron según procedimientos estándar (Cubillo et al. 1999b), en cartuchos de papel colocados bajo un

túnel cubierto con la malla fina IN50 (Tildenet, EE. UU.).

Las plántulas de 22 días, 15 cm de altura y con 4 hojas totalmente desarrolladas se trasplantaron de manera individual en macetas plásticas negras, grandes (10,5 l) (N°. 1200, V-J Growers Supply, Florida), con suelo esterilizado en una autoclave. En el sustrato se hizo un hueco (6 cm de diámetro), en el centro de cada maceta, para extraer y reemplazar fácilmente las plantas de tomate durante el experimento. Las macetas se colocaron sobre el piso del invernadero, espaciadas 40 cm entre sí (Figura 1).

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, dadas las condiciones homogéneas en



Fig. 1. Disposición de los tratamientos en el invernadero. Nótense los postes metálicos para la liberación de los adultos.

el invernadero y el pequeño espacio ocupado por el experimento, con 4 repeticiones. (Little y Hills 1978). Cada experimento se repitió 4 veces, en días consecutivos; aleatorizando los tratamientos. Estos fueron: maní forrajero (MF), cinquillo (CQ), culantro (CO), lámina verde (LV), plástico plateado (PP), plástico amarillo (PA), y suelo desnudo (testigo) (T) (Figura 2).

Las coberturas vivas se establecieron al menos 2 semanas antes de trasplantar las plántulas de tomate, mientras que las coberturas inertes se colocaron la víspera del trasplante; las plásticas se sujetaron a la maceta mediante una banda de hule. La cobertura verde se confeccionó con una lámina de metal delgado, el cual se

pintó con una tonalidad semejante a la de una cobertura viva verde, como la Southern Pine, 90 GY 08/187 (The Master Palette, Glidden). Para la cobertura plástica amarilla (Pantone 116C) se utilizó un plástico empleado para fabricar bolsas para basura doméstica (Kanguro). La cobertura plástica plateada (plateado/negro, coextruido, de 1,25 Mls) es un material de uso agrícola (Olefinas S.A., Guatemala). En el tratamiento testigo, la maceta tenía suelo hasta el borde.

Los adultos de *B. tabaci* (pertenecientes al biotipo A) se recolectaron con un aspirador manual, en una colonia criada sobre plantas de tomate, en un invernadero vecino. Ellos (1200 individuos) se liberaron en el área experimental la víspera de cada experimento, a las 15-16 h, para que se habituaran al sitio. Fueron separados en 6 grupos (de 200 adultos), cada uno colocado en un frasco plástico transparente, el cual se sujetó con una banda de hule a un poste de metal de 1 m de altura. Los 6 postes se distribuyeron de manera uniforme en el área experimental (Figura 1), para evitar sesgos.

Se registraron los números de adultos tanto en el tomate como en cada cobertura, entre 8:30-10:30 h, antes de su pico de vuelo diario (Jovel et al. 2000), el día de cada experimento. Para lo primero, se colocó una bolsa plástica grande sobre cada planta de tomate (Figura 3a), y ésta se cortó con cuidado (para no perturbar los adultos presentes en la respectiva cobertura), para así capturar los adultos; una vez anestesiados con éter, se contaron en el laboratorio.

Posteriormente, se muestreó cada cobertura mediante una trampa. Esta consistió en un balde negro grande de 34 cm de diámetro, invertido y colocado sobre cada maceta; éste tenía un frasquito en la parte superior y una manga lateral de manta (Figura 3b). Una vez colocado sobre la respectiva cobertura, a través de la manga se introducía la mano del observador para agitar las plantas de la cobertura viva o golpear suavemente la cobertura inerte, de modo que los adultos huyeran y se introdujeran en el frasquito, para ser contados, una vez anestesiados en el laboratorio. Al finalizar cada experimento, se recolectaron

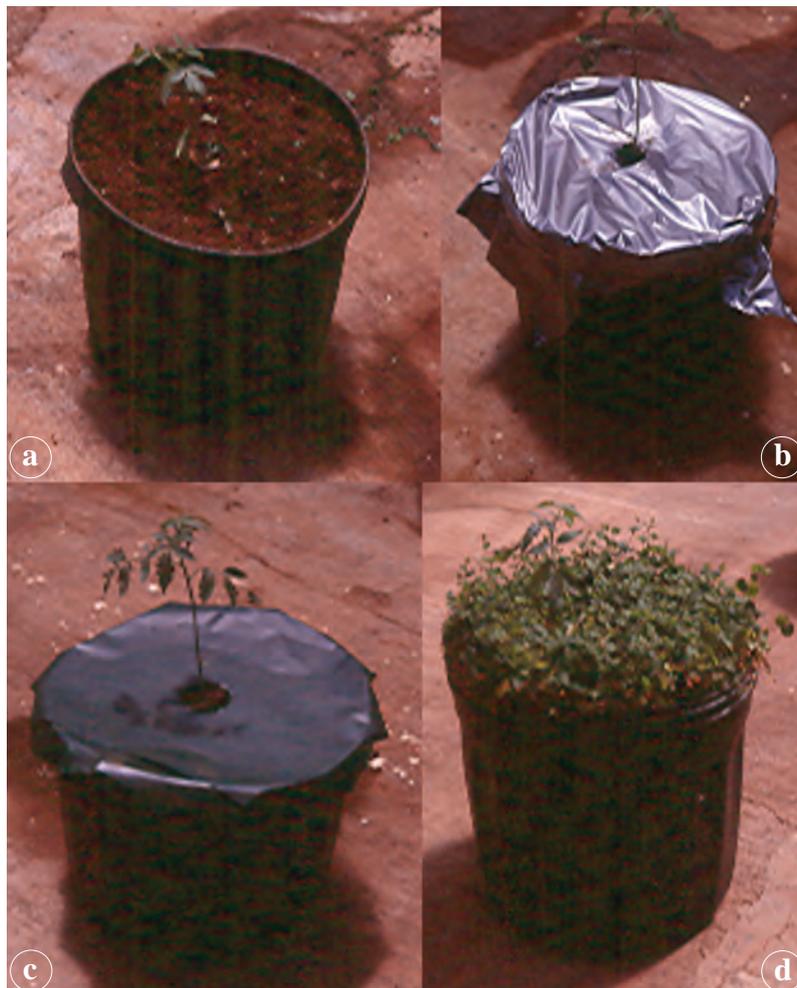


Fig. 2. Aspecto de algunos tratamientos evaluados: planta de tomate en suelo desnudo (a), plástico plateado (b), lámina metálica verde (c) y culantro (*Coriandrum sativum*) (d).



Fig. 3. Métodos para el muestreo de los adultos presentes en la planta de tomate, mediante una bolsa plástica (a), así como en las coberturas vivas, mediante un balde (b).

indistintos remanente adultos, para evitar sesgos en los recuentos de los experimentos de los días siguientes.

La temperatura y la humedad relativa dentro del invernadero se registraron diariamente, mediante un higrotermógrafo.

Los datos se sometieron a un análisis de varianza de parcelas divididas (Little y Hills 1978), donde los tratamientos (coberturas) se consideraron como la parcela principal y el tiempo (fechas) como las subparcelas. Las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey (SAS 1985). Asimismo, se realizaron los siguientes contrastes ortogonales más pertinentes, entre tratamientos individuales o de grupos de tratamientos con ciertas afinidades entre sí (Little y Hills 1978): todas las coberturas vs. testigo, coberturas vivas vs. inertes, coberturas vivas vs. cobertura verde, MF vs. CQ, MF vs. CU y CQ vs. CU.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los números de adultos de *B. tabaci* fueron mucho mayores ($p < 0,01$) en las plantas de tomate del testigo que en las de todos los demás tratamientos (Cuadro 1). Esto es congruente con todos los hallazgos de campo previos (Amador y Hilje 1993, Blanco y Hilje 1995, Cubillo et al. 1999a, Hilje y Stansly 2008), lo cual indica que aún en áreas muy pequeñas y espacios restringidos, los adultos utilizan el contraste del suelo para

seleccionar su planta hospedante, como lo determinaron otros autores para áfidos (Kennedy et al. 1961, A'Brook 1968, Smith 1976).

Otro resultado llamativo es que los números de adultos no difirieron entre los diferentes tipos de coberturas ($p > 0,05$), ya fueran vivas o inertes (Cuadro 2), lo cual sugiere que todas ellas interfieren con la habilidad del insecto para localizar las plantas de tomate.

Asimismo, al comparar el número de adultos posados en cada cobertura viva con los posados en la planta de tomate asociada con cada una de ellas, hubo una gran diferencia en el valor promedio consolidado de las 3 coberturas vivas y el de la planta de tomate (2,52 vs. 12,95, $p < 0,01$, $N=48$). Cabe indicar que en este aspecto las 3 coberturas vivas no difirieron entre sí ($p > 0,05$), con valores promedio de 3,56 (maní forrajero), 2,43 (culantro) y 1,56 (cinquillo); estos datos no se agrupan en un cuadro, pues corresponden a cálculos sencillos.

La posible explicación de este fenómeno es que algunos adultos se refugiaron en las coberturas vivas para evadir las muy altas temperaturas (de hasta 39°C) típicas de dicho invernadero, pero fueron muy pocos, realmente. Estos datos son bastante congruentes con los de Hilje y Stansly (2008), quienes en el campo registraron números de adultos sumamente bajos en las coberturas vivas, con un valor máximo de apenas 0,33 adultos/ balde, el promedio; además, no se hallaron

Cuadro 1. Número de adultos de *B. tabaci* en plantas de tomate asociadas con varios tipos de coberturas al suelo. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Cobertura	N	X ± SE	Ámbito
Testigo	16	57,25±10,40a	12-142
Plástico amarillo	16	19,19±5,91b	1-86
Cinquillo	16	16,88±4,10b	0-48
Lámina verde	16	14,06±2,53b	0-30
Culantro	16	12,13±1,96b	3-34
Maní forrajero	16	9,88±2,64b	1-35
Plástico plateado	16	7,31±1,87b	0-29

Los promedios seguidos por la misma letra no fueron significativamente diferentes ($p=0,05$).

Cuadro 2. Contrastes ortogonales para los números de adultos de *B. tabaci* en plantas de tomate asociadas con varios tipos de coberturas al suelo. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Contrastes	Cuadrado medio	F	Pr>F
Todas vs. testigo	26563,43	100,98	0,0001
Vivas vs. inertes	7,59	0,03	0,8667
Vivas vs. LV	14,63	0,06	0,8159
MF vs. CQ	392,00	1,49	0,2357
MF vs. CU	40,50	0,15	0,6987
CQ vs. CU	180,50	0,69	0,4168

Culantro (CU), cinquillo (CQ), maní forrajero (MF) y lámina verde (LV).

huevos ni ninfas en ellas. En síntesis, es claro que ninguna de estas coberturas vivas atrae y retiene a los adultos de *B. tabaci*, lo cual fue aún más evidente en el campo, donde ellos no se estuvieron forzados a permanecer en un espacio pequeño y cerrado, como el invernadero.

En cuanto al mecanismo de acción de cada tipo de cobertura, es claro que difieren entre sí, como se discute a continuación.

En el caso de las 3 coberturas vivas (cinquillo, culantro y maní forrajero) es muy posible que compartan el mismo mecanismo. Al respecto, existen al menos 2 posibilidades. Una es que ellas enmascaren la planta de tomate (de manera visual, olfativa o ambas), tornándola imperceptible para los adultos de *B. tabaci* y dificultó, o incluso impidió su localización, donde el color es el principal factor determinante en la selección del hospedante, a distancia, pero la capacidad visual de ellos es limitada, por lo que no pueden reconocer a sus verdaderos hospedantes sino una vez que hayan hecho contacto, al insertar su estilete en el apoplasto del mesófilo (van Lenteren y Noldus 1990).

La otra posibilidad es la de la no preferencia. En este caso los adultos aterrizan en el área con vegetación, pero sin distinguir a priori su composición botánica y, una vez que insertan su estilete y se percatan de que la planta no corresponde a la de un hospedante satisfactorio, tienden a alejarse; no obstante, al hacerlo en cierta dirección, algunas quizás se topan con la planta de tomate sembrada en el centro de la maceta y permanecen en ésta.

Esta hipótesis coincide con la teoría de “aterrijajes apropiados/inapropiados”, postulada por Finch y Collier (2000) a partir de su experiencia con la mosca *Delia radicum* (Anthomyiidae) en un sistema mixto de repollo con trébol. Esta plantea que durante su proceso de búsqueda y en presencia de una mezcla de plantas, los herbívoros pueden aterrizar tanto en sus hospedantes (apropiados) como en los que no lo son (inapropiados), a la vez que evitan el suelo desnudo. Inicialmente, son las sustancias volátiles emitidas por la planta hospedante las que inducen al insecto a detenerse y aterrizar en el área con vegetación, pero sin

detectar ni ubicar exactamente a su hospedante. Puesto que, en proporción por unidad de superficie hay mucho más plantas de la respectiva cobertura que de tomate, aumentaría la probabilidad de que el insecto aterrice en una planta de éstas, tras lo cual entrarían en juego otros estímulos (tanto visuales, como de sustancias no volátiles propias de la planta) para su reconocimiento y colonización.

Extrapolado a las condiciones de campo, este mecanismo explicaría en gran parte lo acontecido cuando las coberturas (cinquillo, culantro y maní forrajero) se evaluaron en parcelas de tomate, en Costa Rica (Amador y Hilje 1993, Blanco y Hilje 1995, Cubillo et al. 1999a, Hilje y Stansly 2008). Es decir, sería de esperar que tras varios intentos fallidos y reiterados (al probar con su estilete una y otra vez en varias plantas inapropiadas) los adultos de *B. tabaci* posiblemente, tiendan a abandonar la parcela de tomate, lo que quizás se vería favorecido por el pequeño tamaño de las plantas de tomate. No obstante, al crecer éstas, se incrementaría la probabilidad de contacto (olfativo, visual o físico) con ellas, por lo que progresivamente se acumularían adultos ahí. El retraso en todo este proceso conduciría a retardar notablemente el desarrollo de la epidemia viral.

Por su parte, el mecanismo de acción de las coberturas inertes es muy diferente de los anteriores, e incluso entre cada una de ellas.

En el caso de la cobertura verde, que simula ser una cobertura viva, actuaría ya sea por enmascaramiento visual de la planta de tomate, aunque no debe descartarse el olor de la pintura. En todo caso, al ser una estructura dura e imposible de penetrar con el estilete, pronto el insecto se percataría de que no le aporta alimento y se alejaría. Al respecto, en 2 experiencias de campo (Amador y Hilje 1993, Blanco y Hilje 1995) en una, el plástico era verde claro y en la otra era oscuro pero se decoloró rápidamente, por lo que la cantidad de adultos no difirió del testigo (tomate en suelo desnudo), quizás por su cercanía cromática con el amarillo. En realidad, tienen una fuerte preferencia por el verde-amarillento más que por el amarillo (van Lenteren y Noldus 1990).

En cambio, la cobertura de plástico plateado actuó como una superficie reflectora de luz ultravioleta (Cszinszky et al. 1999), la cual ha demostrado ser repelente de los adultos de *B. tabaci* y otros insectos (Swwuan et al. 1988, Cszinszky et al. 1995, 1997, 1999, Berlinger y Lebiush-Mordechi 1996, Cubillo et al. 1999a, Hilje y Stansly 2008), por lo que en la actualidad se utiliza a escala comercial en numerosos países. En el experimento se observó que repele a los adultos de manera muy eficiente, apenas hacen contacto con ella, lo cual explica que en dicha cobertura se presentaran los números más bajos de adultos en la planta de tomate.

Finalmente, aunque sin diferencias estadísticas, el plástico amarillo fue la cobertura con el mayor número de adultos, lo cual podría explicarse porque los atrae, por ser un color fuertemente preferido por *B. tabaci*, por lo que normalmente se utiliza para capturar los adultos en trampas (Berlinger y Lebiush-Mordechi 1996), pero una vez atraído el insecto al percatarse de que se trata de una estructura dura, inerte y sin valor nutritivo, pronto se alejaría; de hecho el tiempo de permanencia de los adultos en trampas amarillas es de apenas 2,16 min, en promedio, en el invernadero (Hilje, inédito).

Esto explica que en una experiencia de campo (Amador y Hilje 1993) la cantidad de adultos no difiriera del testigo (suelo desnudo), pues ellos pronto se desplazan hacia las plantas de tomate adyacentes. Esto sugiere que su uso en el campo sería contraproducente, pero en Israel las coberturas amarillas son ampliamente utilizadas en campos de tomate. No obstante, se trata de zonas sumamente calientes, donde el plástico acumula tanto calor que mata a los adultos cuando estos son atraídos y se posan sobre él (Cohen 1982, Cohen y Berlinger 1986). En el sitio donde se efectuó el experimento en Costa Rica la temperatura máxima diaria no superó los 23°C, en tanto que en el Valle del Jordán, Israel, ese valor puede alcanzar cerca de 50°C en la cobertura. En el presente experimento aunque las temperaturas del invernadero fueron altas, (de hasta 39°C) posiblemente causaron el excesivo calentamiento de la cobertura amarilla

y de las otras inertes, la metodología empleada no permitía determinar si hubo mortalidad directa causada por dichas coberturas.

En síntesis, es evidente que la respuesta de los adultos de *B. tabaci* a los distintos tipos de cobertura difiere según la naturaleza (color, olor, sabor y textura) de cada una de ellas. Pero, independientemente del mecanismo específico de cada una, que es interesante entender en términos científicos y académicos, lo más importante es que todas ellas tienen valor práctico para el manejo de *B. tabaci* como vector de virus en tomate y otros cultivos, en combinación con otras tácticas de manejo integrado de plagas.

AGRADECIMIENTOS

A Douglas Cubillo, Guido Sanabria y Arturo Ramírez (CATIE), por su apoyo en el trabajo de campo o en los análisis estadísticos. Al CATIE y al Departamento de Agricultura de los EE. UU. (proyecto Development of crop associations for managing geminiviruses vectored by whiteflies in tomatoes, FG-CR-108, CS-AES-7), por el financiamiento de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- A'BROOK J. 1968. The effect of plant spacing on the numbers of aphids trapped over the groundnut crop. *Ann. Appl. Biol.* 61: 289-294.
- AMADOR R., HILJE L. 1993. Efecto de coberturas vivas e inertes sobre la atracción de la mosca blanca, *Bemisia tabaci* (Gennadius), al tomate. *Manejo Integrado de Plagas* 29:14-21.
- BERLINGER M.J., LEBIUSH-MORDECHI S. 1996. Physical methods for the control of *Bemisia*, pp. 617-634. In: D. Gerling y R.T. Mayer (eds.). *Bemisia* 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management. Intercept, United Kingdom.
- BLANCO J., HILJE L. 1995. Efecto de coberturas al suelo sobre la abundancia de *Bemisia tabaci* y la incidencia de virosis en tomate. *Manejo Integrado de Plagas* 35:1-10.
- COHEN S. 1982. Control of whitefly vectors of viruses by colour mulches, pp. 45-56. In: K.F. Harris y K.

- Maramorosch (eds.). Pathogens, vectors and plant disease: Approaches to control. Academic Press, New York.
- COHEN S., BERLINGER M.J. 1986. Transmission and cultural control of whitefly-borne viruses. *Agric. Ecosys. Environ.* 17:89-97.
- COHEN S., MELAMED-MADJAR V. 1974. Prevention of the spread of tomato yellow leaf curl virus transmitted by *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) in Israel. *Bull. Ent. Res.* 64(2):193-197.
- COHEN S., MELAMED-MADJAR V. 1978. Prevention by soil mulching of the spread of tomato yellow leaf curl virus transmitted by *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) in Israel. *Bull. Ent. Res.* 68(3):465-470.
- CSIZINSZKY A.A., SCHUSTER D.J., KRING J.B. 1995. Color mulches influence yield and insect pest populations in tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(5):778-784.
- CSIZINSZKY A.A., SCHUSTER D.J., KRING J.B. 1997. Evaluation of color mulches and oils sprays for yield and for the control of silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii* (Bellows and Perring) on tomatoes. *Crop Protection* 16(5):475-481.
- CSIZINSZKY A.A., SCHUSTER D.J., POLSTON J.E. 1999. Effects of ultraviolet-reflective mulches on tomato yields and on the silverleaf whitefly. *HortScience* 34:911-914.
- CUBILLO D., SANABRIA G., HILJE L. 1999a. Eficacia de coberturas vivas para el manejo de *Bemisia tabaci* como vector de geminivirus, en tomate. *Manejo Integrado de Plagas* 51:10-20.
- CUBILLO D., SANABRIA G., HILJE L. 1999b. Evaluación de recipientes y mallas para el manejo de *Bemisia tabaci* mediante semilleros cubiertos, en tomate. *Manejo Integrado de Plagas* 51:29-35.
- FINCH S., COLLIER R.H. 2000. Host-plant selection by insects -a theory based on 'appropriate/ inappropriate landings' by pest insects of cruciferous plants. *Entomol. Exp. Appl.* 96:91-102.
- HILJE L. 2008. En busca de coberturas vivas para el manejo de *Bemisia tabaci* como vector de virus en tomate. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 79-80:98-107.
- HILJE L., STANSLY P.A. 2008. Living ground covers for management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) and tomato yellow mottle virus (ToYMoV) in Costa Rica. *Crop Protection* 27(1):10-16.
- JOVEL J., KLEINN C., CARTIN V., VALVERDE B., HILJE L. 2000. Movimientos diarios de *Bemisia tabaci* en parcelas de tomate, en Turrialba, Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas* 55:49-55.
- KENNEDY J.S., BOOTH C.O., KERSHAW W.J.S. 1961. Host finding by aphids in the field. III. Visual attraction. *Ann. Appl. Biol.* 49:1-21.
- LITTLE T.M., HILLS F.J. 1978. Agricultural experimentation; design and analysis. John Wiley & Sons, New York.
- SAS. 1985. Guide for personal computers. Version 6 ed. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina.
- SMITH J.G. 1976. Influence of crop background on aphids and other phytophagous insects on Brussels sprouts. *Ann. Appl. Biol.* 83:1-13.
- SUWWAN M.A., AKKAWI M., AL-MUSA A.M., MANSOUR A. 1988. Tomato performance and incidence of tomato yellow leaf curl (TYLC) virus as affected by type of mulch. *Scientia Horticulturae* 37(1/2):39-45.
- VAN LENTEREN J.C., NOLDUS L.P.J.J. 1990. Whitefly-plant relationships: Behavioural and ecological aspects, pp. 47-89. In: D. Gerling (ed). *Whiteflies: Their bionomics, pest status and management*. New Castle, UK. Atheneum Press.

Nota técnica

CONTENIDO TOTAL Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIMENTOS EN DOS MUESTRAS DE CENIZAS EXPULSADAS EN ENERO DEL 2010 POR EL VOLCÁN TURRIALBA, COSTA RICA

Juan Carlos Méndez^{1/*}, Floria Bertsch^{*}

Palabras clave: Cenizas volcánicas, solubilidad, Volcán Turrialba, disponibilidad de nutrientes, Andisoles.

Keywords: Volcanic ashes, solubility, Turrialba Volcano, nutrient availability, Andisols.

Recibido: 07/02/11

Aceptado: 20/07/11

RESUMEN

En enero del 2010 y a una distancia aproximada de 10 km del cráter principal se recolectaron 2 muestras de cenizas recién expulsadas por el Volcán Turrialba, Costa Rica, con el objetivo de analizar el contenido total y el porcentaje disponible de los elementos en el corto plazo. Para analizar las cantidades totales, las muestras se digirieron con HNO₃ al 70% y los elementos se determinaron por Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma (ICP), mientras que para determinar la cantidad de elementos “disponibles en forma inmediata” se realizó una extracción con las soluciones KCl y Olsen Modificada. Además, para estudiar la solubilidad de las cenizas en agua, se sometió la muestra 1, a soluciones con 3 distintos pH (4, 5,5 y 6,7) y a 4 tiempos de agitación (0, 0,5, 4 y 24 h) con 3 repeticiones en cada caso. Después de la agitación se determinó la conductividad eléctrica así como el pH en la solución y se analizaron los elementos disueltos por medio del ICP. Los contenidos totales promedio presentes en las cenizas fueron, de mayor a menor cantidad, Fe (13 300), Ca (8700), Mg (2300), K (750), S (700), P (450), Mn (79), Zn

ABSTRACT

Total content and nutrients availability in two samples of ash eject by the Turrialba Volcano, Costa Rica in January 2010. In January 2010, at a distance of approximately 10 km from the main crater, 2 samples of ashes ejected by the Turrialba Volcano, Costa Rica, were collected with the objective of analyzing their total content of elements, and the percentage available in the short time. To analyze the total amount of elements, both samples were digested with HNO₃ (70%), and the elements were determined by Atomic Emission Spectroscopy Plasma (ICP), while and to determine the amount of “immediately available” elements in the samples, KCl (1N) and Modified Olsen extractants were used. Moreover, to study the ashes' solubility in water, sample 1 was dissolved at 3 different pH (4, 5.5 and 6.7), and with 4 agitation times (0, 0.5, 4 and 24 h), with 3 repetitions in each case. After each agitation time the Electrical Conductivity and the pH of the resulting solution were determined, and the amount of elements dissolved in the solution was analyzed by ICP. The total average contents present in the ashes

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: juancarlos.mendez@ucr.ac.cr

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

(38), Cu (33) y B (31) mg.kg⁻¹. En cuanto a la disponibilidad con la solución extractora, se obtuvo que sólo un 0,2% del contenido total de Fe se presentó en forma disponible; para los demás elementos los porcentajes correspondieron a: 8-11% para Ca, 0,5% para Mg, 6-15% para K, 10-13% para S, 2-7% para P, 0-3% para Mn, 2-7% para Zn y 0-3% para Cu. En los análisis de solubilidad en agua no se detectó presencia de P, Zn, Cu y Mn a ningún pH de agua ni tiempo de agitación. Para los restantes elementos, excepto el K que no mostró una tendencia definida, se observaron aumentos significativos en la cantidad disuelta en agua al aumentar el tiempo de agitación a los 3 pH iniciales. Además se observó un efecto "buffer" por parte de la ceniza al disolverse, ya que, sin importar el pH inicial que tuviera el agua, todas las condiciones tendieron a llevar el pH de la solución a valores cercanos a 6,7.

INTRODUCCIÓN

La actividad volcánica y la consecuente deposición de cenizas sobre los lugares aledaños a un cono, conllevan a la constante formación y rejuvenecimiento de los suelos ubicados en estos sitios. Según Alvarado et al. (2001) la formación de suelos derivados de cenizas volcánicas en Costa Rica, es un proceso que se da con relativa rapidez por lo que es común encontrar que los horizontes superficiales son más nuevos que los subsuperficiales.

Besoán (1972) señala que desde la deposición de las cenizas volcánicas hasta la formación de alofana se da una secuencia progresiva en la que se distinguen 4 etapas: iónica, coloidal, paracrística y cristalina; durante este proceso muchos nutrientes minerales pueden ser liberados hacia la solución del suelo (Nanzoy 2002).

A mediano y largo plazo las ventajas nutricionales sobre la fertilidad de los suelos causadas por la adición recurrente y meteorización de cenizas volcánicas han sido documentadas frecuentemente (Dahlgren et al. 1999 y Ugolini

were, from higher to lower amounts, Fe (13 300), Ca (8700), Mg (2300), K (750), S (700), P (450), Mn (79), Zn (38), Cu (33) and B (31) mg.kg⁻¹. As to the immediate availability in the extractant solution in relation to total content, Fe was only 0.2% available, and for the rest of the elements the percentages were: 8-11% for Ca, 0.5% for Mg, 6-15% for K, 10-13% for S, 2-7% for P, 0-3% for Mn, 2-7% for Zn, and 0-3% for Cu. In the analyses of water solubility no presence of P, Zn, Cu, or Mn was detected at any initial water pH or agitation time. For the rest of the elements, except for K which showed no defined tendency, significant increases in the amount dissolved in water were shown with increases in agitation time at the 3 different initial pH of water. Also, the dissolved ash showed a "buffer" effect since, regardless of the initial water pH, the solution pH increased to around 6.7 under all conditions.

y Dahlgren 2002). No obstante en muchas ocasiones, la deposición de materiales volcánicos no implica necesariamente una mejora inmediata en las propiedades nutricionales del suelo.

La solubilidad inicial de las cenizas volcánicas depende en gran medida de la composición y cristalografía de las mismas; un ejemplo de ello son las variaciones en la cantidad de aniones y cationes hallados por Bornemiza (1971) al extraer con agua cenizas frescas de los volcanes Irazú y Arenal.

En el caso de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica se ha reportado que la composición del material volcánico depositado es principalmente de origen andesítico-basáltico (Castillo 1984), y para el caso específico del Volcán Turrialba, Reagan et al. (2006) indican que de las últimas 6 erupciones realizadas por este volcán, 5 de ellas expulsaron material con composición andesítica-basáltica y solo una tuvo características de andesita-silícica.

Es por esta razón que es importante estudiar las características químicas y la solubilidad que tienen las cenizas expulsadas durante un

período de actividad volcánica, ya que esto permitirá tener desde un punto de vista agronómico, una idea de los posibles efectos inmediatos de la ceniza en el medio sobre el cual es depositada. De acuerdo con Nanzyo (2002) a pesar de que las características de los materiales recién depositados son bastante diferentes en muchos aspectos a las que tiene un Andisol maduro, es importante estudiar las propiedades de las cenizas recién eruptadas ya que es fácilmente comprensible que con el transcurrir de los años dichos materiales darán origen a un tipo particular de suelos.

El presente estudio tuvo como objetivo realizar una evaluación preliminar del contenido total y de la disponibilidad de elementos de las cenizas frescas expulsadas por el Volcán Turrialba de Costa Rica en enero del 2010, basándose en los artículos publicados por Bornemisza y Morales (1969) y Chaverri y Alvarado (1979) con las cenizas del Volcán Irazú y Bornemisza (1971) con las del Volcán Arenal inmediatamente después de ocurrir erupciones en estos volcanes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de las muestras de cenizas

Para realizar el presente estudio se recolectaron 2 muestras de cenizas expulsadas por el Volcán Turrialba en enero del 2010. La muestra 1 fue recolectada a partir de material depositado sobre las hojas de un cultivo de coliflor un día después de la primera erupción, en una finca de La Pastora de San Juan de Chicué, ubicada aproximadamente 10 km al sureste del cráter del Volcán Turrialba. Por su parte, la muestra 2 fue recolectada de una superficie de cemento sobre la que se había depositado una capa considerable de ceniza. La recolección de esta muestra la efectuaron ingenieros agrónomos del Ministerio de Agricultura y Ganadería durante una visita de reconocimiento de daños en la zona más afectada (a un diámetro menor a los 5 km del cráter). Ambas muestras fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelos y Foliareos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad

de Costa Rica (LSF/CIA-UCR) para realizar las respectivas determinaciones.

Determinación de la composición total de las cenizas y de elementos extraíbles a corto plazo

Con el objetivo de analizar el contenido total de Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe, Mn, S y B, tanto la muestra 1 como la muestra 2 se pusieron a secar en una estufa a una temperatura de 45°C por un período aproximado de 24 h. Después de esto ambas muestras fueron digeridas con HNO₃ al 70% en microondas a 180°C y 1000 watts de potencia por 25 min; los elementos se determinaron por medio de Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma (ICP), según la metodología citada por Isaac y Johnson (1997).

Por otro lado, para determinar el porcentaje disponible o fracción fácilmente extraíble de cada uno de estos elementos, se les practicó el procedimiento convencional utilizado en el LSF para efectuar el diagnóstico nutricional de muestras de suelos. Este procedimiento consiste en el uso de la solución KCl 1N para la extracción de Ca y Mg, y la solución Olsen Modificada para K, P, Zn, Fe, Cu y Mn, determinados en el espectrofotómetro de absorción atómica, excepto el P que se determina colorimétricamente en un autoanalizador de inyección de flujo (Henríquez y Cabalceta 1999). El S se extrajo con Fosfato de Calcio y se determinó por turbidimetría según el procedimiento recomendado por Diaz-Romeu y Hunter (1978).

Determinación de la solubilidad de las cenizas en agua

Para estudiar la solubilidad de las cenizas en agua, se tomaron 10 ml de ceniza de la muestra 1, se les agregó 25 ml de agua ajustada con HCl a 3 diferentes valores de pH inicial (4; 5,5 y 7) y se les sometió a 4 tiempos de agitación (0; 0,5; 4 y 24 h). Cada tratamiento se repitió 3 veces. Una vez finalizado el tiempo de agitación de cada uno de los tratamientos se procedió a determinar la conductividad eléctrica (CE) y el pH de la

solución resultante. Además, el sobrenadante se filtró para determinar la cantidad de elementos disueltos luego de la agitación mediante el ICP.

Análisis de datos

Para comparar los contenidos totales y los porcentajes disponibles de elementos en las muestras de cenizas, las unidades se transformaron a mg.kg^{-1} . Las cantidades de elementos disponibles en la solución extractora, los cuales son expresados en términos de $\text{cmol}(+).\text{l}^{-1}$ y mg.l^{-1} , fueron transformados a unidades de mg.kg^{-1} mediante la determinación de la densidad aparente promedio de las muestras de cenizas, mediante el procedimiento descrito por Henríquez y Cabalceta (1999). El valor de la densidad de las cenizas fue de $1,1 \text{ g.ml}^{-1}$.

Los resultados de solubilidad de las cenizas en agua se sometieron a un análisis de varianza ($p \leq 0,05$) para cada pH inicial de la solución, con el fin de verificar si había diferencias significativas entre los diferentes tiempos de agitación. Se utilizó una prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) Fisher ($p \leq 0,05$) para establecer las medias entre cada grupo de datos. El análisis de los datos se realizó con el programa Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición total de las cenizas y porcentaje de elementos disponibles

En el Cuadro 1 se presentan los contenidos totales de elementos, tanto para la muestra 1 como para la muestra 2, además de la cantidad de elementos disponibles en la solución extractora. El orden de abundancia total de los elementos, de mayor a menor cantidad fue el siguiente: $\text{Fe} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} = \text{S} > \text{P} > \text{Mn} > \text{Zn} = \text{Cu} = \text{B}$. Los resultados muestran que a pesar del alto contenido de Fe total presente en las cenizas solo un 0,2% de este elemento se encuentra disponible al ser extraído con solución extractora; lo mismo ocurre con el Mg, Cu y Mn, en los cuales la cantidad fácilmente extraíble de estos elementos con respecto al total es menor al 1%.

Por otro lado, los elementos que presentaron los porcentajes de disponibilidad más altos en solución extractora fueron el Ca, K y S, sin embargo, ninguno alcanzó valores mayores al 16%.

Al observar los bajos porcentajes de disponibilidad de elementos en las cenizas frescas podría esperarse que la deposición de estos materiales no implique a muy corto plazo una mejora significativa en las propiedades nutricionales

Cuadro 1. Contenido total elementos (mg.kg^{-1}) y % disponible en solución KCl-Olsen en 2 muestras de cenizas del Volcán Turrialba.

		Ca	Mg	K	P	Zn	Cu	Fe	Mn	S	B
Contenido total (mg.kg^{-1})	muestra 1	7600	2300	700	500	43	32	14 435	86	600	33
	muestra 2	9800	2300	800	400	33	34	12 165	71	800	29
Cantidad disponible (mg.kg^{-1})	muestra 1	842	11	103	13	1	ND	26	ND	78	-
	muestra 2	809	11	46	24	2	1	26	2	79	-
% Disponible en KCl-Olsen		8-11	0,5	6-15	3-6	2-7	0-3	0,2	0-3	10-13	

presentes en el suelo, que coincide con lo reportado por Soley (1966), quien al agregar diferentes cantidades de ceniza a un latosol encontró una mejora únicamente en las propiedades físicas del suelo, y no así en las propiedades químicas.

Aunado a esto con el pasar del tiempo es posible que la fracción disponible de nutrientes se vea aún más reducida, ya que de acuerdo con lo encontrado por Chaverri y Alvarado (1979) al analizar los cambios de las propiedades químicas de las cenizas del Volcán Irazú con el tiempo, se evidenció una disminución en la cantidad de cationes intercambiables, especialmente los monovalentes. Al respecto Bornemisza (1971) señala que si bien los iones que entran en solución provenientes de estos materiales pueden contribuir en alguna medida en la fertilidad de los suelos, la tasa a la que estos se pierden es rápida y sostenida, lo cual explica en gran medida la velocidad con la que se forman los suelos derivados de cenizas volcánicas.

En un período de tiempo mayor, es muy posible que los efectos de las deposiciones de las cenizas sobre el estado de la fertilidad y el rejuvenecimiento de los suelos sí puedan ser observados. Un ejemplo de ellos es lo citado por Bornemisza y Morales (1969), quienes mencionan que en Guatemala, 4 años después de una expulsión de cenizas, se dio un incremento en la producción de café, atribuible en gran medida al aporte de bases solubles (K, Ca y Mg) provenientes de las cenizas, así como al aporte significativo de iones fosfato y sulfato que se solubilizaron a partir de estos materiales.

Otro aspecto que influye de forma importante en la disponibilidad de nutrientes, es el tipo de material depositado. De acuerdo con Alvarado (1976) las cenizas de origen andesítico aportan una considerable cantidad de elementos (P, Ca, Mg, K), mientras que las de origen riolítico no presentan estas características.

Solubilidad de las cenizas en agua

En los análisis de solubilidad en agua de las cenizas no se detectó la presencia de P, Zn, Cu y Mn a ningún pH de agua ni tiempo de agitación.

En cuanto al P estos resultados concuerdan con lo descrito por Bornemisza (1971), el cual reporta no haber encontrado aniones PO_4^{-3} solubles en agua en las cenizas recién expulsadas por los volcanes Irazú y Arenal. En el caso del Mn el mismo autor también encontró muy bajas cantidades solubles, con valores que rondan los 0,08 ppm en el caso de las muestras del volcán Irazú y valores de 0,05 a 0,40 en las cenizas provenientes del volcán Arenal.

Por otro lado, se pudo determinar la presencia de Ca, Mg, K, Na y S en la solución, donde el Ca presentó una mayor solubilidad en agua indistintamente del pH inicial de la solución, que llegó a alcanzar valores superiores a las 50 ppm luego de 24 h de agitación.

En relación con los resultados obtenidos por Bornemisza (1971) al analizar los aniones y cationes extraídos con agua, se puede establecer una diferencia precisamente en Ca, ya que las cantidades de este elemento extraídas a las 18 h para las cenizas del Irazú y el Arenal fueron de 4,8 y 10,4 ppm, respectivamente, mientras que en el presente estudio, a las 4 h de las cenizas del Volcán Turrialba habían sido extraídas cantidades mayores a 20 ppm, indistintamente del pH inicial del agua.

En la Figura 1 se puede observar que para los elementos Ca, Mg, Na y S se presentaron aumentos significativos en cuanto a la cantidad disuelta en agua al aumentar el tiempo de agitación para los 3 distintos pH iniciales de la solución. Además producto de la solubilización de estos elementos en el agua también se puede apreciar un aumento significativo de la CE al incrementarse los tiempos de agitación, sin llegar a ser estos valores demasiado elevados como para considerarlos perjudiciales en los tejidos vegetales.

El K fue el único elemento que no mostró una tendencia definida en cuanto a su solubilidad en agua al variar el pH de la solución y el tiempo de agitación (Figura 1). Además, fue el elemento que más variación tuvo en el porcentaje de disponibilidad en solución extractora, a pesar de que los contenidos totales de las 2 muestras analizadas no mostraron gran variación (Cuadro 1).

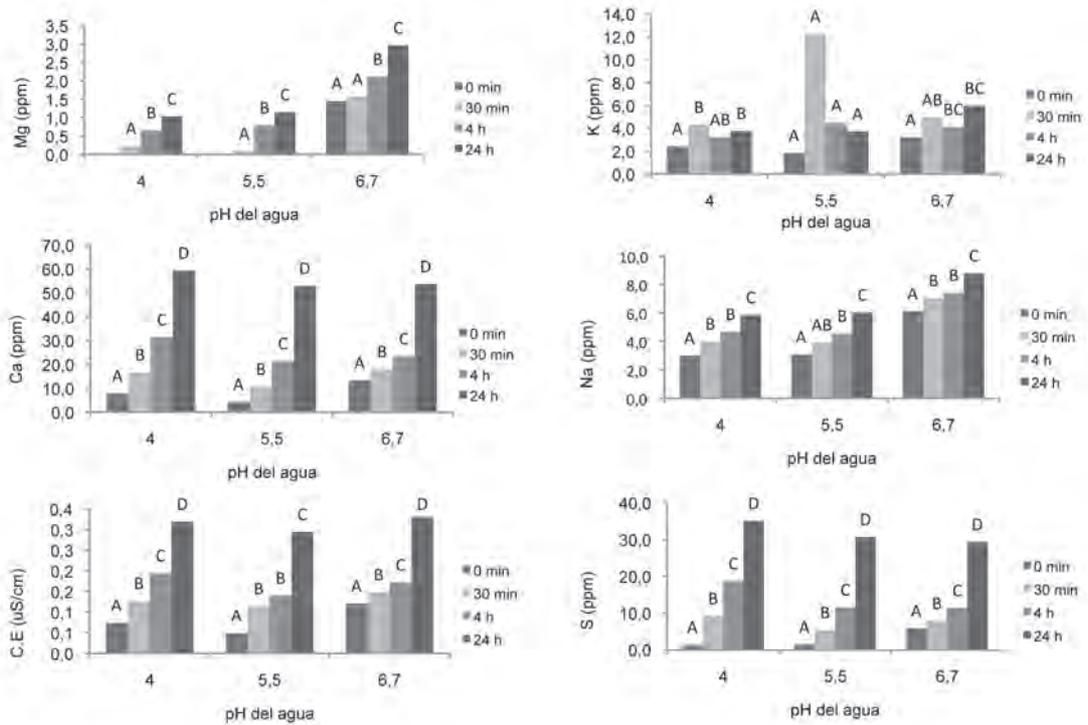


Fig. 1. Conductividad eléctrica (CE) y cantidad de Ca, Mg, K, Na y S solubles en agua con 3 distintos pH y 4 tiempos de agitación. Barras con letra distinta entre cada grupo de datos se consideran significativamente diferentes según prueba de DMS ($p < 0,005$).

Estos comportamientos poco regulares en cuanto a la solubilidad y disponibilidad del K pueden deberse principalmente a la conformación y al tipo de material que dio origen a las cenizas expulsadas. Para el caso de los materiales que han dado origen a las cenizas volcánicas en la región central de Costa Rica y a las provenientes del Volcán Turrialba, algunos autores han reportado que el tipo predominante es andesítico-basáltico (Castillo 1984 y Reagan et al. 2006).

En el caso de los elementos Mg y Na las cantidades extraídas de las cenizas del Turrialba guardan semejanza con las reportadas para estos cationes por Bornemisza (1971), especialmente cuando el pH inicial de la solución fue 6,7.

El elemento S mostró cantidades solubles por arriba de las 10 ppm con 4 h de agitación y

valores cercanos a 30 ppm luego de ser agitadas las muestras por 24 h, lo anterior con los 3 pH iniciales de la solución. Estos resultados indican que la cantidad de S soluble en agua en las cenizas frescas del Volcán Turrialba son superiores a las cenizas de los volcanes Irazú y Arenal, las encontradas por Bornemisza (1971), las cuales presentaron valores de alrededor de 6 ppm de S para el caso del Irazú y de 8 a 11 ppm para el Arenal, luego de 18 h de agitación.

Además, en el análisis de solubilidad efectuado en el presente estudio sobre la muestra de ceniza del Volcán Turrialba, se observó un efecto “buffer” por parte de la ceniza al disolverse, ya que sin importar el pH inicial que tuviera el agua se dio una tendencia a elevar o mantener el pH

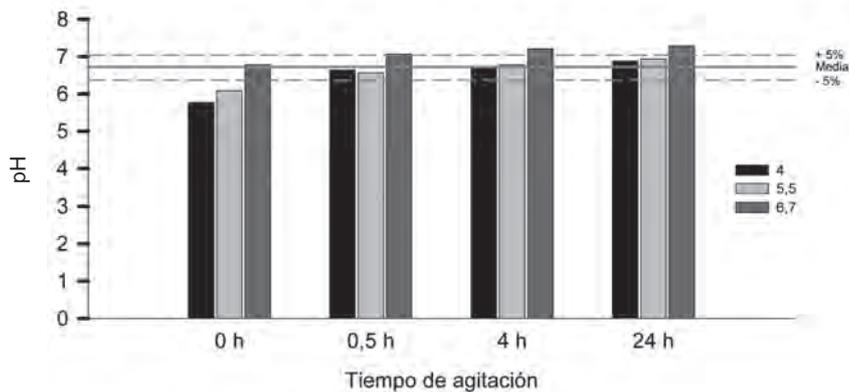


Fig. 2. pH final de la solución con ceniza a 4 tiempos de agitación (0; 0,5; 4 y 24 h) y 3 pH iniciales del agua. La línea continua indica la media de pH obtenido.

Líneas punteadas indican porcentaje de error admitido en mediciones de pH, 5%.

de la solución a valores cercanos a la neutralidad, con una media general de 6,7 (Figura 2).

Los promedios de los valores de pH de las soluciones finales, indistintamente del pH inicial del agua, luego de algún tiempo de agitación coinciden con los valores reportados por el OVSICORI (2010), los cuales fueron de 6,7 para disoluciones acuosas extraídas de las cenizas recolectadas en la comunidad de La Central y de 7,1 para cenizas provenientes de La Pastora.

Al respecto Besoán (1972) señala que en condiciones naturales, inmediatamente después de la deposición de las cenizas el pH en el medio tiende a ser ácido por efecto de los componentes sulfurados que acarrea el material; sin embargo, con las primeras precipitaciones que se den en el sitio dicha acidez disminuye considerablemente, pues dejan en la solución los componentes básicos, razón por la cual se da un aumento en el pH del medio.

En el estudio realizado por Bornemisza y Morales (1969) con cenizas recién expulsadas por el Volcán Irazú se menciona que los pH en agua de estas muestras presentaron valores de 5,1, razón por la cual estos autores sugieren que la acidez de estos materiales no sería la responsable directa de los daños causados a los cultivos.

De esta forma, cualquier repercusión negativa relacionada con algún tipo de quema en los tejidos vegetales de las plantaciones que se encuentren en el área de influencia del Volcán Turrialba se podría asociar a otros factores relacionados con la actividad volcánica como lo son la lluvia ácida y la emisión de ciertos gases, y no a la deposición de cenizas directamente.

Valores de pH de lluvias ácidas de hasta 3,02 han sido reportados por el OVSICORI (2010) en las aguas de lluvia de comunidades aledañas al Volcán mediante monitoreos constantes en la zona realizados desde el 2007. Con estos valores de pH por debajo de 4 la probabilidad de que se produzcan daños a nivel foliar incrementan considerablemente. Un ejemplo de ello es lo documentado por Lee et al. (1981), quienes encontraron lesiones foliares considerables en 31 de 35 cultivos sometidos a simulaciones de lluvia ácida con valores de pH de 3.

CONCLUSIONES

A pesar de los altos contenidos totales de Fe en la composición de las cenizas volcánicas estudiadas, su disponibilidad en la solución Olsen

Modificada fue la más baja de todos los elementos analizados (0,2% con respecto al total).

Ninguno de los elementos en estudio superó el 16% de disponibilidad en la solución extractora, por lo cual se podría esperar que no tengan influencia significativa, ni tóxica ni beneficiosa, en el estado nutricional de los suelos a corto plazo.

A mediano plazo, una vez que se dé el proceso de mineralización de los materiales depositados, los efectos en la parte de fertilidad de los suelos se pueden hacer más evidentes.

La solubilidad en agua de los elementos Ca, Mg, S y Na aumentó significativamente al aumentar el tiempo de agitación sin importar el pH inicial de la solución. En las muestras analizadas los contenidos de Ca y S solubles en agua fueron mayores en las cenizas frescas provenientes del Volcán Turrialba en comparación con las del Volcán Irazú y el Volcán Arenal reportadas por otros autores.

La ceniza analizada se puede catalogar de reacción neutra, ya que indistintamente del pH inicial de la solución y tiempo de agitación, alcanza valores en solución cercanos a 6,7, por lo que no se esperaría que tuviera un efecto directo en la quema de los tejidos vegetales.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO A. 1976. Efectos favorables de actividades volcánicas en suelos. *Revista Geofísica* 5:45-48.
- ALVARADO A., BERTSCH F., BORNEMISZA E., CABALCETA G., FORSYTHE W., HENRIQUEZ C., MATA R., MOLINA E., SALAS R. 2001. Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. ACCS. San José, Costa Rica. 111 p.
- BESOÁIN E. 1972. Mineralogía de arcillas de algunos suelos volcánicos de Costa Rica, pp. 249-278. In: M. Blasco y R. Guerrero (eds). 2º Panel sobre suelos volcánicos de América. IICA.
- BORNEMISZA E. 1971. Extraction of anions and cations from recent volcanic ash. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.* 35(3):506-507.
- BORNEMISZA E., MORALES J.C. 1969. Soil chemical characteristics of recent volcanic ash. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.* 33:528-530.
- CASTILLO R. 1984. Geología de Costa Rica: una sinopsis. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 182 p.
- CHAVERRI D., ALVARADO A. 1979. Cambios químicos de importancia agrícola sufridos por las cenizas del Volcán Irazú en 15 años. *Agronomía Costarricense* 3(2):181-182.
- DAHLGREN R., UGOLINI F., CASEY W. 1999. Field wathering rates of Mt. St. Helens tephra. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63:587-598.
- DÍAZ-ROMEY R., HUNTER A. 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. CATIE. Turrialba, Costa Rica, 62 p.
- HENRÍQUEZ C., CABALCETA G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. ACCS. San José, Costa Rica. 111 p.
- ISAAC R., JOHNSON W. 1997. Elemental determination by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, pp. 165-170. In: Y. Kalra (ed). *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press.
- LEE J., NEELY G., PERRIGAN S., GROTHAUS L. 1981. Effect of simulated sulfuric acid rain on yield, growth and foliar injury of several crops. *Environmental and Experimental Botany* 21(2):171-185.
- NANZYO M. 2002. Unique properties of volcanic ash soils. *Global Environmental Research* 6:99-112.
- REAGAN M., DUARTE E., SOTO G.J., FERNÁNDEZ E. 2006. The eruptive history of Turrialba volcano, Costa Rica, and potential hazards from future eruptions, pp. 235-257. In: W.I. Rose, G.J.S. Bluth, M.J. Carr, J.W. Ewert, L.C. Patino, y J.W. Vallance (eds). *Volcanic hazards in Central America: Geological Society of America Special Paper 412*. Geological Society of America.
- SOLEY A. 1966. Efecto de la ceniza volcánica sobre suelos y subsuelos ácidos. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 76 p.
- UGOLINI F., DAHLGREN R. 2002. Soil development in volcanic ash. *Global Environmental Research* 6:69-81.

Nota técnica

INFLUENCIA DE LA VARIEDAD Y ALTURA DE COSECHA SOBRE EL RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO DE MAÍZ PARA ENSILAJE¹

Jorge Alberto Elizondo-Salazar*

Palabras clave: Altura de corte, ensilaje de maíz, calidad nutricional, forraje, Zea mays.

Keywords: Cutting height, corn silage, nutritional quality, forage, Zea mays.

Recibido: 12/05/11

Aceptado: 04/10/11

RESUMEN

Se evaluó el rendimiento y calidad de 2 cultivares de maíz, de la misma edad, ambos cosechados a 2 diferentes alturas de corte, en la Estación Experimental “Alfredo Volio Mata”, Universidad de Costa Rica. Se empleó maíz criollo forrajero y maíz híbrido. Ambos cultivares se cosecharon a los 107 días. Se empleó un diseño irrestrictamente al azar, con tratamientos en arreglo factorial 2x2. El primer factor, 2 cultivares de maíz y el segundo 2 alturas de corte (15 y 45 cm sobre el nivel del suelo). Con el maíz criollo cosechado a 15 cm de altura se obtuvo rendimientos de 131,9 ton de forraje verde y 15,2 ton.ha⁻¹ de biomasa seca, mientras que cuando se cosechó a 45 cm de altura los rendimientos fueron de 88,1 y 10,4 ton.ha⁻¹, respectivamente. Con respecto al maíz híbrido, cuando se cosechó a 15 cm de altura los rendimientos fueron de 82,6 ton de forraje verde y 11,0 ton.ha⁻¹ de biomasa seca, mientras que cuando se cosechó a 45 cm de altura los rendimientos fueron de 76,2 y 10,4 ton.ha⁻¹, respectivamente. La relación hoja-tallo, tanto en forraje verde como en seco y sin importar la altura de corte, fue siempre mayor para el cultivar híbrido.

ABSTRACT

Influence of variety and cutting height on yield and nutritive value of corn for silage. In order to determine the yield and quality of 2 maize cultivars, evaluated at the same age and harvested at 2 different cutting heights, an experiment was conducted at the “Alfredo Volio Mata” Experiment Station of the University of Costa Rica. A native and a hybrid cultivar were used, both harvested at 107 days of age. An unrestricted random design was used, with treatments in a 2x2 factorial arrangement; the first factor, 2 cultivars and the second, 2 cutting heights (15 and 45 cm above ground level). With native corn harvested at 15 cm of height, 131.9 ton of green fodder and 15.2 ton.ha⁻¹ of dry biomass were obtained, while when harvested at 45 cm of height yields were 88.1 and 10.4 ton.ha⁻¹, respectively. With respect to hybrid corn harvested at 15 cm of height, 82.6 ton of green fodder and 11.0 ton.ha⁻¹ of dry biomass were obtained, while when harvested at 45 cm of height yields were 76.2 and 10.4 ton.ha⁻¹, respectively. Leaf: stem ratio in both green and dry biomass, regardless of cutting height, was always greater for the hybrid cultivar.

1 Inscrito en Vicerrectoría de Investigación N°. 737-A9-247.

* Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Facultad de Ciencias Agroalimentarias,

Universidad de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr

No se encontraron diferencias significativas en la concentración de materia seca de la planta entera, que osciló entre 11,64 y 13,68% para ambos cultivares y ambas alturas de corte. El contenido de PC y FDN no mostró variación al considerar las hojas o tallos de los cultivares a las diferentes alturas, ni al considerar la planta entera. Estos resultados sugieren que incrementar la altura de corte, de 15 a 45 cm sobre el nivel del suelo, no incrementa significativamente la calidad nutricional del forraje de maíz para ensilaje.

No significant differences were found in dry matter concentration for the whole plant, which ranged from 11.64 to 13.68% considering both cultivars and both cutting heights. CP and NDF concentration did not differ, whether considering leaves or stems of cultivars at different cutting heights, nor when considering the whole plant. These results suggest that increasing the cutting height, from 15 to 45 cm above ground, does not significantly improve nutritional quality of maize forage for silage.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche y de carne se basan en la utilización de pasturas, no obstante para aumentar la cantidad y calidad de biomasa comestible, se utilizan fuentes forrajeras que puedan desarrollarse favorablemente bajo ciertas condiciones ambientales (Elizondo y Boschini 2002). Así por ejemplo, el maíz es una de esas fuentes forrajeras que por sus buenas condiciones agronómicas, fermentativas, alta concentración de nutrientes y excelente palatabilidad es muy utilizado para la alimentación del ganado de leche en Costa Rica y en muchas otras áreas del mundo. Sin embargo, por lo general se le ha dado mucho énfasis a la producción total de materia seca y este componente, por sí solo, es un pobre indicador del valor nutricional (Neylon y Kung 2003).

En la última década se ha desarrollado un interés particular en cortar las plantas de maíz a una altura mayor con el fin de mejorar la calidad del forraje a ensilar. Se ha observado por ejemplo, que cortar las plantas a una altura superior de los 15 cm, puede incrementar la calidad del material a ensilar, ya que la parte más baja del tallo se considera de menor digestibilidad (Tolera y Sundstol 1999).

Wu y Roth (2005) analizaron los datos de 11 experimentos en los que la planta de maíz

para ensilaje fue cosechada a una altura baja o alta. Los autores reportaron que cortar a una altura alta, cerca de 50 cm de tallo en el campo incrementó el contenido de proteína cruda (PC), la energía neta de lactancia (EN_L) la digestión de la fibra detergente neutro (FDN) y la cantidad de leche producida por tonelada de ensilaje ofrecido cuando se comparó con una altura de corte considerada normal esto es, cerca de 15 cm.

En Costa Rica y México, diversos estudios han evaluado el rendimiento y calidad de diferentes cultivares de maíz para ser utilizados en la alimentación animal (Elizondo y Boschini 2001, Fuentes et al. 2001, Elizondo y Boschini 2002, Elizondo y Boschini 2003, Boschini y Elizondo 2004a), pero ningún ensayo ha evaluado el efecto de aumentar la altura de corte sobre la producción y calidad nutricional. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue el determinar el rendimiento y calidad de 2 cultivares de maíz evaluados a la misma edad y cosechados a 2 diferentes alturas de corte.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo durante el segundo semestre del 2009 durante la época lluviosa, en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica, ubicada en el Alto de Ochoмого en la Provincia

de Cartago. Su altitud es de 1542 msnm, con una precipitación media anual de 2050 mm distribuida de mayo a noviembre y una humedad relativa media de 84%. La temperatura media anual es de 19,3°C, que ha alcanzado como máximo 23°C y como mínimo 13°C. El suelo se clasifica como Tipic Dystrandepsts (Vásquez 1982), formados por cenizas volcánicas recientes, con una textura franco arcillo arenoso, un pH de 5,8 y un contenido de materia orgánica de 6,24%, con excelentes condiciones físicas y buenas características químicas, con vocación agrícola limitada por la topografía.

Para las labores de siembra, se araron y rastrearon 2 hectáreas de un terreno pues presentaba una pendiente del 10%, en el cual se establecería el cultivo. En una hectárea se sembró maíz criollo amarillo forrajero adaptado a la zona de Cartago y en la otra hectárea se sembró maíz híbrido blanco, Pioneer 3041. Previo a la siembra, el terreno se surcó a 70 cm; se aplicó fertilizante 10-30-10 NPK a razón de 350 kg.ha⁻¹ y se procedió a sembrar la semilla de forma manual distribuida a 40 cm entre plantas; se depositaron 3 semillas por golpe, para una densidad teórica de 107 142 plantas.ha⁻¹. Dos días posteriores a la siembra, se aplicaron 2 kg del herbicida preemergente Atrazina 900 g/kg disuelto en 200 l de agua y asperjado con bomba de espalda, para controlar el ciclo vegetativo de las malezas. Un mes y medio después de la siembra, se aplicó 250 kg.ha⁻¹ de N como nitrato de amonio.

Ambas variedades se cosecharon a los 107 días. En cada ha, se cortaron de forma manual todas las plantas presentes en 6 segmentos de 5 m lineales cada uno, seleccionados de forma aleatoria dentro del área cultivada. En promedio, cada segmento estaba constituido por 24 plantas. Tres de las muestras se cortaron a 15 cm y las otras 3 se cosecharon a 45 cm sobre el nivel del suelo. Posteriormente, se pesó el material cosechado para estimar la producción de materia verde total. Luego las muestras se separaron en tallos, hojas y mazorcas para pesar cada componente. Seguidamente se cuarteó el material, se tomó una muestra representativa de cada componente y se

secó a 60°C durante 48 h hasta alcanzar un peso constante. Finalmente las muestras se molieron a 1 mm y se determinó el contenido de materia seca en una estufa a 105°C, la proteína cruda por el método de Kjeldahl y las cenizas totales (AOAC 2000). La fibra neutro detergente y la fibra ácido detergente fueron analizadas por el método de Goering y Van Soest (1970).

Se empleó un diseño irrestrictamente al azar, con tratamientos en arreglo factorial 2x2, el primer factor: 2 variedades de maíz y el segundo: 2 alturas de corte. Los datos obtenidos se analizaron con el paquete estadístico SAS (SAS 2009). Se efectuó la separación de medias con la prueba de Waller-Duncan, en aquellas variables que resultaron significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento por área y relación hoja-tallo

La producción de materia verde y seca (kg.ha⁻¹) de la planta entera y de sus diferentes secciones y la relación hoja-tallo tanto en verde como seca se presenta en el Cuadro 1. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) cuando se consideró la variedad y la altura de corte. Con el maíz criollo cosechado a 15 cm de altura se obtuvieron los mayores rendimientos con 131,9 ton de forraje verde y 15,2 ton.ha⁻¹ de biomasa seca. La relación hoja-tallo fue mayor para la variedad híbrida.

Materiales genéticos criollos de la parte alta de Cartago en Costa Rica cosechados a 10 cm sobre el nivel del suelo, han dado rendimientos de 88,0 y 11,2 t.ha⁻¹ de materia verde y seca, respectivamente a 107 días de crecimiento con relaciones hoja-tallo en seco de 0,53 (Amador y Boschini 2000). En similares condiciones, el criollo blanco registró rendimientos de 15 a 20 t.ha⁻¹ de materia seca (a 147 días de cosecha) y el híbrido 3002 W de 7,0 a 9,2 t.ha⁻¹ (a 119 días de cosecha), con relaciones hoja-tallo de 0,62 y 0,34 respectivamente (Boschini y Elizondo 2004b).

Cuadro 1. Rendimiento y relación hoja: tallo de 2 variedades de maíz cosechadas a diferente altura de corte. Cartago, Costa Rica, 2009.

	Maíz híbrido		Maíz criollo	
	15 cm	45 cm	15 cm	45 cm
Forraje verde, kg.ha⁻¹				
Hoja	18 333 ^b	16 667 ^b	30 476 ^a	21 905 ^b
Tallo	34 762 ^c	28 571 ^c	84 762 ^a	64 286 ^b
Mazorca	29 524 ^a	30 952 ^a	16 667 ^b	1905 ^c
Planta entera	82 619 ^b	76 190 ^b	131 905 ^a	88 096 ^b
Relación Hoja:Tallo	0,56 ^a	0,59 ^a	0,36 ^b	0,34 ^b
Forraje seco, kg.ha⁻¹				
Hoja	3345 ^b	3142 ^b	5176 ^a	3306 ^b
Tallo	4492 ^c	4000 ^c	8623 ^a	6883 ^b
Mazorca	3142 ^a	3281 ^a	1481 ^b	196 ^c
Planta entera	10 979 ^b	10 423 ^b	15 280 ^a	10 385 ^b
Relación Hoja:Tallo	0,80 ^a	0,78 ^a	0,60 ^b	0,48 ^c

^{abc} Representan diferencias significativas en una misma fila ($p < 0,05$).

Estudios realizados en los Estados Unidos han reportado disminuciones numéricas no significativas en los rendimientos de biomasa al incrementar la altura de corte (Neylon y Kung 2003). En general estas disminuciones oscilan entre un 5 y 10%. En el presente ensayo, no se observó una diferencia significativa ($p > 0,05$) en los rendimientos de forraje verde y seco para la variedad híbrida cuando se incrementó la altura de corte, pero si se pudo observar una disminución de alrededor de un 33% en la variedad criolla. Cuando se considera la variedad, hay que destacar el aporte que hace el rendimiento de la mazorca en el maíz híbrido, ya que prácticamente la mazorca aporta 32 ton cuando el maíz se cosechó indistintamente a 15 ó 45 cm sobre el nivel del suelo, mientras que en la variedad criolla cortada a 15 cm aporta alrededor de 16,6 ton, valor muy similar al reportado por Boschini y Elizondo (2004) cuando cosecharon maíz híbrido a 98 días. Es importante indicar que la variedad criolla es de porte muy alto, el cual varía entre los 3 y 4 m y posee un tallo de gran grosor (Amador y Boschini 2000), mientras que

las variedades híbridas son de porte bajo y la relación hoja-tallo es siempre más alta con respecto a la variedad criolla, por ello la reducción tan significativa en el rendimiento de la variedad criolla.

Producción y composición química

La concentración de materia seca, proteína cruda, FDN, FAD y cenizas determinadas en la hoja, tallo y mazorca de la planta de maíz, se presentan en el Cuadro 2. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la concentración de materia seca en hojas y tallos al comparar ambos cultivares. El cultivar híbrido presentó las mayores concentraciones. Sin embargo, no se encontraron diferencias en ninguno de los 2 cultivares cuando se incrementó la altura de cosecha. Los valores obtenidos en el presente ensayo para esta variable son muy similares a los obtenidos en otras investigaciones (Elizondo y Boschini 2001, Elizondo y Boschini 2003, Boschini y Elizondo 2004a) y se observa que la concentración de

Cuadro 2. Composición química de 2 variedades de maíz cosechadas a diferentes alturas de corte. Cartago, Costa Rica. 2009.

	Maíz híbrido		Maíz criollo	
	15 cm	45 cm	15 cm	45 cm
Materia seca, %				
Hoja	18,38 ^a	18,89 ^a	17,09 ^a	14,84 ^b
Tallo	12,91 ^a	14,11 ^a	10,12 ^b	10,71 ^b
Mazorca	10,64	10,60	9,47	10,14
Planta entera	13,30	13,68	11,64	11,75
Proteína cruda, %				
Hoja	17,32	17,30	17,81	17,48
Tallo	7,30	7,14	7,79	8,04
Mazorca	11,91 ^c	12,89 ^c	16,88 ^a	15,21 ^b
Planta entera	11,80	12,06	12,10	11,10
FDN, %				
Hoja	68,87	66,89	66,98	66,42
Tallo	77,56	77,26	77,13	78,02
Mazorca	70,29 ^b	66,37 ^b	57,45 ^a	56,80 ^a
Planta entera	72,67	70,64	71,64	73,98
FAD, %				
Hoja	35,79	34,23	34,78	34,23
Tallo	50,08 ^a	47,99 ^a	52,60 ^b	52,55 ^b
Mazorca	33,82 ^b	31,49 ^b	27,98 ^a	25,71 ^a
Planta entera	40,80 ^a	38,57 ^a	44,29 ^b	46,22 ^b
Cenizas, %				
Hoja	13,48	13,10	13,65	13,14
Tallo	8,91 ^b	7,95 ^a	11,10 ^c	10,49 ^c
Mazorca	5,61 ^a	5,66 ^a	8,71 ^b	8,12 ^b
Planta entera	9,38 ^b	8,76 ^b	11,79 ^a	11,28 ^a

^{abc} Representan diferencias significativas en una misma fila ($p < 0,05$).

materia seca en la hoja es mayor que la del tallo, sin importar la variedad o la altura de corte.

El contenido de PC y FDN no mostró variación al considerar las hojas o tallos de los diferentes cultivares pero sí al considerar la mazorca. La mazorca del maíz híbrido presenta una menor concentración de PC y mayor concentración de FDN al compararse con la

variedad criolla. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas cuando se consideró el incremento en la altura de corte. El contenido de PC fue siempre superior en hoja que en tallo, mientras que la concentración de FDN fue siempre superior en tallo. Al considerar el promedio de la producción de materia seca por área y el promedio de la concentración de PC para las

variables estudiadas, se estima que el cultivo de maíz extrajo 221 kg.ha⁻¹ de nitrógeno.

Al considerar la FAD y las cenizas, se puede observar que igualmente se obtuvieron diferencias significativas entre cultivares, pero prácticamente no se determinaron diferencias cuando se evaluó la altura de corte.

Encontrar diferencias significativas entre cultivares con respecto a la calidad nutricional, es consistente con trabajos llevados a cabo en Costa Rica (Elizondo y Boschini 2001, Elizondo y Boschini 2002, Elizondo y Boschini 2003, Boschini y Elizondo 2004b). Sin embargo, incrementar la altura de corte como un método para mejorar la calidad nutricional del forraje cosechado, es algo que no se había hecho en nuestro país. Con el presente ensayo se hipotizaba que al incrementar la altura de corte mejoraría la calidad del forraje cosechado, ya que se esperaba un incremento en la concentración de MS, PC y cenizas, y una disminución significativa en la concentración de FDN y FAD debido a que deja en el campo una porción del tallo que es fibroso y altamente lignificado (Tolera y Sundstol 1999, Amador y Boschini 2000, Elizondo y Boschini 2001, Elizondo y Boschini 2002, Elizondo y Boschini 2003, Boschini y Elizondo 2004b). No obstante, los cambios positivos no fueron significativos ($p > 0,05$).

En un ensayo llevado a cabo en los Estados Unidos, donde se estudió la composición nutricional de 3 híbridos cosechados a 12,7 ó 45,7 cm sobre el nivel del suelo, se encontró que incrementar la altura de corte aumentó significativamente la concentración de materia seca, pero disminuyó la concentración de proteína cruda y FAD, y no afectó la concentración de FDN ($p > 0,05$) (Neylon y Kung 2003). Los autores también encontraron un incremento moderado en la concentración de almidones y en la digestibilidad *in vitro* de la FDN. Por su parte, Bernard et al. (2004) comparó alturas de cosecha de 10 y 30 cm sobre el nivel del suelo y encontró que cosechar las plantas a una altura mayor disminuyó la concentración de FAD ($p < 0,01$) pero no encontraron diferencias en la

concentración de FDN o en la digestibilidad verdadera *in vitro* de la materia seca. En otro estudio Kung et al. (2008) utilizó alturas de corte de 10 y 50 cm, no encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos, pero señalan incrementos numéricos en la concentración de MS y PC y disminuciones en la FDN y FAD, tal como se obtuvo en la variedad híbrida en el presente ensayo.

En general, la respuesta sobre las variables estudiadas puede estar influenciada por muchos otros factores, además de la altura de corte. Por ejemplo, es bien conocido que las condiciones climáticas y la cantidad de humedad afecta considerablemente el contenido de materia seca y los componentes celulares de los forrajes. De la misma manera, la fertilidad del suelo y la aplicación de minerales afectan la producción de biomasa y su contenido nutricional. Igualmente, algunas variedades pueden contener más azúcares en el tallo o puede que la digestibilidad del tallo sea alta y la respuesta en la calidad debido a la altura de corte puede ser muy poca o nula.

Es importante indicar que diversos estudios han encontrado una tendencia a mayor producción láctea en ganado lechero cuando se alimentan con forraje cosechado a mayor altura, en comparación cuando se cosecha a una altura menor (Neylon y Kung 2003, Kung et al. 2008). No obstante, otros estudios no han observado ningún incremento en la producción de leche cuando los animales se alimentaron con forraje cosechado a una mayor altura de la normal (Domínguez et al. 2002, Domínguez y Satter 2003).

A pesar de toda la información obtenida, y los análisis de laboratorio realizados, es muy importante, darle seguimiento al desempeño de los animales para determinar la validez de cosechar las plantas de maíz a una altura superior de lo establecido como normal. Otro aspecto a considerar es que cosechar a una altura mayor, deja más residuo en el campo, lo que podría mejorar la protección contra la erosión del suelo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio utilizó 2 variedades de maíz, donde las plantas se cosecharon a una misma edad y a diferentes alturas de corte. Se pudo determinar que el rendimiento del maíz criollo es superior al de maíz híbrido. La concentración de MS fue mayor en las hojas que en los tallos en los cultivares estudiados sin importar la altura de corte. No se encontraron diferencias significativas importantes entre cultivares o alturas de corte para los contenidos de PC y FDN, caso contrario sucedió con la FAD y las cenizas. Incrementar la altura de corte de 15 a 45 cm sobre el nivel del suelo, bajo las condiciones experimentales en las que se llevó a cabo el presente ensayo, no incrementó significativamente la calidad nutricional del forraje de maíz para ensilaje. Es recomendable llevar a cabo próximos ensayos con animales, para poder determinar si existen diferencias a nivel de desempeño de los animales cuando se alimenta forraje de maíz cosechado a una altura superior a la considerada como normal.

LITERATURA CITADA

- AMADOR A.L., BOSCHINI C. 2000. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana* 11(1):171-177.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th edition. Association of Official Analytical Chemistry. Washington, DC. Chapter 4:1-56.
- BERNARD J.K., WEST J.W., TRAMMELL D.S., CROSS G.H. 2004. Influence of corn variety and cutting height on nutritive value of silage fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87(7):2172-2176.
- BOSCHINI C., ELIZONDO J.A. 2004a. Desarrollo productivo y cualitativo de maíz híbrido para ensilaje. *Agronomía Mesoamericana* 15(1):31-37.
- BOSCHINI C., ELIZONDO J.A. 2004b. Rendimiento de forraje de dos materiales genéticos de maíz (*Zea mays* L.) sembrados a diferentes distancias de siembra. *Revista Agronomía Tropical* 34:87-92.
- DOMÍNGUEZ D., MOREIRA V., SATTER L. 2002. Effect of feeding brown mibrib-3 corn silage or conventional corn silage cut at either 23 or 71 cm on milk yield and composition. *J. Dairy Sci. (Suppl. 1)* 85:384 (Abstr.).
- DOMÍNGUEZ D., SATTER L. 2003. Feeding brown mibrib-3 corn silage or conventional corn silage cut at either 20 or 66 cm of height to early lactation cows. *J. Dairy Sci. (Suppl. 1)* 86:231 (Abstr.).
- ELIZONDO J.A., BOSCHINI C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):181-187.
- ELIZONDO J.A., BOSCHINI C. 2002. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana* 13(1):13-17.
- ELIZONDO J.A., BOSCHINI C. 2003. Valoración nutricional de dos variedades de maíz usadas en la producción de forraje para bovinos. *Pastos y Forrajes* 26(4):347-353.
- FUENTES J., CRUZ A., CASTRO L., GLORIA G., RODRÍGUEZ,S., ORTÍZ DE LA ROSA B. 2001. Evaluación de variedades e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para ensilado. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):193-197.
- GOERING H., VAN SOEST P. 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, Reagents, procedures and some Applications). *Agricultural Handbook No. ARS-USDA, Washington, DC.* 76 p.
- KUNG L., MOULDER B.M., MULROONEY C.M., TELLER R.S., SCHMIDT R.J. 2008. The effect of silage cutting height on the nutritive value of a normal corn silage hybrid compared with brown midrib corn silage fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 91(4):1451-1457.
- NEYLON J.M., KUNG L. 2003. Effects of cutting height and maturity on the nutritive value of corn silage for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 86(6):2163-2169.
- SAS. 2009. SAS/STAT Software. Release 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- TOLERA A., SUNDSTOL F. 1999. Morphological fractions of maize stover harvested at different stages of grain maturity and nutritive value of different fractions of stover. *Anim. Feed Sci. Tech.* 81:1-16.
- VÁSQUEZ A. 1982. Estudio detallado de los suelos de la Estación Experimental de Ganado Lechero El Alto. Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 36 p.
- WU Z., ROTH G. 2005. Considerations in managing cutting height of corn silage. Extension publication DAS 03-72. The Pennsylvania State University, University Park. 7 p.

INFORMACIÓN PARA LOS COLABORADORES

Los trabajos publicados en la Revista Agronomía Costarricense son el producto de una selección rigurosa, la cual incluye al Consejo Editorial en primera instancia y el arbitraje realizado por especialistas nacionales e internacionales.

NORMAS DE PRESENTACIÓN

- Los artículos pueden ser escritos en español, en inglés o en portugués. Deben ajustarse a las normas de estructura y redacción establecidas. Es muy recomendable que los artículos en inglés sean leídos por alguien cuya lengua materna sea el inglés o con un alto dominio del idioma.
- Los trabajos de investigación no deben ser mayores de 20 páginas y las notas técnicas de 6 páginas.
- El trabajo debe venir escrito en computadora, preferiblemente, en una versión actualizada de Word para Windows.
- El trabajo debe venir a doble espacio en su totalidad.
- Seguir las normas del Sistema Internacional de Unidades.
- Debe entregar: 1 original y 1 copia impresa, el trabajo en CD o por correo electrónico.
- Los cuadros deben venir en Word y las figuras (gráficos en diferentes tonos de gris) en Excel. Tanto los cuadros como las figuras se deben presentar en páginas independientes impresas en buena calidad. Otras figuras y fotografías se deben presentar en eps, jpg o tiff con un mínimo de 240-300 dpi.
- El material recibido no será devuelto a los autores. Se asume que el artículo cuenta con la autorización de la institución donde se realizó la investigación para ser publicado, y la responsabilidad del contenido recae sobre los autores.
- Los trabajos pueden ser enviados o entregarse personalmente, nuestra dirección es:

REVISTA AGRONOMÍA COSTARRICENSE

Centro de Investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica.
Teléfono 2511 3057, fax 2234 1627, correo electrónico: rac.cia@ucr.ac.cr

PARTES DEL ARTÍCULO

Título. Debe ser claro y conciso. Se escribe todo en mayúsculas. Los nombres científicos se incluyen solo cuando la planta no sea muy conocida.

Autor. Poner el nombre completo, sea este simple o compuesto, solo se debe poner un apellido. Poner al pie de página, mediante asteriscos, la dirección al momento de realizar la investigación, y si hay cambio, la dirección actual y el correo electrónico.

Resumen. Este es un solo párrafo donde se debe señalar, en un máximo de 300 palabras, el objetivo del trabajo, el procedimiento seguido, los principales resultados y conclusiones. Tratar de incluir cifras.

Abstract. Debe ser exacto al resumen en español y debe incluir el título en inglés.

Palabras clave. Incluir de 5-7 palabras clave, las cuales en una búsqueda, le permitan al usuario localizar el artículo.

Introducción. Debe incluir la justificación del trabajo, los antecedentes más relevantes hasta ese momento sobre el tema y el objetivo concreto del artículo. Las referencias bibliográficas deben incluirse con apellido y fecha y sin coma (Blanco 2003), si son más de 2 autores se usa el latín et al. (Blanco et al. 2003).

Materiales y métodos. Esta sección debe ser lo suficientemente clara para que el trabajo pueda ser repetido.

Resultados y discusión (pueden venir juntos o separados). No presentar la misma información en cuadros y figuras.

Agradecimientos. En esta sección sólo se incluye aquellas personas que hicieron un aporte muy significativo al trabajo.

Literatura citada. Esta se presenta en orden alfabético. Solo se incluye las citas completas de aquellos autores que fueron mencionados en el texto. Algunos ejemplos de las citas más comunes se presentan a continuación:

Revista

GARITA H., GÓMEZ L. 2000. Micropropagación de la variedad de piña Champaca F-153. *Agro- nomía Costarricense* 24(1): 63-73.

Libro

CUBERO J.I. 2003. *Introducción a la mejora genética*. Mundi-Prensa, México. 567 p.

Capítulo de un libro

VARGAS E. 1980. La roya, pp. 19-31. In: H.F. Schwartz y G.E. Gálvez (eds). *Problemas de produc- ción del frijol*. CIAT.

Tesis

BLANCO M. 2003. *Identificación y mapeo de AFLPs ligados al gen de resistencia a PVX en *Sola- num commersonii**. Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 90 p.

Referencias en Internet

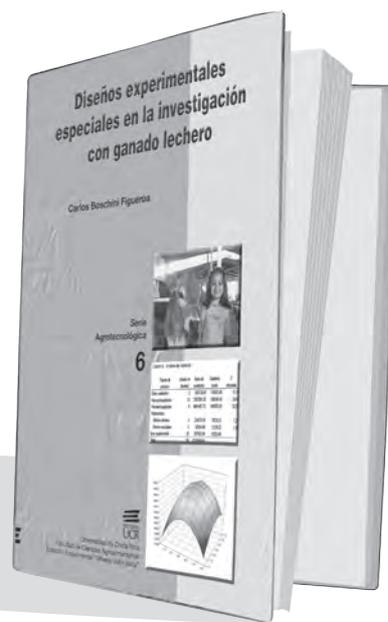
El formato incluye el autor, el año de creación de la página o en su defecto el año en que fue consultada. El título del trabajo. La institución, la ciudad, el estado o provincia, el país. Fecha en que la página fue consultada, dirección electrónica.

EDITORIAL UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Diseños experimentales especiales en la investigación con ganado lechero

Serie Agrotecnológica

Carlos Boschini Figueroa



1.a ed. 2008
17,78 cm x 25,4 cm
118 pp.
ISBN 978-9968-46-019-4

Esta obra acumula la experiencia en diseños experimentales aplicados en el campo de la producción animal, con énfasis en la ganadería de leche. Tiene el objetivo de explicar el planteamiento de un grupo selecto de diseños experimentales con características particulares y ofrece a la vez una guía del análisis matemático propio en cada uno de ellos.

**EDITORIAL
UCR**
fundada en 1942

www.editorial.ucr.ac.cr
Tels.: 2511 5853 • 2511 5957

LIBRERÍA — UCR
Tels.: 2511 5858 • 2511 5859

Portal DE LA Investigación

Ciencia universitaria a su alcance

∴ Información

- Noticias de ciencia y tecnología
- Proyectos de investigación
- Agenda de investigación
- Nuevas publicaciones

∴ Opinión

- Vox populi
- Opinión
- Foro

∴ Plataforma de medios

- Programa En la Academia
- Serie televisiva Girasol
- Revista Girasol digital
- Cápsula Girasol



Estimados suscriptores:

Las revistas académicas de la Universidad de Costa Rica difunden los más recientes avances en artes, filosofía, ciencias y tecnología. Nuestras revistas se caracterizan por su alta calidad y precios accesibles. Mejorar continuamente es nuestra tarea. Para nosotros es muy importante el apoyo de nuestros lectores.

Le invitamos a renovar su suscripción.

El pago se puede realizar mediante depósito bancario o transferencia electrónica de fondos en la Cuenta Maestra 100-01-080-000980-6 de la Universidad de Costa Rica (UCR) con el Banco Nacional y enviarnos copia del comprobante por fax al N° (506) 2511-5257 ó (506) 2511-5417. También puede cancelar en nuestra oficina frente a la Facultad de Bellas Artes (UCR San Pedro de Montes de Oca) o en la oficina de la revista.

Si lo prefiere, puede enviarnos por correo la boleta recortable, junto al pago por el monto de la suscripción.

SUSCRIPCIÓN DE REVISTAS • JOURNAL SUBSCRIPTION FORM

Nombre / Name: _____

Dirección / Address: _____

Apartado / P.O. Box: _____ Teléfono / Telephone: _____ E-mail: _____

Suscripción anual / Annual subscription		Suscripción anual / Annual subscription		Suscripción anual / Annual subscription	
<input type="checkbox"/> ACTUALIDADES EN PSICOLOGÍA	¢ 2 000,00	<input type="checkbox"/> CIENCIA Y TECNOLOGÍA	¢ 4 000,00	<input type="checkbox"/> GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL	¢ 4 000,00
<input type="checkbox"/> AGRONOMÍA COSTARRICENSE	¢ 4 000,00	<input type="checkbox"/> EDUCACIÓN	¢ 4 000,00	<input type="checkbox"/> HISTORIA	¢ 4 000,00
<input type="checkbox"/> ANUARIO DE ESTUDIOS CENTROAMERICANOS	¢ 2 000,00	<input type="checkbox"/> ESTUDIOS DE LINGÜÍSTICA CHIBCHA	¢ 1 500,00	<input type="checkbox"/> INGENIERÍA	¢ 4 000,00
<input type="checkbox"/> BIOLOGÍA TROPICAL	¢ 6 000,00	<input type="checkbox"/> ESTUDIOS (EST. GENERALES)	¢ 2 000,00	<input type="checkbox"/> KÁÑINA DE ARTES Y LETRAS	¢ 4 000,00
<input type="checkbox"/> CIENCIAS ECONÓMICAS	¢ 4 000,00	<input type="checkbox"/> FILOSOFÍA	¢ 6 000,00	<input type="checkbox"/> MATEMÁTICA: TEORÍA Y APLICACIONES	¢ 4 000,00
<input type="checkbox"/> CIENCIAS SOCIALES	¢ 6 000,00	<input type="checkbox"/> FILOLOGÍA Y LINGÜÍSTICA	¢ 4 000,00	<input type="checkbox"/> REFLEXIONES	¢ 4 000,00

Precios internacionales / International prices

América Latina, Asia y África US\$ 20,00
Excepto Estudios de Lingüística Chibcha US\$ 5,00

Resto del mundo US\$ 50,00
Excepto Biología Tropical y Ciencias Sociales US\$ 80,00
Estudios de Lingüística Chibcha US\$ 20,00
Filosofía US\$ 70,00

Precios	Costa Rica	Others countries
Número suelto:	¢ 2 000,00	US\$ 20,00
Excepto: Estudios de Lingüística Chibcha	¢ 1 500,00	¢ 1 500,00

FAVOR HACER SU PAGO A NOMBRE DE: • PLEASE MAKE CHECK PAYABLE:
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

www.editorial.ucr.ac.cr

Librería: libros@libreriaucr.com Costado sur del Edificio Sapriisa, frente al parqueo Red Point,
San Pedro, Montes de Oca • Teléfonos: (506) 2511-5858 • (506) 2511-5859.

© Editorial Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Costa Rica.
Apdo.: 11501-2060 • Tel.: (506) 2511-5310 • Fax: (506) 2511-5257 • administracion.siedin@ucr.ac.cr
Unidad de Distribución y Ventas: Tel.: (506) 2511-5853 • (506) 2511-5957 • Fax: (506) 2511-5417 • distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr