

ISSN 0377-9424

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

COLEGIO DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

Volumen 36

2012

Número 1


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 J.
Álvaro Jiménez C.
Álvaro Morales
Álvaro Ramírez
Álvaro Segura
Axel Retana
Amy Wang
Ana Abdellnour
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
Eduardo Alpízar
Eduardo Bravo
Eduardo Hernández
Eduardo Salas
Eduardo Soto
Edwin Pérez
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
Gerardo Avalos
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
Joaquín Salazar
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
Julio Rodríguez
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 Elena Aguilar
María Isabel González
María del Mar Gamboa
María Laura Arias
Mario Araya
Mario Arias
Mario Morales
Mario Piedra
Mario Saborío
Mario Samper
Mario Vargas
Mario Villatoro
Mario Zumbado
Marta Montero
Marta Bustamante
Marta Valdéz M.
Marvin Vargas
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
Pablo Acuña
Patricia Castro
Patricia Quesada
Patricia Ramírez
Patricia Sedo
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 G.
Sergio Madrigal
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
William Sánchez

Revisores Internacionales

Abellino Pitty (Honduras)
Adriana Escudero (España)
Alonso González (Colombia)
André Finkler (Brazil)
Danilo Pezo (Guatemala)
Edgar Amezcua (Colombia)
Florenca Montagnini (EE.UU.)
Francisco Coll (Cuba)
Francisco P. Chaimsohn (Brasil)
Guillermo Reyes (Nicaragua)
Héctor Mario Andrade (México)
Ildefonso Pla Sentis (España)
Jack Ewell (EE.UU.)
Jorge Etchevers (México)
José Hernández (EE. UU.)
Juan F. Gallardo (España)
Kellen Gatti (Colombia)
Magally Quirós (Venezuela)
Manuel Sandoval (México)
Miguel Marchamalo (España)
Roberto Ferreira (Brasil)
Ronald Ochoa (EE.UU.)
Sergio Hernández (México)
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 36**2012****NÚMERO 1**

Obituario	9-10
35 Aniversario Agronomía Costarricense	11-12
Artículos científicos	
Consumo, calidad nutricional, y digestibilidad aparente de morera (<i>Morus alba</i>) y pasto estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i>) en cabras. <i>Jessie Rodríguez-Zamora y Jorge Elizondo-Salazar</i>	13-23
Fenología, producción y valor nutritivo del pasto alpiste (<i>Phalaris arundinacea</i>) en la zona alta lechera de Costa Rica. <i>Luis Villalobos</i>	25-37
Fertilización con N, P, K y S, y curvas de absorción de nutrimentos en arroz var. CFX 18 en Guanacaste. <i>Eloy Molina y José Hernán Rodríguez</i>	39-51
Identificación molecular del hongo <i>Colletotrichum</i> spp., aislado de banano (<i>Musa</i> spp) de altura en la zona de Turrialba y determinación de su sensibilidad a fungicidas poscosecha. <i>Eduardo Salazar, Ramses Hernández, Ana Tapia y Luis Gómez-Alpizar</i>	53-68
Modificación de olfatómetros de cuatro brazos para experimentación en broca del café, <i>Hypothenemus hampei ferrari</i> (Coleoptera: Curculionidae). <i>Arturo Pacheco, Helga Blanco-Metzler y Rebeca Mora</i>	69-78
Notas técnicas	
Efecto de la colocación de dispositivos elásticos de hule, en las manos superiores del racimo de banano, sobre la conformación de la mano, el rechazo de frutos y la relación cajas-racimo. <i>Alfonso Vargas</i>	79-88
Evaluación de una fuente de enmienda líquida en el rendimiento del arroz en un Ultisol de la Zona Norte de Costa Rica. <i>Juan Manuel Valerio y Eloy Molina</i>	89-96

Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.)
con Sistema de Visión Computarizada durante la maduración.

Carlos Alberto Padrón Pereira, Gisel Marié Padrón León,

Adriana Isabel Montes Hernández y Rafael Antonio Oropeza González

97-111

Obras nuevas

Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales.

Alfredo Alvarado y Jaime Raigosa

113-115

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

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

VOLUME 36**2012****NUMBER 1**

Obituary	9-10
35 Aniversario of Agronomía Costarricense	11-12
Scientific papers	
Intake, nutritional quality, and apparent digestibility of mulberry (<i>Morus alba</i>) and star grass (<i>Cynodon nlemfuensis</i>) in goats. <i>Jessie Rodríguez-Zamora and Jorge Elizondo-Salazar</i>	13-23
Phenology, yield and nutritional value of reed canary grass (<i>Phalaris arundinacea</i>) in dairy farms in the highlands of Costa Rica. <i>Luis Villalobos</i>	25-37
N, P, K, and S fertilization and nutrient absorption curves on rice var. CFX 18 in Guanacaste. <i>Eloy Molina and José Hernán Rodríguez</i>	39-51
Molecular identification of the fungus <i>Colletotrichum</i> spp., isolated from banana (<i>Musa</i> spp) in high lands from Turrialba and determination of their sensitivity to postharvest fungicides. <i>Eduardo Salazar, Ramses Hernández, Ana Tapia and Luis Gómez-Alpizar</i>	53-68
Modification of four-arm olfactometers to be used with the coffee borer <i>Hypothenemus hampei</i> Ferrari (Coleoptera: Curculionidae). <i>Arturo Pacheco, Helga Blanco-Metzler and Rebeca Mora</i>	69-78
Technical notes	
Effect of rubber plastic bands, placed on banana's bunch upper hands, on the conformation of the hand, the rejection of fruits and the relationship boxes-bunch. <i>Alfonso Vargas</i>	79-88
Evaluation of a liquid lime source on the rice yield in Ultisol soil from North Zone of Costa Rica. <i>Juan Manuel Valerio and Eloy Molina</i>	89-96

Color determination in tomato epicarp using Computer Vision System during ripening.

Carlos Alberto Padrón Pereira, Gisel Marié Padrón León,

Adriana Isabel Montes Hernández and Rafael Antonio Oropeza González

97-111

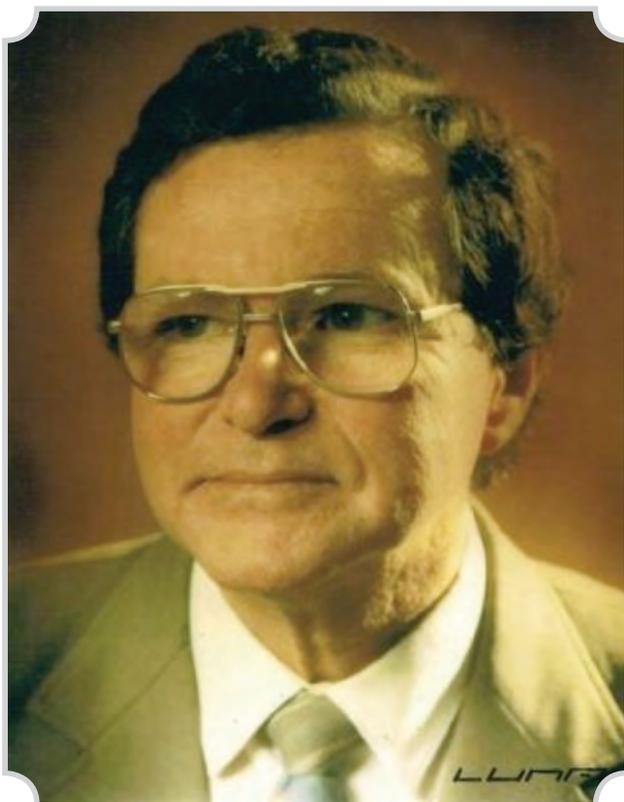
Recent publications

Forest nutrition and fertilization in tropical regions.

Alfredo Alvarado and Jaime Raigosa

113-115

Obituario



Hernán Fonseca Zamora

Hernán Fonseca Zamora nació en Panamá, en 1930, hijo del embajador de Costa Rica. A los 8 años sufrió poliomelitis y tuvo que pasar los siguientes 3 años en un hospital de Philadelphia, E.E.U.U., en tratamiento y recuperación, lejos de su familia. Esto lo hizo desarrollar desde muy joven su carácter de luchador sereno, determinado a superar adversidades y cumplir metas: aprovechó para aprender inglés aún para leer libros de agricultura, ganadería y veterinaria. Ya adolescente, en Guatemala, supo de la Escuela Agrícola Panamericana (El Zamorano, Honduras) y contactó a su director-fundador, el Dr. Wilson Popenoe, quien lo admitió. Los médicos consideraron que, por cierta discapacidad en una pierna (secuelas de la polio), no podría soportar el extenuante trabajo de campo de esa Escuela, así que estuvo “a prueba” los 3 años de sus estudios, sin

concesiones, y sin embargo se graduó de Agrónomo con todo mérito en 1951. Regresó a Costa Rica y trabajó 6 meses en la sección de café del Ministerio de Agricultura y Ganadería, pero volvió al Zamorano al ofrecérsese el cargo de instructor en producción animal y veterinaria.

En 1953 obtuvo una beca de la Fundación Rockefeller para especializarse en Nutrición Animal y Zootecnia, a nivel de Bachillerato y Maestría, en la Universidad de Florida. Regresó al Zamorano en 1958 como profesor, a cargo de la lechería, veterinaria y caballos, hasta 1960, cuando fue llevado a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica por su Decano, el Ing. Luis Angel Salas.

En la UCR reforzó el área de zootecnia en la entonces carrera “generalista” de Ingeniero Agrónomo, y a partir de 1968 lideró, junto con el Dr. Alfio Piva, el desarrollo de una orientación formal hacia Zootecnia, en cuyo plan de estudios, participó en su elaboración. Trabajando con tesarios y jóvenes profesores, inició proyectos de investigación en nutrición animal, en especial

de rumiantes; creó el Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), junto con el Ing. Jesús Alpizar del MAG, promoviendo la Ley sobre Calidad de Alimentos, donde la UCR asume la investigación y el MAG la parte regulatoria. Dentro del CINA, desarrolló proyectos regionales sobre inocuidad de alimentos para animales, especialmente sobre aflatoxinas y otros problemas de contaminación por hongos en granos, en estrecha colaboración con el Lic. Quím. Emilio Vargas. Fue asesor de ganaderos, de fábricas de alimentos y de la Cooperativa Dos Pinos, como nutricionista, en aspectos de composición, formulación y control de calidad de alimentos para animales.

De 1978 a 1982, Hernán Fonseca sirvió como Ministro de Agricultura en el gobierno del Presidente Rodrigo Carazo. Ahí institucionalizó, en compañía de su Viceministro, Ing. Agr. Willy Loría, una política de cumplimiento de metas y evaluación de resultados en el apoyo a agricultores de todo nivel, creando además las Ferias del Agricultor, que permiten una relación mutuamente ventajosa entre productores y consumidores, que aún persiste en casi todos los cantones del país. Una huella indeleble.

De regreso a la Universidad, además de su función docente, colaboró de lleno con esta revista, *Agronomía Costarricense*, sirviendo como Director de 1984 a 1989, en interacción con los profesores Felipe Arauz y Floria Bertsch, como Editores en 2 períodos sucesivos. Se pensionó de la UCR en 1989.

Entre numerosos reconocimientos recibidos, destacan 2 de la Universidad de Florida: el Doctorado Honoris Causa en 1981, y el Premio Anual al Graduado Distinguido en 1984. En años más recientes, colaboró en funciones de liderazgo con la Escuela Agrícola Regional del Trópico Húmedo (EARTH), donde aportó su vasta experiencia docente y administrativa en la Junta Directiva.

La seriedad, responsabilidad y dedicación de Hernán Fonseca en todas las funciones que asumió, así como su trato ponderado y comprensivo, le merecieron siempre el respeto, aprecio y confianza de colegas, alumnos, superiores y subalternos en diversas instituciones y campos de trabajo. Gracias a ello dejó a su paso un legado de superación permanente en vastos ámbitos de gestión personal, de trabajo en equipo y de productividad nacional. Falleció el 29 de setiembre del 2011. Lo sobreviven su esposa, Isabel Tamayo, 3 hijos, 1 nuera, 2 yernos y 10 nietos. Y lo echamos de menos todos sus estudiantes, colegas y compañeros de trabajo, que atesoramos su legado.

*Luis Carlos González
Ex-Decano, Facultad de Agronomía
Universidad de Costa Rica*

AGRONOMÍA COSTARRICENSE 35 AÑOS DESPUÉS DE SU APARICIÓN

Cuando se cumplieron 15 años de publicarse la Revista Agronomía Costarricense, 2 miembros fundadores y la Editora Principal publicaron un artículo que explicaba el cómo y el cuándo se fundó (González et al. 1991) y posteriormente cuando se celebró el 25 aniversario de la Revista, otro miembro del Comité Editorial (Sánchez 2002) resumió los logros alcanzados hasta ese momento.

Hoy 35 años después y como parte de una política, se continúa con el trabajo de resumir lo actualizado en la Revista y en este pequeño aporte se trata de incluir un resumen de lo acontecido después del artículo de Sánchez (2002), con la idea de ponderar los logros y sugerir cambios que permitan elevar aún más la calidad y pertinencia de esta publicación dentro del contexto agroalimentario que distingue la producción científica del país, con una tendencia de servicio más internacional con más usuarios y colaboradores utilizan la revista hoy en día.

Con un gran aporte del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), una de las instituciones promotoras de la creación de la Revista, a partir del año 2004 se contribuyó con la colocación de la revista en www.mag.go.cr/rev_agr/inicio.htm en Internet; 2 años después se digitó desde su primer número y desde entonces inicia el proceso de indexación que hoy en día hacen buscadores como LATINDEX, SIDALC, INIS, DAILET, DOAJ, SCIELO, E-REVISTAS, REDALYC y AGRIS, donde se pueden verificar visitas a nivel nacional e internacional al ser parte de hemerotecas virtuales.

A partir del primer semestre del 2011 se registra la versión digital con el número internacional para publicaciones seriadas ISSN 2215-2202, según los registros de las publicaciones seriadas por el Centro Internacional del ISSN con sede en París Francia.

Según consulta del 7 de mayo del 2012 en <http://www.redalyc.org/src/inicio/HomRevRed.jsp?iCveEntRev=436>,

del total de consultas a la página de la Revista, las áreas geográficas que más la han visitado son: América Latina y el Caribe, México, Estados Unidos y Canadá. El promedio mensual de artículos descargados de los números 24(1) a 34(2) publicados durante los años 2000-2010 alcanzó a 3637, con valores anuales de 2625, 2841, 4009, 4799 y 4225 desde 2007 hasta el 2011, datos que muestran la aceptación que tienen los artículos incluidos en dichos números y la pertinencia de los resultados de investigación nacional e internacional que contribuyen con la investigación del Sector Agroalimentario de distintas latitudes ya que en el último recuento que incluye el período 2004-2011, con 17 números de la Revista, se han publicado 118 artículos científicos, 59 notas técnicas y 10 Análisis y Comentarios, que han sido consultados.



Primera Revista Agronomía Costarricense publicada en mayo de 1977

Como ex Director, Editor y ahora como colaborador de la Revista, deseo felicitar y agradecer a los colegas que de una u otra forma han mantenido la calidad y el apoyo a este esfuerzo por compartir los conocimientos generados por sector agropecuario y forestal de Costa Rica. Sin el apoyo de los científicos y del sector administrativo, Editorial de la Universidad de Costa Rica, la diligencia editorial de los representantes del MAG y del Colegio de Ingenieros Agrónomos y la colaboración de los centros internacionales de indización, la Revista Agronomía Costarricense no tendría la visibilidad con que cuenta hoy en día.

Alfredo Alvarado
9 de mayo de 2012

CONSUMO, CALIDAD NUTRICIONAL Y DIGESTIBILIDAD APARENTE DE MORERA (*Morus alba*) Y PASTO ESTRELLA (*Cynodon nlemfuensis*) EN CABRAS¹

Jessie Rodríguez-Zamora*, Jorge Elizondo-Salazar^{2/*}

Palabras clave: Consumo, materia seca, digestibilidad, forrajes, *Capra hircus*.

Keywords: Intake, dry mater, digestibility, forages, *Capra hircus*.

Recibido: 05/08/11

Aceptado: 21/02/12

RESUMEN

Se evaluó la calidad, selección y digestibilidad aparente en cabras, del consumo de morera y estrella africana ofrecidos de forma fresca y parcialmente deshidratada. El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental “Alfredo Volio Mata” de la Universidad de Costa Rica. El forraje cosechado fue suministrado a 12 cabras de las razas Saanen, Toggenburg y LaMancha no lactantes y no gestantes, distribuidas en un diseño irrestricto al azar con un arreglo factorial 2x2 y con un peso vivo promedio de 37±5 kg. Los tratamientos experimentales fueron: a) estrella fresca, b) estrella parcialmente deshidratada, c) morera fresca y d) morera parcialmente deshidratada. El forraje se ofreció a los animales en forma picada. Se observó un consumo promedio de materia seca de: 0,93; 0,76; 1,17 y 1,12 kg.animal⁻¹.día⁻¹ de MS (±0,09), para los tratamientos estrella fresca, estrella parcialmente deshidratada, morera fresca y morera parcialmente deshidratada, respectivamente. Esto representó 2,62; 2,09; 3,17 y 3,13% (±0,24) del peso vivo. El consumo de proteína cruda fue menor con la estrella parcialmente deshidratada y mayor con la morera fresca (75,2 vs. 135,4 g.animal⁻¹.d⁻¹). El porcentaje de digestibilidad aparente no fue estadísticamente

ABSTRACT

Intake, nutritional quality, and apparent digestibility of mulberry (*Morus alba*) and star grass (*Cynodon nlemfuensis*) in goats. The quality, selection, intake, and apparent digestibility of mulberry and star grass in goats, offered fresh or partially dehydrated, were evaluated. The experiment was carried out at the “Alfredo Volio Mata” Experiment Station of the University of Costa Rica. Harvested forage was fed to 12 Saanen, Toggenburg and Lamancha non-lactating and non-pregnant goats, distributed in a randomized 2x2 factorial design, with an average live weight of 37±5 kg. The treatments were a) fresh star grass, b) partially dehydrated star grass, c) fresh mulberry, and d) partially dehydrated mulberry. Forage was offered chopped to the animals. Dry matter intake was 0.93, 0.76, 1.17 and 1.12 kg.animal⁻¹.day⁻¹ (±0.09) for fresh star grass, partially dehydrated star grass, fresh mulberry, and partially dehydrated mulberry, respectively. This represented 2.62, 2.09, 3.17 and 3.13% (±0.24) of body weight. Crude protein intake was lower with partially dehydrated star grass and higher with fresh mulberry (75.2 vs. 135.4 g.animal⁻¹.day⁻¹). Apparent digestibility was not statistically different between treatments; it

1 Trabajo financiado por la Vicerrectoría de Investigación. Proyecto 737-A8-129. Universidad de Costa Rica.

2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr

* Estación Experimental Alfredo Volio Mata, Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

diferente entre tratamientos; presentó un promedio de 49,18% para la MS, 59,82% para la PC, 57,83% para la FDN y 55,30% para la FDA. Este estudio demuestra que la especie de forraje influye significativamente sobre el consumo voluntario de materia seca en cabras; sin embargo, el contenido de materia seca en los forrajes utilizados no afectó dicho consumo.

was on average 49.18% for DM, 59.82% for CP, 57.83% for NDF, and 55.30% for ADF. This study demonstrates that the forage species significantly affects voluntary dry matter intake in goats; however, dry matter content of the forages used in this study did not affect DM intake.

INTRODUCCIÓN

La cabra, a excepción del perro, es el animal doméstico más ampliamente distribuido en el mundo. Se estima que existe una población mundial de 720 millones distribuidas de la siguiente manera: 55,4% en Asia, 29,8% en África, 7,3% en Sudamérica, 4,4% en Europa, 3,0% en Norte y Centroamérica y 0,1% en las Islas del Pacífico (Aréchiga et al. 2008).

En Costa Rica, la caprinocultura es una actividad que se ha desarrollado en los últimos años. Actualmente se utilizan razas como la Saanen, Toggenburg, Alpina y LaMancha, dedicadas principalmente a la producción de leche en sistemas estabulados. El hato caprino ha crecido sostenidamente desde 1975 así como el ingreso generado por la venta de leche. De acuerdo con Castro (2002), para el 2002 se produjeron en nuestro país 13,92 millones de kg de leche que generaron un ingreso de 6960 millones de colones. Según lo anterior, las explotaciones caprinas se vislumbran como una alternativa viable para satisfacer la creciente demanda de productos lácteos.

Chacón et al. (2008) realizó un trabajo que permite apreciar que la leche de cabra se percibe como un producto saludable, nutritivo o medicinal y aduce que uno de los motivos de su bajo consumo es la poca disponibilidad, por lo que se necesita una mayor producción y mercadeo que aumente su consumo.

Para aumentar la producción de bienes lácteos de origen caprino, hay que comprender que las cabras de alta producción requieren de una alimentación rica en proteína y energía, lo que no siempre es suministrado por los productores, pese a que nuestro país cuenta con especies forrajeras de buen rendimiento y alto valor nutritivo (Elizondo 2004a,b, Elizondo 2005).

Un principio básico en la alimentación animal es cuantificar el consumo de materia seca para determinar la ingestión de nutrientes. En bovinos de leche, se han conducido una serie de ensayos para determinar el consumo de materia seca y a partir de ellos se han desarrollado y probado modelos matemáticos que lo predicen acertadamente (Hristov et al. 2004). Esto ha permitido que el rango de valores para el consumo de materia seca en ganado de leche sea muy reducido. Pero cuando se considera este indicador en cabras, el panorama es otro y el rango de valores encontrado en la literatura es muy amplio (Vallejo et al. 1992, Oviedo et al. 1995, Elizondo 2004a,b, Elizondo 2005).

Si bien es cierto en nuestro país se han realizado investigaciones desde los años ochenta con diferentes tipos de forrajes como gramíneas, leguminosas, arbustivas e incluso ensilajes (Castro 1989, Chacón 2008, Chávez 2005, Herrera et al. 2009, Rodríguez 1989, Samur 1984, Vallejo 1995, Vargas 2009), no existe una tendencia clara que permita estimar el consumo de materia seca en cabras, y los valores obtenidos generalmente se encuentran por debajo de aquellos reportados en otras regiones del mundo.

Por tratarse de animales rumiantes, la fracción forrajera tiene una gran influencia en el consumo de materia seca. Generalmente, los forrajes en el trópico presentan una mayor proporción de pared celular que los hace menos digestibles. Además, esto se combina con un mayor contenido de humedad en relación con forrajes de zonas templadas, lo que al final afecta negativamente el consumo, ya que un menor contenido de materia seca en la ración se asocia con una disminución en el consumo. En este sentido, Lahr et al. (1983) analizaron diferentes raciones con variaciones en el contenido de materia seca que oscilaron entre 40 y 80% encontrando que aquellas que presentaban porcentajes menores al 60% redujeron el consumo considerablemente. Los autores concluyeron que los animales que consumieron las dietas más secas presentaron los mayores consumos.

Por esta razón, una manera viable para aumentar el consumo de materia seca en rumiantes podría ser el empleo de fuentes forrajeras con mayor contenido de materia seca. La deshidratación parcial es una forma de eliminar parte de la humedad en los forrajes sin recurrir a tratamientos físicos o químicos que aumenten la estructura de costos.

En cabras, esta sencilla técnica podría aumentar el consumo y por lo tanto mejorar la eficiencia en los sistemas de corte y acarreo que son los más difundidos actualmente en las explotaciones caprinas. En el país no se han realizado trabajos que consideren el beneficio de emplear materiales forrajeros parcialmente deshidratados. Igualmente información sobre la digestibilidad aparente de éstos, permitiría considerar más apropiadamente los requerimientos nutricionales. Es por esta razón que el presente trabajo pretendió evaluar la calidad, selección, consumo y digestibilidad aparente de morera (*Morus alba*) y estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en cabras ofrecidos de forma fresca y parcialmente deshidratados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el módulo caprino de la Estación Experimental de

Ganado Lechero “Alfredo Volio Mata” de la Universidad de Costa Rica durante octubre y noviembre del 2010. La finca se ubica a 1542 msnm, con una precipitación media anual de 2050 mm, distribuidos durante mayo a noviembre con una humedad relativa media de 84% y temperatura media de 19,3°C.

La morera se extrajo de un cultivo con 20 años y se cosechó a 0,60 m sobre el nivel del suelo, mientras que la estrella se cosechó a 0,10 m sobre el nivel del suelo y se extrajo de un cultivo con 5 años, ambos en explotación continua. Los cultivos se dividieron en parcelas y se programó una uniformización escalonada para que la morera tuviera una edad de rebrote de 90 días y la estrella 30 días al momento de la cosecha. Sin embargo, durante el 2010, cuando se planeaba realizar el ensayo, se presentaron variaciones en las condiciones climáticas que afectaron significativamente la producción del forraje, y ocasionó un retardo en el crecimiento de los mismos. Por esta razón, el periodo de corte para la morera tuvo que ampliarse de 90 a 110 días y el de estrella de 30 a 50 días, para tener la cantidad de forraje suficiente para iniciar la prueba de consumo.

El forraje cosechado fue suministrado a 12 cabras de las razas Saanen, Toggenburg y LaMancha, no lactantes y no gestantes, con un peso vivo promedio de 37±5 kg, distribuidas en un diseño irrestricto al azar con un arreglo factorial 2x2, donde se evaluó el tipo de forraje: morera y estrella y el uso o no de la deshidratación parcial. Con base en lo anterior, los tratamientos experimentales fueron: 1) estrella fresca, 2) estrella parcialmente deshidratada, 3) morera fresca y 4) morera parcialmente deshidratada. El forraje fresco se ofreció a los animales en forma picada (2,5 cm) tal como fue cosechado (tallos y hojas) el mismo día. Una parte del forraje cosechado, se dejó a la sombra durante 2 días, con el fin de que perdiera humedad y se ofreció a los animales igualmente en forma picada.

Cada animal fue ubicado en una jaula individual y recibió cada tratamiento (asignado al azar) diariamente en una relación de 13% de

su peso vivo como forraje verde, en 2 porciones iguales a las 9 y a las 14 h.

El tiempo experimental fue de 56 días que incluyó un periodo de adaptación de 28 días a la nueva dieta y a las jaulas individuales. Los otros 28 días fueron para evaluación del consumo y toma de muestras. Los animales consumieron agua *ad libitum* y se suplieron sales minerales durante el ensayo. El forraje rechazado se recogió diariamente a las 8:00 a.m. de los comederos individuales y se pesó para evaluar el consumo, además se tomaron muestras del material consumido y rechazado, para analizar el contenido bromatológico de los forrajes empleados. Las muestras, tanto del forraje consumido como del rechazado, se analizaron para determinar el contenido de materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, cenizas y lignina, mediante los procedimientos aprobados (Goering y Van Soest 1970, AOAC 1980) en cada caso.

Igualmente, se recogieron y se pesaron las excretas producidas por cada animal y se tomaron muestras individuales para determinar el contenido de materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, cenizas y lignina, (Goering y Van Soest 1970, AOAC 1980) y así estimar la digestibilidad aparente de la materia seca, la proteína cruda, la fibra detergente neutro y detergente ácido. La digestibilidad aparente de un nutriente se define como la cantidad que no se excreta en las heces y por lo tanto se considera absorbida por el animal. El coeficiente de digestibilidad aparente viene dado por la ecuación (cantidad de nutriente consumido-cantidad de nutriente excretado) / cantidad de nutriente consumido (McDonald et al. 2002).

Para realizar los análisis de las dietas, tanto las muestras de forraje como de excretas, se secaron a 65°C durante 48 h y se molieron a 1 milímetro; luego se prepararon muestras compuestas semanales para el material ofrecido, el material rechazado y las excretas, con 20 g de cada muestra diaria.

Los datos obtenidos sobre consumo, composición bromatológica y digestibilidad aparente

se analizaron mediante el PROC GLM (SAS 2001) de acuerdo con la siguiente ecuación estadística:

$$y_{ijk} = \mu + F_i + S_j + (FS)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = variable de respuesta $k=1, 2, 3, 4, 5$.

μ = media general.

F_i = nivel del factor F (tipo de forraje) $i=1, 2$.

S_j = nivel del factor S (uso de deshidratación) $j=1, 2$.

$(FS)_{ij}$ = interacción.

e_{ijk} = error experimental.

La comparación entre tratamientos se realizó con la prueba de Duncan con una significancia $\alpha=0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de consumo

La información recolectada sobre consumo durante el periodo experimental, se sometió al análisis estadístico correspondiente y los resultados obtenidos se pueden apreciar en el Cuadro 1. Se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) en el consumo de forraje fresco, observándose como los tratamientos parcialmente deshidratados presentaron en promedio los menores consumos (2,49 kg.animal⁻¹.día⁻¹) en comparación con los tratamientos donde el forraje se ofreció de manera fresca (3,52 kg.animal⁻¹.día⁻¹). Dichos valores representan un consumo del 6,88 y 9,73% del peso vivo, respectivamente. Un comportamiento similar fue reportado por Cabreza et al. (2004) al alimentar vacas lecheras con forrajes que diferían en su contenido de humedad.

Tal como se pretendía, el porcentaje de materia seca de los forrajes ofrecidos presentó una diferencia estadística significativa ($p<0,05$) entre los tratamientos utilizados. Se observaron diferencias entre especies y entre el uso o no de la deshidratación parcial. La morera parcialmente

Cuadro 1. Consumo y concentración de materia seca de las dietas ofrecidas.

Dieta ofrecida	Estrella		Morera	
	Fresca	Deshidratada	Fresca	Deshidratada
Materia fresca				
Consumida, kg.día ⁻¹	3,40 ^a	2,19 ^b	3,64 ^a	2,78 ^b
Consumida, % del PV	9,58 ^a	6,03 ^b	9,87 ^a	7,73 ^b
Materia seca				
Ofrecida, %	28,17 ^d	37,46 ^b	36,72 ^c	43,07 ^a
Consumida, %	27,29 ^d	34,64 ^b	32,09 ^c	40,59 ^a
Consumida, kg.día ⁻¹	0,93 ^b	0,76 ^b	1,17 ^a	1,12 ^a
Consumida, % del PV	2,62 ^b	2,09 ^b	3,17 ^a	3,13 ^a

^{abcd} Valores con superíndices no comunes difieren a $p < 0,05$.

deshidratada presentó el mayor porcentaje de materia seca (43,07%), mientras que la estrella fresca presentó la concentración más baja (28,17%). Es interesante recalcar en este sentido que cuando se gestó la idea de ejecutar este experimento, se tuvo en mente comparar forrajes que tuvieran una concentración de materia seca inferior al 20%, como normalmente sucede bajo las condiciones de la zona, contra forrajes que mediante la deshidratación parcial alcanzaran valores superiores al 30%; sin embargo, dicho panorama no fue el obtenido, por lo que es muy probable que por esta razón no se hayan observado diferencias significativas en el consumo de materia seca tal como se verá posteriormente. En general, la deshidratación parcial aumentó en promedio el contenido de materia seca en 9 y 6 puntos porcentuales para la estrella y la morera, respectivamente.

Al analizar el consumo de materia seca (kg.día⁻¹), no se observó una diferencia significativa entre el consumo de los forrajes frescos en relación con los deshidratados; sin embargo, se presentó una diferencia entre especies, donde la morera fue el forraje más consumido (1,15 vs. 0,85 kg). Esta preferencia por la morera en relación con otras especies forrajeras se ha reportado en otro ensayo (Elizondo 2004a) y puede obedecer a factores de palatabilidad, cuyo análisis no fue el objetivo de este estudio.

El bajo contenido de materia seca en los forrajes se ha considerado como un factor que reduce el consumo voluntario en los rumiantes, especialmente cuando el contenido de materia seca es menor a 25% (Pasha et al. 1994), ya que el alto contenido de agua puede ocasionar un

llenado físico a nivel ruminal (Forbes 1995). Pese a ello, en el presente estudio la deshidratación parcial no tuvo un efecto sobre el consumo de materia seca, ya que ningún tratamiento llegó a tener una concentración de materia seca inferior al 25%. Igualmente la falta de significancia pudo haberse debido al reducido rango entre los contenidos de materia seca (Cuadro 1). Algunos autores atribuyen esta falta de respuesta a la baja aceptabilidad de los forrajes deshidratados (Cabrera et al. 2004).

Al comparar el consumo de materia seca obtenido en los tratamientos de estrella fresca (930 g.animal⁻¹.día⁻¹) y estrella deshidratada (760 g.animal⁻¹.día⁻¹) con valores de consumo reportados en otros ensayos donde se emplearon gramíneas, puede notarse como los valores obtenidos en el presente ensayo superan ampliamente los obtenidos por otros autores. Así por ejemplo, Elizondo (2004a,b, 2005) midió el consumo en ensayos con jaulas individuales, donde se emplearon cabras secas de la raza Lamancha con pesos promedios de 38 kg, alimentadas con sorgo negro forrajero (*Sorghum almun*). En dichas pruebas el consumo de materia seca rondó los 350 g.animal⁻¹.día⁻¹.

Vargas (2009) por su parte, realizó un trabajo donde evaluó el consumo de pasto prodigioso (*Trypsacum laxum*) para medir el impacto del nivel de ofrecimiento sobre el consumo. La gramínea se ofreció sin ningún proceso de picado en 3 cantidades crecientes representadas como porcentaje del peso corporal (7,5; 10,0 y 12,5%) a cabras secas Lamancha, con 40 kg de peso, y se registraron 342,03 g animal⁻¹.día⁻¹ de MS como

consumo promedio para los 3 niveles de ofrecimiento respectivamente.

En los últimos trabajos realizados en nuestro país para evaluar el consumo en cabras, se consideró suplementar la dieta forrajera con alimentos balanceados, para cubrir los requerimientos que el forraje no satisface y reducir así desbalances nutricionales que afectarían negativamente el consumo. De esta forma Chacón (2008) evaluó el consumo de king grass suplementado con concentrado a razón de $1000 \text{ g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$. Este autor evaluó el consumo de este forraje comparando 3 edades de corte de 60, 75 y 90 días en cabras secas Lamancha, Toggenburg y Saanen, con un peso promedio de 44 kg. En este experimento, el consumo de forraje solamente llegó a ser en promedio de $250,92 \text{ g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$ de MS.

El trabajo más reciente que continuó con esta tendencia fue el realizado por Herrera et al. (2009), donde evaluaron el consumo y la variación bromatológica de la leche de cabras Lamancha con un peso promedio de 50 kg, alimentadas con concentrado ($1000 \text{ g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$) y 3 diferentes forrajes (estrella, sorgo negro forrajero y morera). El consumo de forraje correspondiente fue de 760, 690 y 630 $\text{g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$. A pesar de que este último trabajo presentó un consumo mayor de materia seca, es probable que éste aumento estuviera influenciado por la lactancia y no por la suplementación con alimento balanceado.

Cuando se compara el consumo de materia seca obtenido en los tratamientos de morera fresca de $1170 \text{ g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y morera parcialmente deshidratada de $1120 \text{ g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$ con los valores logrados por diferentes autores que utilizaron forraje de arbustivas, se aprecia que los valores obtenidos en este trabajo superan aquellos obtenidos en otros ensayos.

Elizondo (2004a) evaluó el consumo de morera en cabras secas con pesos de 38 kg, de la raza Lamancha y obtuvo un consumo promedio de $737,32 \text{ g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$ de MS. También se superaron los consumos de morera fresca reportados por Herrera et al. (2009) de $630 \text{ g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$ de MS.

Tratar de explicar los factores que tuvieron relación con los mayores consumos de materia seca observados en este ensayo en relación con otros trabajos, sería algo difícil de ejecutar. Sin embargo, pese a que la alta concentración de materia seca en los forrajes utilizados en el presente ensayo podría explicar en parte los mayores consumos, la metodología empleada pudo también contribuir a un mayor consumo de materia seca por parte de los animales. Así por ejemplo, los animales en este ensayo fueron alimentados de forma individual y con una única dieta forrajera, mediante eliminación de los posibles efectos negativos que se pueden presentar sobre el consumo, al tener animales en grupos (Goestch et al. 2010) o al proporcionar raciones mezcladas (Vallejo et al. 1992). Igualmente, no se ofrecieron otros suplementos nutricionales como banano o alimentos balanceados utilizados en otros experimentos (Samur 1984, Castro 1989, Chacón 2008, Herrera et al. 2009) de forma que pudo no haberse presentado un efecto de llenado físico por esos alimentos o una menor digestibilidad que afectara la tasa de pasaje. En otro sentido, la forma de alimentación o tamaño de partícula de forraje ofrecido también pudo influir sobre el consumo del mismo. En este sentido, Vargas (2009) ofreció el forraje de manera entera, lo que pudo dificultar la cosecha, el masticado y rumia, y por ende el consumo total.

El consumo de materia seca en relación con el peso vivo varió significativamente entre especies, y como promedio la morera se consumió en una relación del 3,15% del peso vivo, mientras que para la estrella africana la relación fue de 2,36%.

Cuando se habla de consumos de materia seca en cabras, es importante considerar el amplio rango de valores que se reporta en la literatura y que ya ha sido discutido por Elizondo (2005). Sauvant y Morand-Fehr (citados por Morand-Fehr 1981), en un total de 5500 registros de consumo diario en 130 cabras Alpinas que consumían pasto o heno y concentrado durante los últimos 2 meses de gestación, encontraron que el consumo voluntario de las cabras podía variar

de 0,82 a 2,13 kg.día⁻¹ de MS. McCammon-Feldman et al. (citados por Sands 1983) revisaron la literatura relacionada con el consumo de MS por cabras y de 35 ensayos realizados en diferentes lugares del mundo, observaron que las cabras que consumieron gramíneas tropicales y plantas arbustivas, sin concentrado, tuvieron consumos entre 1,01 y 2,46% de su peso corporal. Vallejo et al. (1992) observaron, en cabras de 21,5 kg, consumos promedio de MS de 2,1% de su peso vivo, con el follaje de 4 especies leñosas y pasto. Por su parte, Oviedo et al. (1995) reportaron consumos de materia seca que variaron entre 0,70 y 3,59% del peso corporal. Todos estos valores reportados en la literatura y los obtenidos en el presente ensayo, no precisan claramente el panorama en cuanto al consumo de materia seca en cabras; sin embargo, los altos consumos de materia seca que realizan las cabras no siempre son suficientes para garantizar un adecuado nivel nutricional, por lo que es más importante cuantificar el consumo de nutrimentos.

Análisis de la composición química de las dietas

En el Cuadro 2 se aprecia el consumo y composición bromatológica de las dietas ofrecidas y consumidas. Debido a que la deshidratación fue limitada en tiempo y completamente a temperatura ambiente, la composición nutricional dentro de cada especie de forraje prácticamente no varió, lo que permite evaluar el efecto del contenido de materia seca sobre el consumo voluntario sin confundir el efecto con otras características del forraje. Al analizar la composición química del forraje ofrecido, puede observarse como, a excepción de la proteína cruda y la fibra detergente ácido, se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre especies. Resulta difícil explicar que no se hayan obtenido diferencias en cuanto a la concentración de proteína cruda, pues siempre se ha hecho hincapié en los altos niveles de proteína cruda que presenta la morera. Sin embargo, la única explicación que se puede ofrecer, tiene que ver con el hecho de que el forraje de morera se tuvo que cosechar a una

Cuadro 2. Consumo y composición química de las dietas ofrecidas.

Dieta ofrecida	Estrella		Morera	
	Fresca	Deshidratada	Fresca	Deshidratada
Proteína cruda				
Ofrecida, %	8,97	9,11	8,56	8,20
Consumida, %	8,91 ^c	10,02 ^b	11,62 ^a	9,80 ^b
Consumida, g.día ⁻¹	82,97 ^c	75,22 ^c	135,44 ^a	110,23 ^b
Fibra detergente neutro				
Ofrecida, %	78,98 ^b	77,87 ^b	65,51 ^a	65,96 ^a
Consumida, %	78,71 ^c	77,71 ^c	54,88 ^a	59,47 ^b
Consumida, g.día ⁻¹	732,72 ^c	584,23 ^a	641,13 ^b	670,92 ^b
Fibra detergente ácido				
Ofrecida, %	44,62	44,16	44,79	45,65
Consumida, %	44,34 ^c	42,84 ^c	36,66 ^a	38,99 ^b
Consumida, g.día ⁻¹	412,81 ^{ab}	325,12 ^a	427,45 ^b	441,61 ^b
Cenizas				
Ofrecida, %	8,37 ^c	8,37 ^c	9,84 ^b	10,08 ^a
Consumida, %	8,07 ^c	8,70 ^c	13,66 ^a	12,57 ^b
Consumida, g.día ⁻¹	75,19 ^b	65,53 ^b	159,44 ^a	140,91 ^a
Lignina				
Ofrecida, %	8,47 ^a	8,24 ^a	12,45 ^b	13,58 ^b
Consumida, %	8,20 ^b	7,21 ^a	10,86 ^c	12,89 ^d
Consumida, g.día ⁻¹	76,30 ^a	55,22 ^a	127,11 ^b	145,65 ^b

^{abcd} Valores con superíndices no comunes difieren a $p < 0,05$.

edad mayor de lo establecido y por lo tanto estos valores son inferiores a los reportados por otros autores (Elizondo 2004a, Herrera et al. 2009). Situación similar se dio con el forraje de estrella africana.

En relación con el consumo de proteína cruda ($\text{g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$), se encontraron diferencias entre tratamientos y el mayor consumo fue de 135 g para la morera fresca, mientras que con la estrella parcialmente deshidratada solamente se consumieron 75 g. De acuerdo con Elizondo (2002), los requerimientos de proteína cruda para mantenimiento son de $58,1 \text{ g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$. Esto quiere decir que con base en los resultados obtenidos, todos los tratamientos utilizados en este ensayo superaron dicho requerimiento, por lo que los animales dispusieron de un exceso de proteína que podría ser utilizado para llenar otras necesidades fisiológicas.

La concentración de FDN en la materia seca ofrecida y consumida difirió significativamente entre las especies forrajeras estudiadas y no tanto entre el uso o no del deshidratado. A pesar de ello, las cabras en el tratamiento de estrella parcialmente deshidratada consumieron la menor cantidad de FDN (584 g), en tanto que las cabras en el tratamiento de estrella fresca, consumieron la mayor cantidad (733 g).

La concentración de FDA en la materia seca, mostró un comportamiento interesante. Mientras no se presentaron diferencias en el contenido de este nutriente en las dietas ofrecidas, la concentración en el forraje consumido mostró diferencias significativas ($p < 0,05$), ya que presentaron valores superiores en la estrella africana. Sin embargo, el consumo fue el menor para la estrella parcialmente deshidratada con un valor de $325 \text{ g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$.

La hemicelulosa y la celulosa son polisacáridos presentes en la fibra detergente neutro. El porcentaje de hemicelulosa en la dieta ofrecida para la estrella fue en promedio de 34,0%, mientras que para la morera fue de 20,5%. En tanto que la concentración de celulosa fue de 36,0 y 32,2% para la estrella y la morera, respectivamente.

El porcentaje de cenizas en las dietas ofrecidas fue diferente entre tratamientos y el mayor consumo lo presentaron los animales a los que se les ofreció morera. El contenido de lignina en el material ofrecido presentó diferencias entre especies. De manera interesante, la concentración de este nutriente en el material consumido difirió significativamente para los 4 tratamientos y su consumo fue mayor en los animales que consumieron morera en relación con los que comieron estrella ($136,38 \text{ vs. } 65,76 \text{ g.animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$).

Al analizar la proteína cruda y cenizas en el material ofrecido y consumido, se pudo determinar que para ambos nutrientes, la concentración en el material consumido fue superior al ofrecido. Contrariamente, para la MS, FDN, FDA y lignina; la concentración en lo consumido fue inferior a lo ofrecido. Esto demuestra la selección que ejerce el animal durante la labor de consumo de los alimentos, lo cual se debe principalmente a una mayor preferencia por las hojas, que es donde se concentra la mayor cantidad de proteína cruda y la menor cantidad de fibra.

Debido al aumento en la edad de corte que se le tuvo que dar a los cultivos forrajeros utilizados en el presente ensayo, los componentes de la pared celular obtenidos en los tratamientos fueron superiores a los reportados en la literatura. Esto es algo de esperar, pues cuando el intervalo de corte aumenta, la concentración de los componentes de la pared celular y las cenizas totales aumentan, mientras que la concentración de proteína decrece.

Análisis de la digestibilidad aparente

Para realizar el análisis de digestibilidad aparente de cada tratamiento, los kilogramos de forraje consumido en cada tratamiento, se multiplicaron por la composición porcentual de MS, PC, FND y FDA. Similarmente, los valores para los nutrientes excretados fueron calculados y por diferencia, se obtuvo la retención de cada uno y los coeficientes de digestibilidad fueron una proporción de lo retenido en relación con lo consumido.

Para realizar el análisis de digestibilidad descrito anteriormente, se midió la producción diaria de excretas, obteniéndose una producción promedio de 874 g de heces frescas. $\text{animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$. Pese a que no hubo una diferencia significativa ($p>0,05$), los tratamientos frescos fueron mayores en aproximadamente 200 g en comparación con los deshidratados (Cuadro 3).

La digestibilidad aparente de las MS, PC, FDN y FDA de las dietas empleadas se sometió al análisis estadístico correspondiente y los resultados obtenidos se pueden apreciar en el Cuadro 4. No se determinó una diferencia estadística en

la digestibilidad de los componentes bromatológicos analizados, lo que indica que no hay una pérdida significativa en la calidad del forraje cuando se somete a un deshidratado parcial.

Trabajos realizados sobre la digestibilidad de forrajes en cabras por Brown et al. (1988) y Van hao y Ledin (2001) han determinado valores de digestibilidad aparente para el king grass, el gandul (*Cajanus cajan*), paja de arroz y hojas de madero negro (*Gliricidia maculata*). La digestibilidad promedio de dichas investigaciones ha sido 62,28% para la MS; 58,18% para la PC y 59,00% para la fibra cruda.

Cuadro 3. Producción diaria de heces y concentración de MS por tratamiento.

Tratamiento	kg. $\text{animal}^{-1}.\text{día}^{-1}$	MS, %
Estrella fresca	0,956	27,98
Estrella deshidratada	0,723	36,99
Morera fresca	0,958	35,82
Morera deshidratada	0,860	42,64

Cuadro 4. Digestibilidad aparente (%) de los nutrimentos analizados en las diferentes dietas.

Nutrimento	Estrella		Morera	
	Fresca	Deshidratada	Fresca	Deshidratada
Materia seca	40,72	63,54	49,49	42,97
Proteína cruda	67,52	54,91	61,31	55,53
Fibra detergente neutro	60,01	57,61	56,39	57,29
Fibra detergente ácido	56,02	54,14	54,38	56,67

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que la especie de forraje influye significativamente sobre el consumo voluntario de materia seca en cabras y que el contenido de materia seca en los forrajes utilizados no afectó dicho consumo. En general, con todos los tratamientos se obtuvieron altos consumos de materia seca y los animales que consumieron morera, lograron sobrepasar el 3% de su peso corporal. Se pudo demostrar la selección que ejerce el animal durante la labor de

consumo de los alimentos debido a su preferencia por las partes de la planta más digestibles y con menor concentración de pared celular. Las dietas ofrecidas presentaron bajas concentraciones de proteína cruda; sin embargo, debido al alto consumo de materia seca obtenido, los animales lograron satisfacer sus requerimientos de proteína cruda para mantenimiento. La digestibilidad de los componentes bromatológicos analizados no presentó diferencia estadística entre tratamientos, lo que indica que no existe pérdida nutricional significativa que afecte la calidad del forraje si

se emplea el proceso de deshidratación parcial. La cantidad de heces frescas producidas fueron en promedio de 0,874 kg.animal⁻¹.día⁻¹. Si bien es cierto que la deshidratación parcial es una técnica viable para aumentar el porcentaje de materia seca en los forrajes, bajo las condiciones en que se llevó a cabo este experimento, no se pudo probar satisfactoriamente que un contenido mayor de agua en los forrajes disminuye el consumo de materia seca.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. (Association of Official Analysis Chemistry). 1980. Methods of analysis. 13th ed. Washington D.C. U.S.A. 168 p.
- ARÉCHIGA C.F., AGUILERA J.L., RINCÓN R.M., MÉNDEZ DE LARA S., BAÑUELOS V.R., MEZA-HERRERA C.A. 2008. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 9:1-14.
- BROWN D., SALIM M., CHAVALIMU E., FITZHUGH H. 1988. Intake, selection, apparent digestibility and chemical composition of *Pennisetum purpureum* and *Cajanus cajan* foliage as utilized by lactating goats. *Small Rumin. Res.* 1:59-65.
- CABRERA J., DELAGARDE R., FAVERDIN P., PEYRAUD J. 2004. Dry matter intake and eating rate of grass by dairy cows is restricted by internal, but not external water. *Animal Feed Science and Technology*. 114:59-74.
- CASTRO A. 1989. Producción de leche de cabras alimentadas con (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*), suplementadas con diferentes niveles de poró (*Erythrina poeppigiana*) y de fruto de plátano (*Musa sp.* Cv. 'Pelipita'). Tesis de maestría en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 53 p.
- CASTRO A. 2002. Historia de la caprinocultura en Costa Rica. En: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_animal/cabra_historia.html. Consultado el 25 de marzo de 2010.
- CHACÓN P. 2008. Estimación del aprovechamiento en ganado caprino del *Pennisetum purpureum* cv. king grass cosechado a tres diferentes edades de rebrote. Tesis de licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 135 p.
- CHACÓN A., ARAYA Y.M., GAMBOA M. 2008. Percepciones y hábitos de consumo de la leche de cabra y sus derivados en los costarricenses. *Agronomía Mesoamericana*. 19(2):241-250.
- CHÁVES Q. 2005. Calidad y consumo de mezclas de *Cratylia argentea* y Sorgo Forrajero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) con y sin melaza, ensiladas en bolsas plásticas. Tesis de licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 56 p.
- ELIZONDO J. 2002. Estimación lineal de los requerimientos nutricionales del NRC para cabras. *Agronomía Mesoamericana*. 13(2):159-163.
- ELIZONDO J. 2004a. Calidad nutricional y consumo de morera (*Morus alba*), ramio (*Bohemeria nivea* (L) GAUD) y sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*) en cabras. *Agronomía Mesoamericana*. 15(2):209-213.
- ELIZONDO J. 2004b. Consumo de sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*) en cabras. *Agronomía Mesoamericana*. 15(1):77-80.
- ELIZONDO J. 2005. Calidad y consumo de sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*), ramio (*Bohemeria nivea* (L) Gaud) y mezcla de ambos. *Pastos y Forrajes*. 28(3):247-252.
- FORBES J. 1995. Ruminant gastrointestinal tract. In: Voluntary food intake and diet selection in farm animals. Forbes, J. (Ed). CAB International, Wallingford. pp 59-80.
- GOERING H., VAN SOEST P. 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agricultural Handbook N° 379*. ARS-USDA, Washington, D.C. 76 p.
- GOESTCH A.L., GIPSON T.A., ASKAR A.R., PUCHALA R. 2010. Invited review: Feeding behavior of goats. *J. Anim. Sci.* 88:361-373.
- HERRERA H., VARGAS F., BOSCHINI C., CHACÓN A. 2009. Variación bromatológica de la leche de cabras LaMancha alimentadas con diferentes forrajes. *Agronomía Mesoamericana*. 20(2):381-390.
- HRISTOV A., PRICE W., SHAFII B. 2004. A meta analysis examining the relationship among dietary factors, dry matter intake and milk protein yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:3052-3062.
- LAHR D.A., OTTERBY D.E., JOHNSON D.G., LINN J.G., LUNDQUIST R.G. 1983. Effects of moisture content of complete diets on feed intake. *J. Dairy Sci.* 66:1891-1900.
- MCDONALD P., EDWARDS R.A., GREENHALGH J.F., MORGAN C.A. 2002. *Animal Nutrition*. 6th edition. Prentice Hall. 693 p.
- MORAND-FEHR P. 1981. Nutrition and feeding of goats: Application to temperate climatic conditions. In: Goat production. (Ed. C. Gall). Academic Press, Inc. NY, USA. p. 193.
- OVIDIO F., BENAVIDES J., VALLEJO M. 1995. Evaluación bioeconómica de un módulo agroforestal con cabras en el trópico húmedo. In: Sistemas tradicionales y agroforestales de producción caprina en América Central y República Dominicana. Benavides, J. (ed). CATIE. Turrialba, Costa Rica. 211 p.

- PASHA T., PRIGGE E., RUSSEL R., BRYAN W. 1994. Influence of moisture content of forage diets on intake and digestion by sheep. *J. Anim. Sci.* 72:2455-2463.
- RODRÍGUEZ Z. 1989. Producción de leche de cabras alimentadas con dos especies forrajeras arbóreas: poró (*Erythrina poeppigiana*) y madero negro (*Gliricidia sepium*) suplementadas con plátano pelipita (*Musa sp.* Cv. 'Pelipita'). Tesis de licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 75 p.
- SAS (Statistical Analysis System). 2001. SAS User's Guide: Statistics (Versión 8.2 Ed.), SAS Institute Inc. Cary, NC. 373 p.
- SAMUR C. 1984. Producción de leche de cabras alimentadas con king grass (*Pennisetum purpureum*) y poró (*Erythrina poeppigiana*), suplementadas con fruto de banano (*Musa sp.* Cv. 'Cavendish'). Tesis de maestría en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 51 p.
- SANDS M.W. 1983. Consumo de arbustos por los caprinos. In: Curso intensivo de producción caprina. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 87 p.
- VALLEJO M., LAPOYADE N., BENAVIDES J. 1992. Evaluación de la aceptabilidad de forrajes arbóreos por cabras estabuladas en Puriscal, Costa Rica. In: I Seminario Centroamericano de Agroforestería y Rumiantes Menores. Chiquimulas, Guatemala. 98 p.
- VALLEJO M.A. 1995. Efecto del premarchitado y la adición de melaza sobre la calidad del ensilaje de diferentes follajes de árboles y arbustos tropicales. Tesis de maestría Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. Costa Rica. 115 p.
- VAN HAO N., LEDIN I. 2001. Performance of growing goats fed *Gliricidia Maculata*. *Small. Rumin. Res.* 39:113-119.
- VARGAS F. 2009. Consumo y calidad del forraje *Trypsacum laxum* de un año de edad en cabras. *Agronomía Mesoamericana.* 20(2):391-398.

FENOLOGÍA, PRODUCCIÓN Y VALOR NUTRITIVO DEL PASTO ALPISTE (*phalaris arundinacea*) EN LA ZONA ALTA LECHERA DE COSTA RICA

Luis Villalobos*

Palabras clave: Producción de materia seca, estado fenológico, pastos clima templado, *Phalaris arundinacea*.
Keywords: Dry matter yield, phenological stage, utilization, temperate climate grasses, *Phalaris arundinacea*.

Recibido: 27/09/11

Aceptado: 11/01/12

RESUMEN

Se evaluó la producción de biomasa, el valor nutricional y la fenología del pasto alpiste (*Phalaris arundinacea*) con 3 edades de cosecha (49, 70 y 91 días), a lo largo de año y medio, en una finca comercial de ganado lechero ubicada en Santa Rosa de Oreamuno, provincia de Cartago. La producción de biomasa promedio para el pasto alpiste fue 3101 kg.ha⁻¹.corte⁻¹ de MS. La composición nutricional promedio fue de 17,77% PC, 55,89% FDN, 35,93% FDA, 4,14% lignina y 66,87% DIVMS y su contenido energético expresado como TND, ED, EM, EN_L (3X) y EN_G fue 63,07%, 2,76; 2,13; 1,31 y 0,81 Mcal.kg⁻¹ de MS, respectivamente. Se comparó el fraccionamiento de la PC de los pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) con la del pasto alpiste, con el que las especies de clima templado presentan un aporte principalmente de la fracción insoluble degradable (B₂+B₃), mientras el estrella africana lo hace a nivel de la fracción degradable (A+B₁). La edad fenológica promedio del pasto alpiste fue 5,96 hojas verdes por rebrote y su edad debe encontrarse entre 5 y 6 hojas para optimizar su producción de biomasa y valor nutricional. El pasto alpiste se ha utilizado en diversas fincas de ganado de leche y ha adquirido importancia como una opción que puede soportar las

ABSTRACT

Phenology, yield and nutritional value of reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) in dairy farms in the highlands of Costa Rica.

Dry matter yield, nutritional value and phenology of reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) were evaluated with three harvest ages (49, 70 and 91 days), during a year and a half, in a commercial dairy farm in the district of Santa Rosa de Oreamuno, Cartago Province. Average dry-matter yield was 3101 kg.ha⁻¹.regrowth⁻¹ period. Average nutritional value was 17.77% CP, 55.89% NDF, 35.93% ADF, 4.14% lignin and 66.87% IVDMD on dry-matter basis. Estimated energy content expressed as TDN, DE, ME, NE_L (3X) and NE_G was 63.07%, 2.76, 2.13, 1.31 and 0.81 Mcal.kg⁻¹ of DM, respectively. CP fractioning of African star grass (*Cynodon nlemfuensis*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*), were compared with that of reed canary grass; the main contribution was obtained from the insoluble degradable fraction (B₂+B₃) in the temperate species, while african star grass had a higher contribution from the degradable fraction (A+B₁). Average phenological stage of reed canary grass was 5.96 green leaves per regrowth and its leaf stage must be 5 to 6 leaves to optimize dry matter yield and nutritional value. Reed canary grass has been used in several dairy

* Centro de Investigaciones en Nutrición Animal y Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica.

San José, Costa Rica. Correo electrónico: luis.villalobosvillalobos@ucr.ac.cr

condiciones climatológicas de las regiones altas de Costa Rica; asimismo, ya hay empresas que importan semilla sexual de dicha especie.

farms and has gained importance as an option that can withstand the weather conditions in the highlands of Costa Rica; also, there are already companies importing sexual seed of this species.

INTRODUCCIÓN

El género *Phalaris* comprende alrededor de 15 especies de pastos anuales y perennes nativos de la zona templada del Norte con unos pocos en Suramérica, asimismo pertenece a la subfamilia Pooideae y se considera relacionado de forma cercana con *Hierochloë* del cual difiere en que sus flores de reducido tamaño son más bajas (Pohl 1980). Dos de las principales especies pertenecientes a este género son el *Phalaris canariensis* y el *Phalaris arundinacea*, el primero es el “alpiste” utilizado comúnmente en alimentación de aves y el segundo es el pasto sobre el cual se basó la presente investigación y el cual es conocido como pasto alpiste.

De acuerdo con Pohl (1980) el *Phalaris arundinacea* es una forma estéril del “reed canary grass”, dicho autor es quién lo reporta por primera vez en Costa Rica como ornamental en Los Yoses, Cantón de Montes de Oca. En el 2007 se identificó su presencia en la finca del presente estudio, gracias al interés mostrado por el dueño de la finca por medio de la recolección de inflorescencias y su posterior identificación en el herbario de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica.

El pasto alpiste se ha utilizado bajo un sistema de corte y acarreo en dicha finca y se menciona por parte del dueño como causa probable de su aparición el arrastre de semillas proveniente de fincas vecinas por lixiviación, asimismo ha mostrado ser agresivo ya que ha desplazado al pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) que era la especie predominante en los potreros (Coto A. 2007. Comunicación personal).

De acuerdo con Chalupa et al. (1961) el pasto alpiste, es una especie altamente adaptable bajo diversas condiciones, es comúnmente encontrado en zonas con altas precipitaciones donde el suelo permanece húmedo la mayor parte del año. Debido a esto su crecimiento y producción está altamente relacionado con la distribución de las lluvias pues ha llegado incluso a un estado de latencia en períodos de poca precipitación y persistencia de hasta 5 años sin necesidad de resiembra en clima templado (Clark y Pohl 1996).

Uno de los principales usos que se le ha dado al pasto alpiste es para la producción de heno, sin embargo también se ha utilizado bajo sistemas de pastoreo con bovinos de leche y carne y bajo sistemas de corte y acarreo en ovejas y cabras (Chalupa et al. 1961, Archibald et al. 1962).

El manejo agronómico de las pasturas debe buscar el momento óptimo de cosecha para asegurar un material de alto valor nutricional que sea aprovechado por los hatos de alto potencial productivo (Cherney et al. 1993), con especies de clima templado se han desarrollado metodologías relacionadas con la fenología de la planta y los cambios relativos a nivel nutricional (Fulkerson y Donaghy 2001). Dichas metodologías han sido empleadas en condiciones tropicales de altura con dichas especies y han probado ser una buena herramienta para evaluar el momento óptimo de pastoreo (Villalobos y Sánchez 2010a, Andrade 2006).

El objetivo de la presente investigación fue estimar la producción de biomasa, el valor nutricional y la edad fenológica del pasto *Phalaris arundinacea* bajo un sistema de corte con 3 edades de cosecha en una finca productora

de leche ubicada en la zona de influencia del Volcán Irazú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en una finca comercial productora de leche ubicada en el distrito de Santa Rosa, Oreamuno, Cartago, ubicado en la sección Oriental del Valle Central (latitud 09°54', longitud 83°49', altitud 1976 msnm) a una altitud de 2000 msnm. Dicha zona tiene influencia climática del Caribe y se clasifica como bosque húmedo tropical premontano (Holdridge 1947, citado por Janzen 1991), su precipitación promedio anual es de 2239 mm, la temperatura mínima y máxima promedio son 13,4°C y 23,3°C respectivamente y presentan pocas variaciones durante el año, el brillo solar tiene en promedio 5,5 h.día⁻¹ y la velocidad promedio del viento 24,4 km.h⁻¹ (Retana 2011).

Se realizó un análisis de suelo en las parcelas y se encontró contenidos minerales propios para un suelo de origen volcánico (andisol), las bases mostraron valores medios a bajos (4,26; 0,66 y 0,11 cmol(+).ml⁻¹ de Ca, Mg y K respectivamente) pero la acidez y el pH fueron normales sin llegar a valores encima de los recomendados (Bertsch 1998).

El terreno donde se realizó el estudio se encontraba previamente establecido con el pasto alpiste que invadió de forma gradual espacios previamente ocupados por el pasto kikuyo principalmente (Coto A. 2007. Comunicación personal). Debido a que el terreno escogido para el desarrollo del presente estudio contaba con fertilización rutinaria, las evaluaciones se hicieron sin tomar en cuenta fertilización por lo cual los resultados presentados sirven como base para ampliar conocimientos que incluyen el efecto de la fertilización sobre el pasto en un estudio posterior; además se debió realizar un corte de uniformización de las parcelas experimentales. El terreno utilizado es bordeado de forma cercana por un canal de riego de purines provenientes del corral de estabulación y la sala de ordeño lo cual, aunque no es dirigido al terreno donde se

ubicaron las parcelas, si reciben un aporte importante en la época semi-lluviosa.

Se contó con 3 tratamientos experimentales que consistieron en las edades de cosecha evaluadas (T1=49, T2=70 y T3=91 días) cada una con 4 repeticiones para un total de 12 parcelas experimentales asignadas aleatoriamente cada una con un área promedio de 9,6 m². La escogencia de las edades de cosecha se basó en la edad máxima a la que se utiliza el pasto en la finca y de ahí se tomó 2 edades menores para evaluar la conveniencia de uso a diferentes períodos de recuperación; el T2 es cercano a la edad en que se cosecha el pasto normalmente en la finca.

Se realizaron 6 muestreos por tratamiento a lo largo de año y medio (2008 y mitad del 2009). En cada una de las parcelas se cosechó todo el material disponible, se pesó en fresco para obtener el rendimiento por área y de éste se tomó una muestra representativa por medio de la técnica de cuarteo para realizar los análisis nutricionales.

Se determinó el contenido de materia seca (MS) y proteína cruda (PC) (AOAC 1990), extracto etéreo (EE) y cenizas (AOAC 2000), las fracciones de la pared celular (FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina) y la digestibilidad "in vitro" de la materia seca (DIVMS) (Van Soest y Robertson 1985). Se determinó el fraccionamiento de la proteína del pasto alpiste, estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) con la finalidad de comparar sus diferentes fracciones con base en el procedimiento descrito por Licitra et al. (1996). La energía con sus diferentes expresiones (TND, ED, EM, EN_L 3X y EN_G) se estimó al emplear las metodologías descritas en el NRC (2001). Las muestras de pasto estrella africana fueron cosechadas por medio de la simulación del pastoreo (a una altura de 10 cm sobre el suelo) en fincas ubicadas en la zona de Monteverde, Puntarenas y que manejan programas de fertilización establecidos con dosis anuales de 250 kg.ha⁻¹ de N, 113 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 10 kg.ha⁻¹ de K₂O, 17 kg.ha⁻¹ de MgO, 12 kg.ha⁻¹ de S, 10 kg.ha⁻¹ de CaO y 0,72 kg.ha⁻¹ de Zn.

La edad fenológica del pasto alpiste se evaluó por medio del conteo del número de hojas vivas con 10 observaciones por parcela (40/tratamiento) para un total de 72 evaluaciones realizadas (n=720 observaciones).

La información obtenida para las variables dependientes producción de biomasa, calidad nutricional y edad fenológica se sometió a un análisis de regresión lineal siguiente modelo con el objeto de buscar efectos significativos ($p \leq 0,05$):

VARIABLES ANALIZADAS = $\mu + \text{Edad}_i + e_i$

μ = media de las variables estudiadas

Edad = i-ésimo efecto de las edades de cosecha

e = residuales del modelo

Se aplicó la prueba de Duncan para establecer diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre medias en las edades de cosecha para todas las variables.

Cuadro 1. Producción de biomasa del pasto *Phalaris arundinacea* con 3 edades de cosecha en el distrito de Santa Rosa de Oreamuno, Cartago.

Edad de cosecha (días)	Cosechas anuales	Producción de biomasa (kg.ha ⁻¹ .cosecha ⁻¹ de MS)	Producción de biomasa anualizada (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹ de MS)	Carga animal estable (U.A.ha ⁻¹)
49	7,45	2035,50 ^b	15 162	4,15
70	5,21	3453,70 ^a	18 009	4,93
91	4,01	3847,60 ^a	15 433	4,27
Promedio ¹	5,56	3101,91	16 201	4,45

^{a,b} medias con letras diferentes en una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$).

¹ Valores corresponden al promedio de 48 muestras.

La producción anual permite determinar la carga animal que un pasto puede soportar ya sea en pastoreo o en corte; en el caso del pasto alpiste se pudo observar que con edades de 91 días su producción promedio fue mayor, sin embargo con edades de 70 días se obtienen más cosechas anualmente y finalmente repercute en una producción anual mayor (Figura 1).

De acuerdo con la definición de Mandaniz et al. (2005) de que una unidad animal, equivalente a una vaca de 500 kg no gestante, debe consumir 10 kg.día⁻¹ de MS, se estimó la carga animal estable que podría soportar el pasto

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de biomasa

La producción de biomasa mostró diferencias altamente significativas por resultado de la edad de cosecha ($p \leq 0,0001$), ya que al incrementar los días de recuperación del pasto, su producción fue mayor (Cuadro 1). La producción de biomasa promedio fue de 3101 kg.ha⁻¹ de MS, valor menor al encontrado por Villalobos y Sánchez (2010a) y Andrade (2006) para los pastos ryegrass y kikuyo con 4110 y 7238 kg.ha⁻¹ de MS respectivamente en pastoreo. Araya y Boschini (2005) encontraron valores promedio entre 4658 a 15 262 kg.ha⁻¹ de MS en 5 cultivares de *Pennisetum purpureum* cosechados con edades entre 70 y 140 días de rebrote.

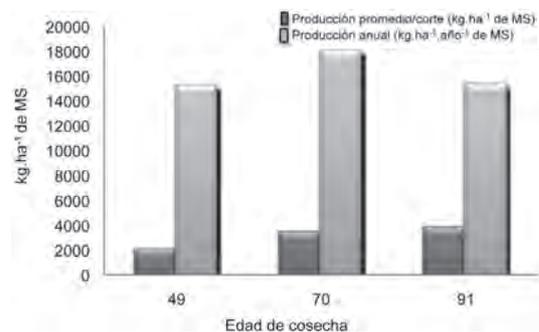


Fig. 1. Producción de biomasa del pasto *Phalaris arundinacea* con 3 edades de cosecha en el distrito de Santa Rosa de Oreamuno, Cartago.

alpiste bajo un sistema de corte y acarreo y se puede ver como el T2 es el que puede soportar una mayor carga animal debido a que se pueden obtener más cosechas anualmente en comparación con el T3 (Cuadro 1). Con base en la estimación de la capacidad de carga, se podría decir que la biomasa adicional que produce el pasto alpiste cosechado con edades de rebrote superiores a 70 días, no se justifica pues no permite mantener una carga animal superior durante el año.

Valor nutricional

El contenido de MS promedio del pasto alpiste fue de 17,20% y no mostró diferencias significativas entre las diferentes edades de cosecha

(Cuadro 2). Araya y Boschini (2005) encontraron en cultivares de *Pennisetum purpureum* sometidos a corte valores entre 17,17 a 21,04% de MS mientras que Villalobos y Sánchez (2010b) encontraron en el pasto ryegrass perenne bajo pastoreo un valor promedio de 15,92% de MS, por lo tanto se puede ver que el pasto alpiste presenta valores intermedios entre lo que normalmente se puede encontrar en especies comúnmente utilizadas para corte y levemente superiores a las de especies de pasto de piso. Chacón y Vargas (2010) encontraron en pasto *Pennisetum purpureum* cv. king grass cosechado de 60 a 90 días valores entre 13,03 a 14,43% MS, lo cual es inferior a los valores encontrados para el pasto alpiste.

Cuadro 2. Contenido de humedad, materia seca, proteína cruda, extracto etéreo y cenizas del pasto *Phalaris arundinacea* con 3 edades de cosecha en el distrito de Santa Rosa de Oreamuno, Cartago.

Edad (días)	Humedad (%)	Materia seca (%)	Proteína cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)
49	82,12	17,88	19,47 ^a	3,63	11,06
70	83,32	16,68	17,14 ^b	3,37	10,60
91	82,98	17,02	16,65 ^b	3,34	10,39
Promedio ¹	82,80	17,20	17,77	3,47	10,75

^{a,b} medias con letras diferentes en una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$).

¹ Valores corresponden al promedio de 48 muestras.

El manejo que se le ha dado al pasto alpiste en la finca donde se realizó el estudio, comprende un proceso de marchitamiento leve, de tal forma que tenga una mayor concentración de la MS. En los sistemas de corte-acarreo utilizados en las fincas normalmente se debe organizar las labores de tal forma que los animales tengan una ración lo más constante posible que no afecte el rendimiento productivo pues cualquier cambio por pequeño que parezca puede afectar el consumo del grupo y, por tanto, su productividad.

El contenido de PC promedio del pasto alpiste fue 17,77% y se vio afectado de forma significativa ($p \leq 0,0001$) por la edad de cosecha en donde el T1 mostró el contenido proteico mayor. Araya y Boschini (2005) encontraron para cultivares de *Pennisetum purpureum* contenidos de

PC entre 9,08 y 11,14%, valores que son cercanos a la mitad de los encontrados en el pasto alpiste; por su parte Chacón y Vargas (2010) encontraron una leve disminución en el contenido de PC del pasto king grass de 9,56 a 8,42% al aumentar la edad de corta de 60 a 90 días.

Los pastos de piso de clima templado (C_3) pueden alcanzar contenidos de PC mayores al 20% tal como sucedió con el pasto ryegrass perenne que ha mostrado valores promedio de 25,21% con periodos de recuperación promedio de 37 días (Villalobos y Sánchez 2010b). En el caso del pasto kikuyo, Andrade (2006) encontró un valor promedio de 22,38% PC con una edad de cosecha de 28 días promedio. El pasto alpiste es una especie de pasto de clima templado que se utiliza bajo un sistema de corte-acarreo y se

puede ver que a pesar de manejarse con edades de cosecha superiores a las edades manejadas en pastoreo, su contenido de PC disminuye menos de 2%. Maya et al. (2005) encontraron en el pasto estrella solo y en asociación con *Leucaena leucocephala*, una marcada tendencia a disminuir el contenido de PC conforme se aumentó la edad de corte.

En la Figura 2 se muestra la extracción de nitrógeno del pasto alpiste anualmente bajo las 3 edades de cosecha, se puede observar que el T2 es el que más extrae debido a su mayor producción de biomasa y su contenido proteico promedio que llegó a valores superiores a los 400 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de N. Chalupa et al. (1961) analizaron el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el valor nutricional del pasto alpiste para la producción

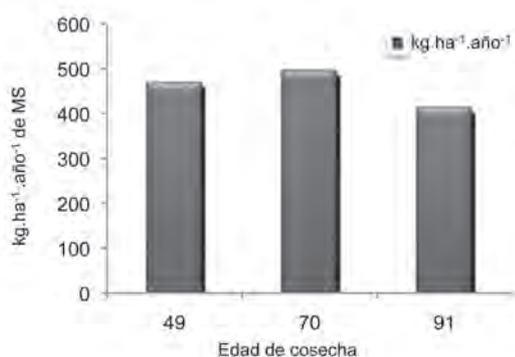


Fig. 2. Extracción de nitrógeno del pasto *Phalaris arundinacea* con 3 edades de cosecha en el distrito de Santa Rosa de Oreamuno, Cartago.

de heno y el balance de N en novillas Holstein alimentadas con dicho forraje, y se encontró que al incrementar la dosis de fertilización de 0 a 114 y 227 kg.ha⁻¹.año⁻¹ se incrementó el contenido de proteína (PC), extracto etéreo (EE) y energía bruta (EB) mientras la fibra cruda (FC) y el extracto libre de nitrógeno (ELN) disminuyeron. Como se puede ver el pasto alpiste tiene una alta capacidad de absorción de N lo cual permite que el valor nutricional del pasto sea mayor y una alta capacidad de producir biomasa asociada con dicho nutriente.

El contenido promedio de extracto etéreo y cenizas fueron 3,47 y 10,75% y ambos no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos por lo que la edad de corte no afecta dichos componentes en el pasto alpiste (Cuadro 2), el mismo comportamiento fue encontrado por Maya et al. (2005) con el pasto estrella cosechado a 3 diferentes edades, donde el contenido de EE y cenizas no mostró diferencias significativas conforme se incrementó la edad de corte.

De acuerdo con Licitra et al. (1996) la separación de la proteína y las fracciones de nitrógeno usados por el modelo de carbohidratos y proteína neta de la Universidad de Cornell comprende 5 fracciones denotadas como A, B₁, B₂, B₃ y C (Cuadro 3). La fracción A representa la fracción de nitrógeno no proteico mientras que la proteína verdadera se separa en B₁, B₂, B₃ basadas en su orden decreciente de solubilidad a nivel ruminal y la fracción C representa la parte

Cuadro 3. Fraccionamiento de la proteína de los pastos estrella africana, ryegrass tetraploide y alpiste forrajero.

Pasto	PC (%)	Fraccionamiento de la proteína ¹ (% de la PC)				
		A	B ₁	B ₂	B ₃	C
Estrella africana ²	20,38	7,93 (38,52)	1,44 (7,79)	2,51 (12,14)	5,38 (26,71)	3,12 (14,84)
Ryegrass perenne tetraploide ³	24,25	2,94 (12,20)	1,54 (6,35)	6,65 (27,63)	7,83 (31,77)	5,29 (22,05)
Alpiste forrajero ⁴	19,28	5,03 (25,83)	1,52 (7,79)	7,57 (39,39)	3,69 (19,32)	1,47 (7,67)

¹ Valores porcentuales de la PC entre paréntesis.

² 8 muestras 25 días de recuperación.

³ 11 muestras 45 días de recuperación.

⁴ 16 muestras 70 días de recuperación.

insoluble en solución ácida detergente y que se asume como no digestible por los rumiantes.

En este proyecto de investigación se decidió analizar el fraccionamiento de proteína de una parte de las muestras recolectadas del pasto alpiste con edades de 70 días así como muestras con las que se contaba de custodia de pasto estrella africana y ryegrass perenne tetraploide. De acuerdo con Elizalde et al. (1999), debido a que las fracciones de PC difieren en la tasa y grado de degradación ruminal, las proporciones de cada fracción presentes en los alimentos para animales se considera que influyen sobre las cantidades degradadas en rumen y PC no aprovechable consumida por el animal.

Se encontró valores para la fracción de nitrógeno no proteico (NNP=A) entre 12,20-38,52% de la PC para las 3 especies de pastos (Cuadro 3). WingChing y Rojas (2006) evaluaron el efecto de la fuente y la dosis de fertilizante nitrogenado sobre el fraccionamiento proteico del sorgo negro con cobertura permanente de maní forrajero y encontraron para la fracción A un valor entre 5,76-9,14% de la PC total, dichos valores son inferiores a los encontrados en la presente investigación. En especies forrajeras de clima templado se han encontrado valores de la fracción A entre 21,8-23,4% de la PC, con mayor contenido en alfalfa (*Medicago sativa*) y menor en el pasto festuca (*Festuca arundinacea*) infectado con endófito (*Acremonium coenophialum*), dichos valores son muy cercanos entre sí, a diferencia de lo mostrado en la presente investigación (Elizalde et al. 1999).

En el caso del pasto estrella, fue el que presentó el valor de la fracción A mayor, ya que mostró contenidos entre 25-60% de la PC, esto coincide con lo mostrado por Johnson et al. (2001) con la misma especie con 27,9% y con el pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) con 31,0% de la PC; por esto se menciona a las especies de pastos tropicales como capaces de favorecer la producción de proteína microbiana si se complementan con una fuente de carbohidratos no fibrosos que sean rápidamente degradables en el rumen.

La fracción B₁ mostró valores muy cercanos en las 3 especies y con poca variación (6,35-7,79% de la PC), valores similares a los encontrados por WingChing y Rojas (2006) para el sorgo negro con cobertura vegetal (4,03-6,09% de la PC); mencionan los autores que dicha fracción es poco importante en los forrajes tropicales pues su concentración es menor al 10% de la PC lo cual coincide con lo encontrado en la presente investigación incluso en 2 especies de pastos de clima templado. Elizalde et al. (1999) encontraron una proporción mayor de la fracción B₁ en la alfalfa que en los pastos bromus (*Bromus biebersteinii*) y festuca libre y con endófito (17,1; 12,1; 13,2 y 14,5% de la PC respectivamente), lo cual a su vez explicó el contenido mayor de N soluble o PC degradable en rumen (A+B₁) de la primera.

Los animales rumiantes tienen la capacidad de producir proteína microbiana a partir del nitrógeno presente en los alimentos y la determinación del fraccionamiento de la proteína busca facilitar las prácticas de alimentación según el forraje que se utilice, sin embargo el método no es específico ni tiene límites definidos precisamente para las fracciones que se han mencionado, es por esto que se considera que hay fracciones que comparten características y que los animales aprovechan similar. Esto reduce las fracciones de 5 a 3, las cuales son la proteína degradable (A+B₁), insoluble aprovechable (B₂+B₃) e indigerible (C) (Figura 3).

En la Figura 3 se muestra en términos porcentuales las fracciones degradable, insoluble aprovechable e indigerible para las 3 especies de pastos, se puede ver la importancia de la fracción degradable en rumen del pasto estrella con un valor de 46,31% de la PC. En los pastos ryegrass perenne y alpiste forrajero la fracción insoluble aprovechable es la de mayor importancia. En términos de las prácticas de alimentación, el pasto estrella puede favorecer la producción de proteína microbiana y en el caso de los pastos ryegrass perenne y alpiste forrajero su aporte de nutrientes tiene mayor importancia a nivel intestinal por las características de sobrepaso de las fracciones B₂

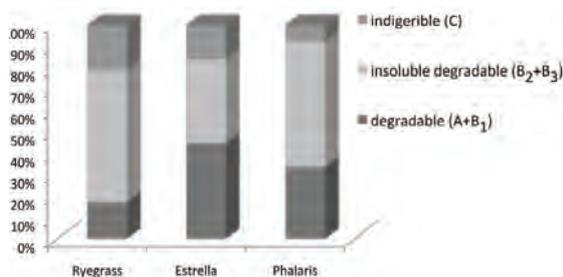


Fig. 3. Fraccionamiento de la proteína cruda de los pastos estrella africana, ryegrass perenne y alpiste forrajero en términos de degradabilidad.

y B₃ y por tanto se debe buscar el uso de carbohidratos de más lenta liberación (almidones) en la suplementación pues si se brinda fuentes de carbohidratos rápidamente degradables no serán aprovechados a nivel ruminal para la producción proteica microbial.

Elizalde et al. (1999) para especies de clima templado, encontró valores entre 35,1-40,5% degradable en rumen de la PC, valores superiores a los del pasto ryegrass perenne y el pasto alpiste con 18,55 y 33,62% de la PC.

La fracción B₂ mostró valores entre 12,14-39,39% de la PC, los valores menor y mayor fueron de estrella y alpiste forrajero respectivamente y el ryegrass mostró un valor intermedio de 27,63%. El alpiste forrajero tiene potencial de incrementar los rendimientos del animal con su aporte de una parte importante del N a nivel intestinal (sobrepaso), el pasto estrella por su parte tiene un contenido menor de dicha fracción de proteína verdadera, razón por la cual es importante el uso de fuentes de carbohidratos no fibrosos en la dieta de las vacas en producción para hacer un uso más eficiente del N soluble en rumen para producir proteína microbial que pase al intestino y sea utilizada por el animal.

La fracción B₂ ha mostrado ser la de mayor importancia en especies de clima templado, pues mostró valores de 42,6% en bromus hasta 51,6% de la PC en alfalfa (Elizalde et al. 1999). Archibald et al. (1962) encontraron un alto contenido de proteína en heno de pasto alpiste (21,3%) y un alto porcentaje mostró ser proteína verdadera

(15,8% o 74,1% del total). El contenido tan alto de proteína en el pasto se debió, de acuerdo con los autores, a que el terreno recibía nutrientes por efecto de lixiviación de otros terrenos cercanos.

La fracción B₃ mostró un rango menor entre las 3 especies de pastos (19,32-31,77% de la PC), dichos valores son menores en términos porcentuales a los encontrados por WingChing y Rojas (2006) para el sorgo negro forrajero (40,66-43,91% de la PC) pues esta fracción fue la más importante para dicho pasto, lo mismo sucedió en la presente investigación con el pasto ryegrass perenne con 31,77% de la PC por lo que se puede ver como las 2 especies de pastos de clima templado tienen una alta proporción de su N en forma de proteína verdadera a diferencia del pasto estrella en el que la fracción A es la de mayor importancia (Figura 3).

La fracción C representa el N no disponible o ligado a la pared celular y que sobrepasa rumen e intestino y por lo tanto no es aprovechable por el animal, en el caso de la presente investigación el rango en las 3 especies fue de 7,67% para el alpiste forrajero a 22,05% de la PC para el pasto ryegrass perenne, este último presenta un valor mayor debido a que la edad de cosecha fue mayor (45 días) que la del pasto estrella y alpiste (25 y 70 días respectivamente) lo cual coincide con lo encontrado por Elizalde et al. (1999) donde la fracción C incrementó conforme aumentaban los días de cosecha pero no se vio afectado por la especie de forraje. WingChing y Rojas (2006) encontraron en el sorgo negro que entre 18,48-18,96% de la PC lo representa la fracción C, dicha proporción es superior a la hallada por Elizalde et al. (1999) en especies de clima templado (1,0-6,6% de la PC).

El contenido de FDN promedio en el pasto alpiste fue de 55,89% y aumentó de forma significativa ($p < 0,05$) posterior a los 70 días de cosecha (Cuadro 4). Maya et al. (2005) encontraron un aumento en el contenido de FDN del pasto estrella africana que pasó de 65,78 a 76,92% en edades de 28 y 35 días respectivamente y una leve disminución con 42 días debido a la morfología del pasto que genera rebrotes laterales con hojas

Cuadro 4. Contenido de los componentes de la pared celular y digestibilidad del pasto alpiste con 3 edades de cosecha en el distrito de Santa Rosa de Oreamuno, Cartago.

Edad (días)	FDN (%)	FDA (%)	Lignina (%)	Hemicelulosa (%)	Celulosa (%)	DIVMS (%)
49	53,18 ^b	34,60	3,78	18,79	31,04	70,55 ^a
70	57,77 ^a	36,86	4,26	20,91	32,59	65,95 ^b
91	56,76 ^a	36,36	4,42	20,16	32,34	63,38 ^b
Promedio ¹	55,89	35,93	4,14	20,01	32,01	66,87

^{a,b} medias con letras diferentes en una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$).

¹ Valores corresponden al promedio de 48 muestras.

nuevas; este mismo comportamiento se puede atribuir al pasto alpiste debido a su alta capacidad de desarrollo lateral, razón que explica su rápido establecimiento en las fincas donde se maneja.

Chacón y Vargas (2010) encontraron que el king grass aumenta su contenido de FDN de 73,78 a 76,91% con edades de corta de 60 y 90 días respectivamente, dichos valores son superiores a los encontrados en el pasto alpiste, mientras que Villalobos y Sánchez (2010b) encontraron para el pasto ryegrass perenne un valor de FDN promedio de 49,76% con edades de cosecha máximas de 45 días; este último valor es más cercano a lo encontrado en la presente investigación y coincide con lo encontrado por Elizalde et al. (1999) con valores de FDN entre 50,1-51,2% para el pasto bromus y festuca.

Se sabe que la fibra de la ración debe ser aprovechable por los microorganismos del rumen y esto es a su vez un indicador del valor nutricional de cualquier forraje, sin embargo en estudios realizados con animales, se encontró una disminución en la digestibilidad aparente de la fibra conforme se aumentó las dosis de fertilización nitrogenada (Chalupa et al. 1961). El contenido de fibra detergente neutro (FDN) de un pasto no debe ser menor de 40% y no más de 55% de la MS para facilitar el balance de las raciones del ganado lechero; dicho valor puede ser alcanzado con especies de clima templado a través de un adecuado manejo, en especies de pastos tropicales puede ser más difícil lograrlo debido a su contenido mayor de pared celular como adaptación para el clima caliente del trópico (Cherney et al. 1993). Con base en lo anterior, se puede ver que

el pasto alpiste tiene un contenido de FDN que tiene potencial para dar una adecuada respuesta productiva por el ganado de leche que lo consume sin afectar el consumo de MS por efecto de llenado físico.

Los demás componentes de la pared celular mostraron valores promedio de 35,93; 20,01; 32,01 y 4,14% de la MS para FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina respectivamente y no se vieron afectados ($p < 0,05$) por la edad de cosecha. En el pasto ryegrass perenne, Villalobos y Sánchez (2010b) han encontrado valores de FDA de 25,57%, valor que es 10 unidades porcentuales menor que el alpiste, esto a su vez coincide con Elizalde et al. (1999) con valores entre 24,4-26,9% de la MS.

Al considerar los demás componentes de la FDN en el pasto alpiste, se puede ver como la hemicelulosa mostró valores inferiores a lo reportado para especies de clima templado, mientras que la celulosa por el contrario fue superior en más de 10% (Villalobos y Sánchez 2010b, Elizalde et al. 1999). La lignina es un constituyente de la pared celular que limita el acceso de los microorganismos del rumen a los nutrientes intracelulares, lo cual se manifiesta en una reducción en su digestibilidad, por lo que en el pasto alpiste a pesar de que su aumento no fue estadísticamente significativo ($p < 0,05$), podría limitar la digestibilidad de la pared celular si no se manejan adecuadas edades de cosecha. Archibald et al. (1962) encontraron una correlación negativa y altamente significativa ($r = -0,54$, $p < 0,01$) entre el contenido de lignina y la digestibilidad de la materia seca en henos de pasto alpiste y alfalfa.

Chacón y Vargas (2010) analizaron el contenido de la pared celular del king grass y dentro de sus componentes la lignina es fundamental como indicador de digestibilidad para lo cual encontraron valores entre 12,15-13,59% para las edades de corta de 60 y 90 días respectivamente, dichos valores son superiores a los mostrados por especies de clima templado como el ryegrass perenne (3,29%), bromus (1,69%), festuca (1,61%) (Villalobos y Sánchez 2010b, Elizalde et al. 1999).

La digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) promedio del pasto alpiste fue 66,87% y mostró una disminución significativa ($p < 0,05$) al aumentar la edad de cosecha (Cuadro 4). Maya et al. (2005) analizaron el comportamiento del pasto estrella solo y con Leucaena en asociación a diferentes edades de cosecha y conforme se incrementó los días de rebrote la digestibilidad disminuyó de forma significativa ($p < 0,05$), efecto asociado principalmente al aumento en el contenido de FDN, comportamiento similar al mostrado en el pasto alpiste donde las edades de cosecha de 70 y 91 días fueron las que mostraron valores inferiores resultado del aumento en pared celular.

El valor de DIVMS del pasto alpiste es inferior al mostrado por especies de pastos de clima templado utilizados en condiciones tropicales de altura como el ryegrass perenne con 77,95% (Villalobos y Sánchez 2010b) y muy cercanos al de especies tropicales de altura como el kikuyo con 65,43% (Andrade 2006).

El pasto alpiste presentó una disminución en su contenido de energía conforme se incrementó la edad de cosecha (Cuadro 5). Las diferentes fracciones energéticas analizadas mostraron valores promedio de 63,07% y 2,76; 2,13; 1,31 y 0,81 Mcal.kg⁻¹ de MS para el total de nutrientes digestibles, energía digestible, metabolizable, neta de lactancia y neta de ganancia respectivamente. Chalupa et al. (1961) encontraron valores de TND y ED de 55,91% y 2,48 Mcal.kg⁻¹ de MS para el pasto alpiste sin recibir fertilización nitrogenada; por su parte Maya et al. (2005) encontraron en el pasto estrella valores de energía metabolizable cada vez menores al incrementar la edad de cosecha de 28 a 42 días, al pasar de 2,22 a 1,92 Mcal.kg⁻¹ de MS, dichos valores son inferiores a los encontrados en la presente investigación para el pasto alpiste, lo cual permite que el ganado lechero tenga un desempeño productivo superior al consumir materiales forrajeros de mayor calidad nutricional.

Villalobos y Sánchez (2010b) encontraron en el pasto ryegrass perenne valores de TND cercanos a los del pasto alpiste (61,95%), pero contenido de ED superior (2,92 Mcal.kg⁻¹ de MS), por su parte Andrade (2006) encontró un TND de 63,72% y ED 2,98 Mcal.kg⁻¹ de MS lo cual permite evidenciar que el pasto alpiste, bajo un sistema de corte-acarreo, tiene un valor nutricional cercano al de los principales pastos de piso utilizados en las lecherías tropicales de altura.

Cuadro 5. Contenido de energía del pasto *Phalaris arundinacea* con 3 edades de cosecha en el distrito de Santa Rosa de Oreamuno, Cartago.

Edad (días)	Total de nutrientes digestibles (%)	Energía digestible (Mcal.kg ⁻¹ de MS)	Energía metabolizable (Mcal.kg ⁻¹ de MS)	Energía neta de lactancia 3X (Mcal.kg ⁻¹ de MS)	Energía neta de ganancia (Mcal.kg ⁻¹ de MS)
49	64,12	2,81	2,18	1,34	0,85
70	62,22	2,72	2,10	1,29	0,79
91	62,87	2,74	2,11	1,30	0,80
Promedio ¹	63,07	2,76	2,13	1,31	0,81

¹ Valores corresponden al promedio de 48 muestras.

Los pastos kikuyo y ryegrass han mostrado, en condiciones tropicales de altura, valores de energía metabolizable y neta de lactancia entre 2,37-2,45 y 1,48-1,53 Mcal.kg⁻¹ de MS respectivamente (Andrade 2006, Villalobos y Sánchez 2010b), dichos valores son superiores a los encontrados en el pasto alpiste (2,13 y 1,31 Mcal.kg⁻¹ de MS) y su contenido tiende a disminuir conforme se incrementa la edad de cosecha (Cuadro 5). Con base en el contenido energético del pasto alpiste, es conveniente escoger un suplemento nutricional balanceado que pueda aportar los nutrientes limitantes para llenar los requerimientos de los animales en producción (Weiss 2008).

Edad fenológica

La edad fenológica promedio del pasto alpiste fue 5,96 hojas verdes por rebrote y no se vio afectada de forma significativa ($p < 0,05$) por los días de cosecha (Cuadro 6 y Figura 4). Se puede ver como la edad fenológica aumenta levemente a los 70 días y vuelve a disminuir a los 91 días, la forma de crecimiento puede ser la causa de dicho comportamiento debido a su capacidad de producir rebrotes laterales que le permiten ampliar su área de cobertura posterior a los 70 días de cosecha.

Con base en lo obtenido en el presente estudio se puede observar que la edad fenológica

Cuadro 6. Edad fenológica del pasto *Phalaris arundinacea* con 3 edades de cosecha en el distrito de Santa Rosa de Oreamuno, Cartago.

Edad de cosecha (días)	Edad fenológica (número de hojas verdes/rebote)
49	5,8278
70	6,0725
91	5,9775
Promedio ¹	5,9638

¹ Valores corresponden al promedio de 10 observaciones/parcela/muestreo con 4 parcelas por tratamiento y 5 muestreos (n=600).

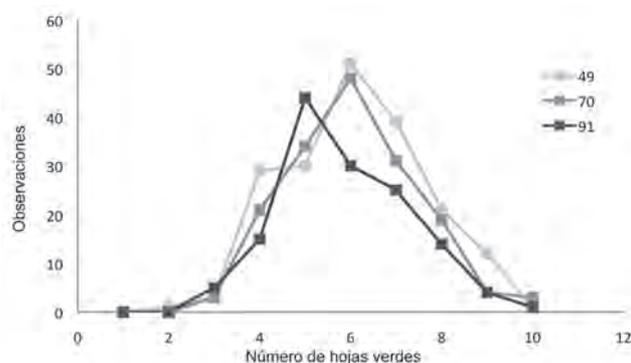


Fig. 4. Distribución de la frecuencia de observaciones del número de hojas verdes por rebrote del pasto *Phalaris arundinacea* con 3 edades de cosecha en el distrito de Santa Rosa de Oreamuno, Cartago.

adecuada para el pasto alpiste se encuentra entre 5 y 6 hojas verdes/rebote (Figura 4) ya que posterior a dicha etapa la planta pierde las primeras hojas en emerger en forma de material senescente y su valor nutricional disminuye.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La producción de biomasa del pasto alpiste se optimiza a una edad de 70 días pues se obtienen más cosechas anuales, mayor producción anual y permite soportar una mayor carga animal que en edades de cosecha superiores en donde la cantidad de días de recuperación no compensa la producción marginal de MS obtenida. La producción de biomasa promedio fue de 3101,91 kg.ha⁻¹ de MS.

El contenido de MS se mantuvo relativamente constante en las 3 edades de cosecha, mientras que el contenido de PC disminuyó al aumentar los días de cosecha. El pasto alpiste tiene niveles de extracción de N del suelo de hasta 400 kg.ha⁻¹.año⁻¹, por lo que su utilización en sistemas de corte-acarreo debe ir acompañada idealmente de programas de fertilización con el fin de no degradar el suelo.

El fraccionamiento de la PC de las 3 especies de pasto analizadas mostró que las especies tropicales como la estrella africana, tienen capacidad de favorecer la producción de proteína microbiana a nivel del rumen pues su fracción degradable (A+B₁) es la de mayor importancia, mientras que en las especies de clima templado como el alpiste y el ryegrass perenne, la fracción insoluble aprovechable es la que tiene un porcentaje mayor entre todas las fracciones. Las prácticas de alimentación deben buscar el máximo aprovechamiento del N contenido en la planta, por medio del uso de suplementos adecuados a las condiciones de disponibilidad de los nutrientes a lo largo del tracto gastrointestinal de los animales rumiantes.

Los componentes de la pared celular del pasto alpiste fueron mayores conforme se incrementó la edad de cosecha, lo cual provoca

una reducción en la DIVMS y en el contenido de energía.

El pasto alpiste debe utilizarse en una edad fenológica entre 5 y 6 hojas para obtener una adecuada producción de biomasa, y un valor nutricional que permita su utilización en sistemas intensivos de producción láctea en las zonas altas de Costa Rica.

AGRADECIMIENTOS

Al propietario de la finca donde se realizó esta investigación: Ing. Alvaro Coto, así como a los trabajadores de la finca por la colaboración brindada durante el año en que se realizó la investigación.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE M. 2006. Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 225 p.
- ARAYA M., BOSCHINI C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 16(1):37-43.
- ARCHIBALD J.G., BARNES H.D., FENNER F., GERSTEN B. 1962. Digestibility of Alfalfa hay and "reed canary grass" hay measured by two procedures. *J Dairy Sci* 45:858-860.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. 1990. Official methods of analysis. 15 ed. Washington, D.C. 1008 p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. 2000. Official methods of analysis. 17 ed. Washington, D.C.
- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- CHACÓN P., VARGAS C. 2009. Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. king grass a tres edades de rebrote. *Agronomía Mesoamericana* 20(2):399-408.
- CHALUPA W.V., CASON J.L., BAUMGARDT B.R. 1961. Nutritive value of "reed canary grass" as hay when grown with various nitrogen levels. *J. Dairy Sci.* 44:874-878.

- CHERNEY D.J., CHERNEY J.H., LUCEY R.F. 1993. In vitro digestion kinetics and quality of perennial grasses as influenced by forage maturity. *J. Dairy Sci.* 76:790-797.
- CLARK L.G., POHL R.W. 1996. Agnes Chase's First Book of Grasses. The structure of grasses explained for beginners. Smithsonian Institution Press, fourth edition. United States of America. 127 p.
- ELIZALDE J.C., MERCHEN N.R., FAULKNER D.B. 1999. Fractionation of fiber and crude protein in fresh forages during the spring growth. *Journal of Animal Science* 77:476-484.
- FULKERSON W.J., DONAGHY D.J. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41:261-275.
- JANZEN D.H. 1991. Historia Natural de Costa Rica. 1ª ed. Editorial de la UCR, San José, Costa Rica. 822 p.
- JOHNSON C.R., REILING B.A., MISLEVY P., HALL M.B. 2001. Effects of nitrogen fertilization and harvest date on yield, digestibility, fiber, and protein fractions of tropical grasses. *Journal of Animal Science* 79:2439-2448.
- LICITRA G., HERNANDEZ T.M., VAN SOEST P.J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science Technology* 57:347-358.
- MANDALUNIZ N., RUIZ R., OREGUI L. 2005. Propuesta de definición de unidad animal y metodología de estimación, para su aplicación en sistemas de pastoreo extensivo, pp 274-280. In: Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural (Vol. I). SEEP.
- MAYA G., DURÁN C., ENRIQUE J. 2005. Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con leucaena a diferentes edades de corte durante el año. *Acta Agronómica*. Vol. 54(2).
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. Ed. Washington, D.C. National Academy Press. 381 p.
- POHL R.W. 1980. Flora costaricensis, family #15 Gramineae. Field Museum of Natural History, Iowa State University, United States of America. 609 p.
- RETANA J. 2011. Climatología de la región del distrito de Santa Rosa de Oreamuno en base a estaciones meteorológicas cercanas a la zona. Informe anual del Instituto Meteorológico Nacional. 3 p.
- VAN SOEST P.J., ROBERTSON J.B. 1985. Analysis of forages and fibrous feeds. Cornell University. Ithaca, New York. 165 p.
- VILLALOBOS L., SANCHEZ J. 2010a. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I. Producción de biomasa y fenología. *Agronomía Costarricense* 34(1):31-42.
- VILLALOBOS L., SANCHEZ J. 2010b. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agronomía Costarricense* 34(1):43-52.
- WEISS W. 2008. Review of Energy Nutrition: 2001 NRC Energy System. In: Curso de Nutrición de Ganado de Leche. Balsa de Atenas, Alajuela, Costa Rica.
- WINGCHING R., ROJAS A. 2006. Nitrógeno orgánico y químico en sorgo negro con cobertura permanente de maní forrajero. II. Fraccionamiento de la proteína. *Agronomía Costarricense* 30(2):61-69.

FERTILIZACIÓN CON N, P, K Y S, Y CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN ARROZ VAR. CFX 18 EN GUANACASTE

Eloy Molina^{1/*}, José Hernán Rodríguez^{**}

Palabras clave: Arroz, fertilización, absorción, nitrógeno, fósforo, potasio.

Keywords: Rice, fertilization, uptake, nitrogen, phosphorus, potassium.

Recibido: 07/09/11

Aceptado: 27/03/12

RESUMEN

Se realizó un experimento de fertilización con N, P, K y S en arroz inundado, var. CFX 18, en un Inceptisol eútrico en Guanacaste y se determinó la curva de absorción de macro y micronutrientes durante el ciclo de cultivo. Los tratamientos fueron de 0, 80, 120 y 160 kg.ha⁻¹ de N; 0, 40 y 80 kg.ha⁻¹ de P₂O₅; 0 y 50 kg.ha⁻¹ de K₂O, y 0 y 20 kg.ha⁻¹ de S, con un total de 8 tratamientos y 4 repeticiones. Se realizó un análisis foliar en pre-floración y se determinó el rendimiento de arroz seco y limpio a la cosecha. En el tratamiento de 120 kg.ha⁻¹ de N, 40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 50 kg.ha⁻¹ de K₂O, y 20 kg.ha⁻¹ de S, se realizaron 5 muestreos de planta entera a los 28, 43, 66, 79 y 93 días de la germinación, para determinar peso seco, análisis químico de nutrientes y curvas de absorción en función de la edad de la planta. Hubo respuesta significativa en rendimiento al N, P, K y S. El tratamiento de 120 kg.ha⁻¹ de N, 40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 50 kg.ha⁻¹ de K₂O, y 20 kg.ha⁻¹ de S, presentó el rendimiento más alto de arroz en granza, en un suelo que tenía un contenido adecuado de P y K, pero bajo en S. Estas mismas dosis propiciaron los contenidos de N y P foliar más altos, con diferencia significativa respecto a los tratamientos sin N y sin P. La curva de absorción

ABSTRACT

N, P, K, and S fertilization and nutrient absorption curves on rice var. CFX 18 in Guanacaste. An experiment of fertilization with N, P, K and S on rice (cv. CFX 18) was evaluated under flooded conditions in a Eutric Inceptisol in Guanacaste; also, the absorption curve of macro and micronutrients during the growing season was determined. The treatments were 0, 80, 120 and 160 kg.ha⁻¹ of N; 0, 40 and 80 kg.ha⁻¹ of P₂O₅; 0 and 50 kg.ha⁻¹ of K₂O, and 0 and 20 kg.ha⁻¹ of S, for a total of 8 treatments with 4 replicates, in a randomized complete block design. Foliar analysis was performed at pre-flowering, and the yield of dry and clean grain was determined at harvest. In the treatment of 120 kg.ha⁻¹ of N, 40 kg.ha⁻¹ of P₂O₅, 50 kg.ha⁻¹ of K₂O, and 20 kg.ha⁻¹ of S, 5 whole-plant samples were taken at 28, 43, 66, 79 and 93 days after germination, for dry weight determination and chemical analysis of nutrients and for development of the absorption curves as a function of plant age. There was a significant response in yield to N, P, K and S. The treatment of 120 kg.ha⁻¹ of N, 40 kg.ha⁻¹ of P₂O₅, 50 kg.ha⁻¹ of K₂O, and 20 kg.ha⁻¹ of S presented the highest grain yield, in a soil that had an adequate content of P and K, but low in S.

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: eloy.molina@ucr.ac.cr

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

** Consultor privado, Liberia, Guanacaste, Costa Rica.

de nutrimentos estuvo relacionada directamente con la producción de biomasa. La mayor parte de la absorción de nutrimentos se presentó en la etapa reproductiva y de maduración. La absorción máxima de N, P, K, Ca, Mg y S fue de 61, 25, 197, 17, 11 y 9 kg.ha⁻¹, respectivamente.

These same treatments brought about the higher foliar contents of N and P and were significantly different from treatments with no N and no P. The nutrient absorption curve was directly related to biomass production. Most of the absorption of nutrients occurred during the reproductive and ripening stages. The maximum absorption of N, P, K, Ca, Mg and S was 61, 25, 197, 17, 11 and 9 kg.ha⁻¹, respectively.

INTRODUCCIÓN

La actividad arrocera en Costa Rica es de gran importancia dentro del sector agrícola, donde la necesidad de lograr altos rendimientos sin un incremento desmedido en los costos de producción ha obligado a mantener activa la investigación en las prácticas culturales del cultivo, con la utilización de insumos y tecnologías modernas, donde la fertilización es uno de los rubros más importantes. Como país productor de arroz con más de 60 000 ha anuales de producción, se hace imperante la necesidad de innovar con técnicas y variedades que permitan ser más eficientes para enfrentar las condiciones actuales del mercado y la competencia a nivel internacional (Villegas et al. 2008).

El arroz en Costa Rica se cultiva en una gran diversidad de suelos con características físico-químicas muy variables, que van desde los suelos aluviales ricos en Ca y Mg que predominan en el Sur, Pacífico Central y Guanacaste, hasta los suelos ácidos bajos en bases intercambiables de la Zona Norte (Murillo y González 1983). La fertilización del cultivo normalmente se maneja con la aplicación de N, P, K, S y Zn, en donde las fuentes y épocas dependen de los tipos de suelo y de las condiciones del clima (Cordero 1993).

Dentro del uso de insumos en el cultivo del arroz, la fertilización constituye un factor importante en la obtención de altos rendimientos. La respuesta a la fertilización depende de la variedad, la fertilidad del suelo, el clima, el manejo

del agua, y el control de plagas y enfermedades (Cordero 1991).

El N es el elemento más importante en los programas de fertilización del arroz, ya que cumple un papel determinante en el desarrollo de la planta, debido a que forma parte de la estructura molecular de las proteínas, de las lecitinas, de la clorofila, de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) de los citocromos y de las coenzimas (Dobermann y Fairhurst 2000). El N promueve el crecimiento vegetativo, el macollamiento, la formación y llenado del grano, y mejora el rendimiento (De Datta 1981). Su deficiencia se manifiesta con plantas pequeñas y atrofiadas, hojas pequeñas, angostas y erectas, clorosis o amarillamiento del tejido foliar que inicia en las hojas más viejas, reducción del macollamiento, y disminución del rendimiento de grano (Yoshida 1981, Fageria et al. 1995). Las recomendaciones de fertilización nitrogenada dependen del sistema de cultivo empleado y la variedad. Normalmente el arroz de secano requiere dosis bajas de N que oscilan entre 70-120 kg.ha⁻¹ de N, en tanto que en arroz bajo riego la dosis sube a un rango de 120-160 kg.ha⁻¹ de N (Cordero 1991, Coto 1991). Las recomendaciones de N para arroz bajo riego en Arkansas oscilan entre 100 y 200 kg.ha⁻¹, y dependen del ciclo de la variedad (Wilson et al. 2010). El fraccionamiento de la fertilización nitrogenada es una de las alternativas que sirven para mejorar la eficiencia de fertilizante. La aplicación de N debe distribuirse en las etapas de mayor demanda del nutriente por parte de la

planta de arroz, las cuales corresponden a inicio de macollamiento, inicio de formación del primordio floral o prefloración, y en floración (Dobermann y Fairhurst 2000). Para una variedad de 125 días de duración, el fraccionamiento del N se podría distribuir a 25-35 días, 45-55 días, 65-75 días después de la siembra, respectivamente (Cordero 1993).

El P es muy importante para el desarrollo radicular, crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del grano, pues además es componente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, así como de las membranas celulares (Yoshida 1981). Cumple una función importante en el metabolismo energético, debido a que es parte constituyente de la molécula de ATP (adenosín trifosfato) (Fageria et al. 1995). También es parte integral de las coenzimas NAD (nicotinamida adenín dinucleótido) y NADP (nicotinamida adenín dinucleótido fosfato), que cumplen una función fundamental en la fotosíntesis, glucólisis, respiración y síntesis de ácidos grasos (Dobermann y Fairhurst 2000). La deficiencia de P se manifiesta como la aparición al inicio de un color verde oscuro en hojas viejas, que se tornan luego de color amarillo-anaranjado. Las plantas lucen atrofiadas, con un limitado macollamiento, y se reduce la longitud de las hojas y el número de panojas (Rodríguez 1999). Las recomendaciones de P en arroz en Costa Rica oscilan en un rango de 30-60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, y generalmente se aplica a la siembra, para aprovechar la incorporación del fertilizante en banda con el uso de la abonadora (Cordero 1993). Los suelos con contenidos inferiores a 10 mg.l⁻¹ de P disponible responden a las dosis más altas de P, en tanto que un valor superior a 15 mg.l⁻¹ de P se considera óptimo para el cultivo (Cordero y Miner 1975).

La función principal del K en el cultivo de arroz es la regulación hídrica de la planta y el aumento de la resistencia a plagas y enfermedades como *Pyricularia* y *Heminthosporium* (De Datta 1981). En forma general, el K está relacionado con procesos muy importantes como la fotosíntesis, respiración, formación de clorofila, metabolismo de carbohidratos y activador de

enzimas necesarias en la síntesis de proteínas (Dobermann y Fairhurst 2000). El K también neutraliza los ácidos orgánicos y permite que la planta resista mejor las bajas temperaturas (Yoshida 1981). Muchos de los suelos aluviales altos en Ca y Mg presentan deficiencia de K, principalmente por desbalance con Ca y Mg (Bertsch 1995). En algunos suelos como los Vertisoles, la deficiencia de K es más severa debido a la alta capacidad de fijación de K que poseen estos suelos con arcillas 2:1 de retículo expandible como la montmorillonita (Cordero 1993). Los síntomas de deficiencia de K causan que las plantas se atrofien, disminuye la capacidad de formación de hijos, y en las hojas más viejas se presentan una clorosis en los bordes y puntas que luego se transforma en necrosis. Los tallos son cortos y delgados, de menor peso y número de granos (Rodríguez 1999, Dobermann y Fairhurst 2000).

La dosis de K en los programas de fertilización es muy variable, ya que depende del resultado del análisis de suelo y varía entre 20 y 75 kg.ha⁻¹ de K₂O (Cordero 1993), fraccionada en 2 aplicaciones al inicio del macollamiento y en la formación del primordio floral (Rodríguez 1999).

El azufre es de gran importancia para mejorar el aprovechamiento del nitrógeno por la planta (efecto sinérgico). Forma parte estructural de las proteínas y constituye los aminoácidos cistina, cisteína y metionina. Además forma parte de algunas vitaminas como la tiamina y biotina, de la coenzima A y de varias enzimas (Dobermann y Fairhurst 2000). La deficiencia de S es muy similar a la de N, lo cual hace difícil su identificación visualmente. Un factor que la diferencia es que los síntomas se presentan en hojas más nuevas, al inicio las vainas foliares se tornan amarillas, avanza hacia las láminas de las hojas y provoca un amarillamiento general de la planta durante la etapa de formación de hijos. (Cordero 1993, Rodríguez 1999). Las recomendaciones de S en arroz varían entre 15 y 30 kg.ha⁻¹, y es frecuente encontrar problemas de S en suelos de origen aluvial (Cordero et al. 1986).

La variedad CFX 18 fue desarrollada en la Universidad de Lousiana y presenta resistencia

a algunos herbicidas post-emergentes utilizados para el control de arroz rojo, una de las malezas más serias de los campos arroceros del país. Esta variedad no es tan productiva pero si es muy apropiada para sembrarla en tierras contaminadas con arroz rojo, por medio del sistema de producción de "Clearfield", que tiene como objetivo la limpieza de campos contaminados con semilla de esa maleza. CFX 18 es una variedad de ciclo corto (95-100 días), que hace necesario una programación más temprana de la fertilización en comparación con otras variedades tradicionales.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de la variedad CFX 18 a la fertilización con N, P, K, y S, y determinar la curva de absorción de nutrimentos, en las condiciones de Guanacaste.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Finca El Pelón de la Bajura ubicada en El Salto, Liberia, Guanacaste. Esta zona tiene una elevación de 40 msnm, con una precipitación promedio de 1740

mm anuales, con temperaturas mínimas y máximas que oscilan desde los 23 a los 36°C, para un promedio anual de 28°C. El suelo es un Inceptisol de origen aluvial, de textura franca, buen drenaje, topografía plana, de fertilidad buena, con contenidos adecuados de Ca, Mg y K, y altos de P, y niveles bajos de materia orgánica (Cuadro 1). Se utilizó la modalidad de riego con anegamiento en bancales independientes durante casi todo el ciclo de cultivo.

El ensayo consistió en la aplicación de diferentes combinaciones de N, P, K y S. El elemento principal en los ensayos fue el N dado que está bien fundamentado que este nutrimento es el más importante en la fertilización del cultivo. Se establecieron 4 dosis de N (0, 80, 120 y 160 kg.ha⁻¹ de N), 3 dosis de P (0, 40 y 80 kg.ha⁻¹ de P₂O₅), 2 de K (0 y 50 kg.ha⁻¹ de K₂O), y 2 de S (0 y 20 kg.ha⁻¹), como se aprecia en el Cuadro 2. La fertilización base cuando el elemento no fue variable o tratamiento fue de 120 kg.ha⁻¹ de N, 40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 50 kg.ha⁻¹ de K₂O y 20 kg.ha⁻¹ de S. Como fuentes de nutrimentos se utilizó urea, sulfato de amonio, Triple superfosfato, DAP, KCl y Sulfato de potasio.

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelos, Finca El Pelón de la Bajura, Liberia, Guanacaste.

Ubicación	pH	cmol(+).l ⁻¹					%	mg.l ⁻¹					
	H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	S	Zn	Cu	Fe	Mn
Finca El Pelón	6,1	0,20	8,60	1,29	0,47	10,6	2	18	8	5,7	12	434	209

Cuadro 2. Tratamientos del ensayo.

Tratamiento	N	P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹	K ₂ O	S
1	0	40	50	20
2	80	40	50	20
3	120	40	50	20
4	160	40	50	20
5	120	0	50	20
6	120	80	50	20
7	120	40	0	20
8	120	40	50	0

Los nutrimentos se fraccionaron de la siguiente forma:

- El P se aplicó el 100% a la siembra.
- El N se fraccionó en 4 aplicaciones.
Siembra: 15%.
15 días después de germinación (ddg): 25%.
30 días ddg: 25%.
45 días ddg: 35%.
- El K se fraccionó en 2 aplicaciones, 40% a los 15 días ddg y 60% a los 30 días ddg.
- El S se fraccionó en 2 aplicaciones en partes iguales a los 15 y 30 días ddg.

El fertilizante se aplicó al voleo sobre la superficie del suelo.

Los ensayos se establecieron con 8 tratamientos (Cuadro 2) y 4 repeticiones, con un diseño experimental de Bloques Completos al Azar. Cada parcela o unidad experimental tenía un tamaño 50 m². La semilla se sembró al voleo con una voleadora, a 3,5 sacos.ha⁻¹. Las prácticas de cultivo como preparación de suelos, control de malezas, manejo fitosanitario, etc, fueron las mismas que utilizó comercialmente la empresa Hacienda El Pelón de la Bajura.

Se realizó un muestreo foliar durante la etapa de pre-floración, a los 45 días ddg. Se tomó la segunda hoja de arriba hacia abajo, para el análisis químico de N, P, Ca, Mg, K, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B, que se realizó en el Laboratorio de Suelos del CIA-UCR.

Se realizaron muestreos de planta entera para establecer las curvas de absorción de nutrimentos de la variedad. Los muestreos se

realizaron en el tratamiento 3, considerado de manera preliminar como un tratamiento óptimo de fertilización.

Los muestreos se tomaron en 5 épocas diferentes del crecimiento de la planta, que se detallan en el Cuadro 3.

Para hacer el muestreo se diseñó un marco de pvc de 0,5 m x 0,5 m, el cual se colocó aleatoriamente sobre el suelo en cada repetición del tratamiento 3 en las diferentes épocas de muestreo y se recogió todo el material vegetativo del arroz que se ubicaba dentro del marco. Posteriormente el material se separó en raíz, follaje, y granos, y se determinó el peso fresco y peso seco, y la concentración de nutrimentos en una sub-muestra molida. Con los datos de peso seco y contenido del nutrimento, se calculó la absorción de los elementos por hectárea y se diseñaron las curvas de absorción en función del tiempo de muestreo.

La cosecha de los ensayos se realizó en forma manual, al cortar con machete las espigas de arroz en el área útil de cada parcela experimental. Se cosechó en un área útil de 12 m². El grano se separó de la espiga con una trilladora mecánica, se pesó y luego se tomó una sub-muestra para determinar el % de humedad y calcular los valores de peso del arroz en granza seco y limpio.

Se realizó el análisis de varianza de la variable rendimiento de arroz en granza seco y limpio, con la aplicación del programa estadístico SAS (SAS 2009). Adicionalmente se hizo el análisis de significancia estadística con la prueba "t" y contrastes ortogonales. Los resultados del análisis foliar también fueron procesados de la misma forma.

Cuadro 3. Etapas fenológicas del cultivo del arroz, variedad CFX 18.

Etapa fenológica	Rango de tiempo (ddg)
Macollamiento activo	28
Inicio primordio floral	43
Floración	66
Llenado de grano (lechoso)	79
Maduración	93

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de grano

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de rendimiento de arroz en granza seco y limpio en kg.ha⁻¹. Los rendimientos estuvieron un poco por debajo de lo esperado debido a que no hubo un macollamiento óptimo desde el inicio, esto por cuanto el suministro de agua fue insuficiente en el área experimental durante algunos días por problemas de la finca que estuvieron fuera del control de los autores. Finalmente el suministro de agua se normalizó pero siempre afectó un poco el macollamiento.

Cuadro 4. Efecto de la fertilización con N, P, K y S en el rendimiento de arroz en granza de la variedad CFX 18 en Liberia, Guanacaste.

Tratamiento	Rendimiento kg.ha ⁻¹
3. 120-40-50-20	3923 a
4. 160-40-50-20	3702 ab
6. 120-80-50-20	3494 bc
7. 120-40-0-20	3367cd
2. 80-40-50-20	3123 de
5. 120-0-50-20	3013 e
8. 120-40-50-0	2873 e
1. 0-40-50-20	1613 g

Valores con las misma letra no difieren significativamente entre sí con $p < 0,001$ (Diferencia mínima significativa=333 kg.ha⁻¹).

El análisis de varianza mostró que hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,001$). La prueba de diferencia mínima significativa (dms) permitió separar los tratamientos en orden de mayor a menor rendimiento según los resultados obtenidos.

La respuesta al N fue muy evidente y el tratamiento sin este elemento presentó el rendimiento más bajo, y su valor fue significativamente diferente del resto de los tratamientos. La dosis de 120 kg.ha⁻¹ de N presentó el rendimiento más alto, que superó en forma significativa a los tratamientos de 80 y 0 kg.ha⁻¹ de N, y muestran la

importancia que tiene este elemento en la producción de arroz (Buzetti et al. 2006). Los resultados coinciden con las recomendaciones de Cordero (1993), quién menciona que el rango de respuesta del N oscila entre 80 y 180 kg.ha⁻¹, según condiciones climáticas, edáficas y varietales.

La dosis de 160 kg.ha⁻¹ de N presentó un rendimiento inferior a 120 kg.ha⁻¹ de N, aunque esa diferencia no fue estadísticamente significativa. Cordero (1991) encontró la máxima respuesta económica a la aplicación de 180 kg.ha⁻¹ de N con la variedad CR 1821 en condiciones de riego, si bien esta variedad tiene un potencial de producción superior a CFX 18 y presenta una mayor capacidad de absorción de N (Cordero y Murillo 1990).

Los resultados de este estudio concuerdan con los datos presentados por Quirós y Ramírez (2006), quienes encontraron el mejor rendimiento de arroz en la variedad CR 1113 con una dosis de 120 kg.ha⁻¹ de N, fraccionado en 3 aplicaciones durante el ciclo de crecimiento. Vargas (2002) encontró la máxima respuesta en rendimiento de arroz variedad Fedearroz 50, con una dosis de 180 kg.ha⁻¹ en un Inceptisol alto en bases intercambiables de Parrita, bajo condiciones de secano.

La respuesta al N se observa con mayor claridad en la Figura 1, donde se presentan los resultados de los tratamientos de 0 a 160 kg.ha⁻¹ de N, con la misma dosis de P, K y S.

Se hizo una medición de la eficiencia de fertilización para el mejor tratamiento de 120 kg.ha⁻¹ de N:

Eficiencia de fertilización=(Rend. 0 N–Rend. 120 kg.ha⁻¹ de N)/dosis de N

Eficiencia de fertilización=(3923 kg–1613 kg)/120 kg
Eficiencia de fertilización=19,25 kg arroz.kg⁻¹.
ha⁻¹ de N

A pesar de que CFX 18 no es una variedad de alta producción, la eficiencia de fertilización fue de 19,25 kg de grano por cada kg de N agregado, que se considera buena. La eficiencia fue mayor que los datos reportados por Cordero (1991) quién encontró valores de eficiencia entre

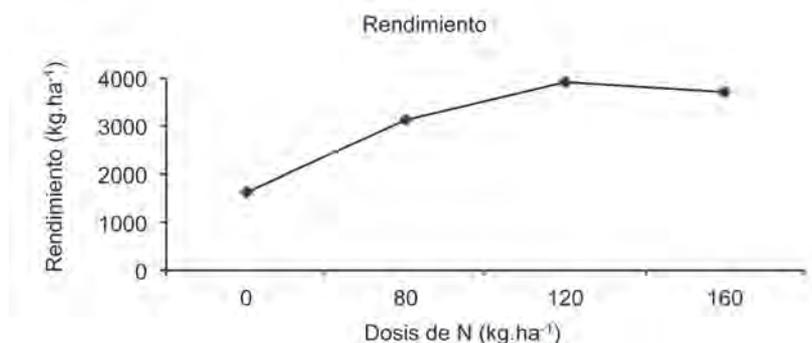


Fig. 1. Efecto de la dosis de N en el rendimiento del arroz variedad CFX18, Liberia, Guanacaste.

9 y 14 kg arroz.kg⁻¹.ha⁻¹ de N, en un experimento de fertilización nitrogenada con la variedad CR 1821.

Para el caso del P, los niveles de 40 y 80 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ fueron significativamente superiores al tratamiento sin P (Cuadro 4). La respuesta a la fertilización con P se presentó a pesar de que el suelo tenía un nivel adecuado del elemento (18 mg.l⁻¹), donde la dosis de 40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ fue la de mejor respuesta agronómica. Los resultados no coinciden con las recomendaciones de Cordero (1993), quién indica que por encima de 10 mg.l⁻¹ no se esperaría respuesta a la aplicación del elemento.

Vargas (2002) evaluó el efecto de diferentes dosis de P (0 a 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅) en arroz variedad Fedearroz 50 en Parrita, y no encontró respuesta en rendimiento, atribuyéndolo al buen nivel inicial de P encontrado en el suelo (22 mg.l⁻¹).

Hubo respuesta a la fertilización con K, debido a que las dosis de 0 y 50 kg.ha⁻¹ de K₂O (tratamientos 3 y 7), con las mismas dosis de N, P y S, mostraron diferencias significativas entre sí (Cuadro 4), a pesar de que el suelo presentó un contenido adecuado de K (0,47 cmol(+).l⁻¹). Vargas (2002) no encontró respuesta del arroz a la fertilización con K en un suelo de Parrita con 0,37 cmol(+).l⁻¹ Cordero (1993) recomienda la aplicación de K sólo en caso de suelos con 0,2 cmol(+).l⁻¹ o menos del elemento.

Los resultados muestran que hubo respuesta al S, al comparar los tratamientos 3 y 8, en los que hubo diferencias significativas. Se destaca el hecho de que el tratamiento sin S presentó uno de los rendimientos más bajos del ensayo, sólo superó al tratamiento sin N. En este caso el resultado coincide con el nivel bajo de S en el suelo (8 mg.l⁻¹), considerado un valor de deficiencia y que según Cordero (1993) requeriría una dosis de 15 kg.ha⁻¹ de S. El efecto del S en arroz ha sido también documentado por Cordero et al. (1986), quienes encontraron respuesta al S en un suelo aluvial de Jacó, Puntarenas.

Análisis foliar

En el Cuadro 5 se presentan los resultados del análisis foliar realizado durante la fase final de macollamiento. En general no se presentaron contenidos deficientes de nutrimentos con excepción de N y S en algunos tratamientos.

El análisis de varianza mostró que hubo diferencias significativas entre tratamientos para los contenidos foliares de N, P, Mn y S. Para el caso del N, la mayoría de los tratamientos presentaron valores por encima de 2,5%, considerado el nivel mínimo de suficiencia para esa etapa de crecimiento del arroz (Dobermann y Fairhurst 2000). Los tratamientos con dosis de 120-160 kg.ha⁻¹ de N mostraron el contenido más alto de N, tales como el 3, 4, 5, 6 y 7, y de acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa no hubo diferencias estadísticas entre ellos (Cuadro 6). El tratamiento

Cuadro 5. Resultado del análisis foliar realizado durante la fase de macollamiento en arroz var. CFX 18, Liberia, Guanacaste.

Tratamiento	%						mg.kg ⁻¹				
	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
1. 0-40-50-20	1,58	0,16	0,31	0,12	1,97	0,09	82	9	28	443	12
2. 80-40-50-20	2,39	0,18	0,29	0,12	2,06	0,18	96	11	36	527	9,8
3. 120-40-50-20	3,03	0,23	0,23	0,13	2,09	0,14	118	14	32	937	12,2
4. 160-40-50-20	2,78	0,19	0,25	0,12	1,88	0,16	105	12	26	436	16,3
5. 120-0-50-20	2,84	0,17	0,22	0,12	2,08	0,15	104	12	31	421	18,2
6. 120-80-50-20	2,68	0,21	0,36	0,12	1,93	0,2	103	13	27	630	9,5
7. 120-40-0-20	2,81	0,22	0,25	0,13	2,00	0,28	111	12	29	680	17,2
8. 120-40-50-0	2,49	0,16	0,58	0,14	2,13	0,11	87	61	55	141	14,5

Cuadro 6. Efecto de la fertilización con N, P, K y S en el contenido foliar de N, P, S y Mn en hojas de arroz, Liberia, Guanacaste.

Tratamiento	% N	Tratamiento	Mn (mg.kg ⁻¹)
3. 120-40-50-20	3,03 a	3. 120-40-50-20	937 a
5. 120-0-50-20	2,84 ab	7. 120-40-0-20	680 b
7. 120-40-0-20	2,81 abc	6. 120-80-50-20	630 bc
4. 160-40-50-20	2,78 abcd	2. 80-40-50-20	527 bcd
6. 120-80-50-20	2,68 abcd	1. 0-40-50-20	443 d
8. 120-40-50-0	2,49 bcd	4. 160-40-50-20	436 de
2. 80-40-50-20	2,39 d	5. 120-0-50-20	421 e
1. 0-40-50-20	1,58 e	8. 120-40-50-0	141 f

Tratamiento	% P	Tratamiento	% S
3. 120-40-50-20	0,23 a	7. 120-40-0-20	0,28 a
7. 120-40-0-20	0,22 ab	6. 120-80-50-20	0,20 b
6. 120-80-50-20	0,21 bc	2. 80-40-50-20	0,18 bc
4. 160-40-50-20	0,19 cd	4. 160-40-50-20	0,16 bcd
2. 80-40-50-20	0,18 de	5. 120-0-50-20	0,15 bcd
5. 120-0-50-20	0,17 ef	3. 120-40-50-20	0,14 cd
1. 0-40-50-20	0,16 ef	8. 120-40-50-0	0,11 de
8. 120-40-50-0	0,16 ef	1. 0-40-50-20	0,09 e

Tratamientos con la misma letra no difieren significativamente con $p < 0,001$.

sin N presentó la concentración más baja del elemento con un valor de 1,58% y fue inferior en forma significativa del resto de tratamientos, seguido a continuación por la dosis baja de N (80 kg.ha⁻¹) (Cuadro 6). Cuando no se adicionó

S, el nivel de N fue también muy bajo, como se observa en el resultado del tratamiento 8, lo que probablemente se debe al efecto sinérgico del S que ayuda a mejorar la asimilación del N (Marschner 1995).

El contenido de P foliar presentó valores por encima del nivel crítico para arroz. Sin embargo, su concentración fue afectada en forma significativa por los tratamientos de fertilización (Cuadro 6), que coincidió con la respuesta encontrada en rendimiento a la dosis de 40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅. Se destaca el hecho que 2 de los tratamientos que presentaron el nivel más bajo de P fueron la dosis 0 de N y S, lo que indica la importancia que tienen estos 2 elementos en la asimilación de P por la planta.

El contenido de S foliar también presentó diferencias significativas (Cuadro 6), y la mayoría de los tratamientos presentaron un nivel inferior al nivel mínimo de 0,2%. De acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa, las concentraciones más bajas de S se presentaron en los tratamientos sin N y S (Cuadro 6). Se destaca el tratamiento sin K que mostró el nivel más alto de S foliar, probablemente debido a un antagonismo entre ambos elementos. Con base en los contenidos bajos de S foliar, es probable que la dosis de S utilizada fuera insuficiente, lo que se confirma por la respuesta encontrada.

Hubo diferencias significativas por efecto de tratamiento en la concentración de Mn foliar, las cuales probablemente se debieron más al efecto del manejo del agua que a los mismos tratamientos, ya que por coincidencia el tratamiento 3 en algunas parcelas se acumuló más el agua que

en otras debido a diferencias en nivelación del terreno y por su ubicación.

Curvas de absorción de nutrimentos

La absorción de nutrimentos en el tiempo estuvo directamente relacionada con la producción de biomasa. Para el caso del N, la absorción del elemento se incrementó desde la germinación hasta alcanzar el valor máximo a los 79 días (Figura 2), con una absorción total de 61 kg.ha⁻¹. La absorción de N estuvo limitada por el rendimiento ligeramente bajo obtenido en el tratamiento 3 (3,9 t.ha⁻¹). La etapa de mayor absorción de N se ubicó entre los 28 y 79 días después de la germinación, período en el que se absorbió el 52% del N total. La máxima absorción de N coincidió con la fase de llenado en la etapa de grano lechoso. La absorción de N disminuyó después de los 79 días, debido a la maduración y finalización del llenado de grano, y la pérdida de biomasa área. La variedad CFX 18 presentó una absorción de N muy temprana debido a su ciclo corto. El 48% del N fue absorbido en los primeros 28 días después de germinación y coincide con la etapa de macollamiento activo.

Un posible esquema de aplicación de N en CFX 18 sería: 15, 30, 45 y 55 días después de la germinación, pues en ese caso coincidiría con las etapas de inicio de macollamiento, macollamiento activo, inicio de primordio y pre-floración,

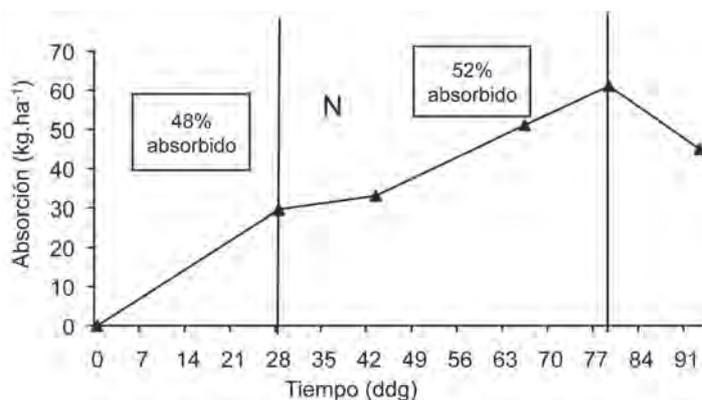


Fig. 2. Curva de absorción total de N en var. CFX 18, Liberia, Guanacaste.

respectivamente, tal y como lo indican Dobermann y Fairhurst (2000) y Cordero (1993).

La absorción de P fue ascendente hasta los 66 días (Figura 3) en el que alcanza su valor máximo total de 12 kg.ha⁻¹. Durante la etapa de crecimiento vegetativo (hasta el día 43) se absorbió el 42% de los requerimientos totales de P. A partir del inicio de la formación del primordio y hasta la floración, la planta absorbió el 58% del P total requerido. Entre los 28 y 66 días la planta absorbió más del 80% de sus requerimientos de P, demostró que la mayor parte de la absorción de P es tardía, y que se concentra durante la etapa reproductiva. Resultados similares han sido reportados por Molina (citado por Berstch 2003) en variedades como CR 1113, Camago 8, Anabela,

Llano 5, 4338 y 4102. En un estudio realizado por Vargas (2002), la absorción total de de P en la variedad Fedearroz 50 fue de 45 kg.ha⁻¹ y cerca del 60% se presentó durante la etapa reproductiva. La fertilización con P en arroz se realiza a la siembra o poco después de la siembra (Cordero 1991), principalmente para favorecer la colocación del fertilizante y disminuir las pérdidas por fijación, y para mejorar el anclaje de la planta desde el inicio del crecimiento (Vargas 2002). Sin embargo, las curvas de absorción indican que el P podría ser aplicado también durante el macollamiento e inicio de la fase reproductiva.

La absorción de K fue ascendente durante casi todo el ciclo del cultivo hasta la maduración del grano (Figura 4), hasta alcanzar un valor

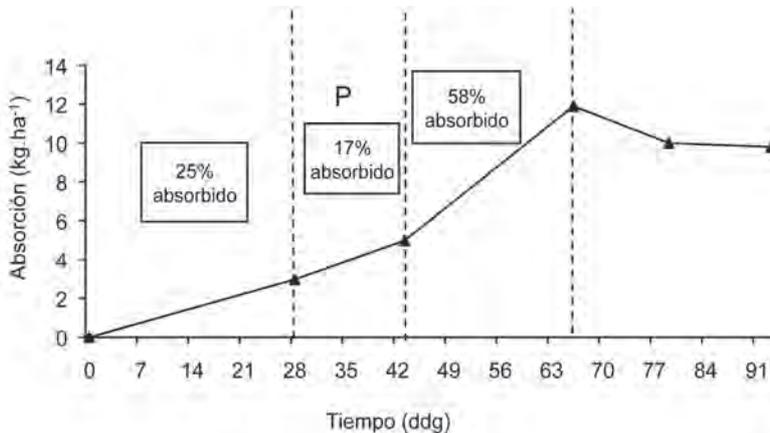


Fig. 3. Curva de absorción total de P en var. CFX 18, Liberia, Guanacaste.

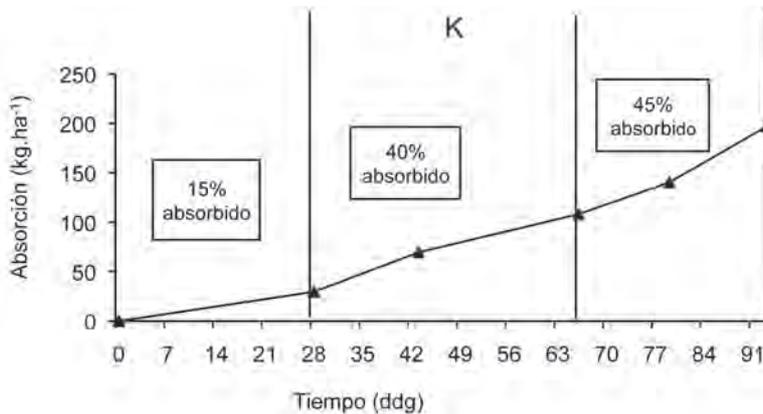


Fig. 4. Curva de absorción total de K en var. CFX 18, Liberia, Guanacaste.

máximo de $197 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Al inicio del crecimiento y hasta la etapa de macollamiento activo (28 ddd), la planta absorbió el 15% del K total requerido. Desde ese momento y hasta la floración (66 ddd), la planta absorbió el 40% del K total. Y finalmente se presentó una absorción tardía muy alta durante la fase de maduración y que correspondió al 45% del K total absorbido. Un resultado similar encontró Vargas (2002) en la variedad Fedearroz 50, en la que más del 80% del K fue absorbido en la fase reproductiva y de maduración.

En la Figura 5 se presenta la absorción de Ca, Mg y S. El patrón de absorción de Ca fue muy similar al de N y P, y la mayor parte de la absorción de Ca ocurrió entre los 28 y 79 días. El

valor máximo de absorción fue de $17 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. La extracción máxima de Mg fue de $11 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, valor similar a la absorción de P. Ambos nutrimentos mantuvieron una curva de absorción ascendente hasta llegar a la fase de maduración. El S también tuvo un comportamiento de absorción similar al N, con un valor máximo absorbido de $9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a los 79 días.

Para el caso de los micronutrimentos, el Fe y Mn fueron absorbidos en mayor cantidad que los otros, con valores $5,7$ y $6,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, en su pico máximo de absorción a los 93 días (Figura 6), la mayor parte de esta absorción se presentó en la raíz debido a que la planta acumula ambos nutrimentos en este

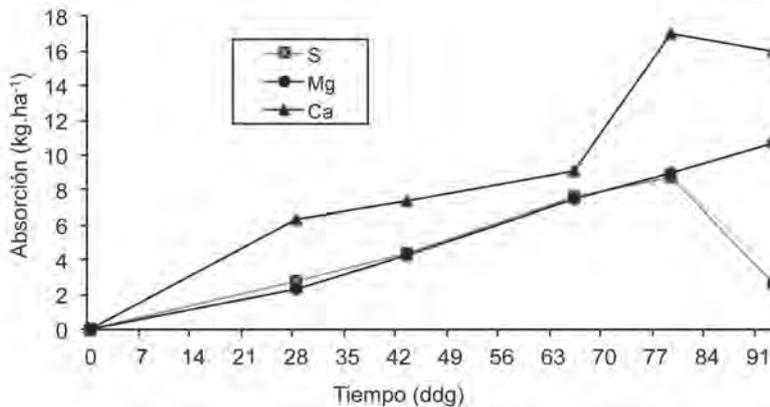


Fig. 5. Curvas de absorción total de Ca, Mg y S en var. CFX 18, Liberia Guanacaste.

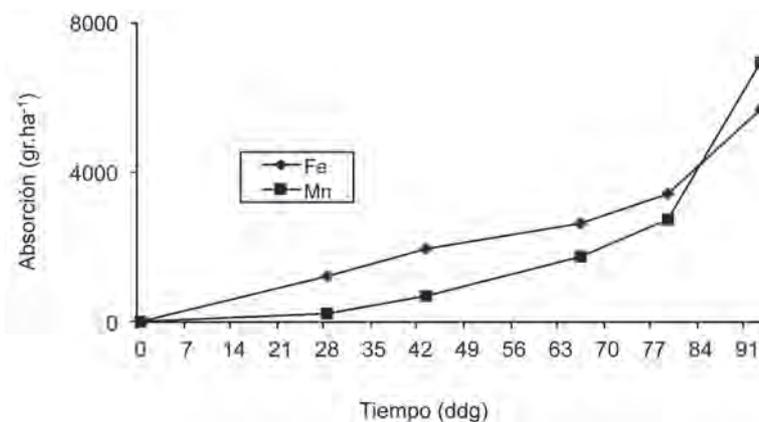


Fig. 6. Curva de absorción total de Fe y Mn en var. CFX 18, Liberia, Guanacaste.

órgano (Dobermann y Fairhurst 2000). El mayor incremento en la absorción se presentó durante la etapa de llenado del grano.

La absorción de Cu, Zn y B se incrementó a partir de los 28 días y alcanzó los valores más altos durante la maduración (Figura 7). La mayor parte se absorbió durante la fase reproductiva y de maduración. La absorción máxima de Cu, Zn y B fue de 345, 371 y 64 g.ha⁻¹, respectivamente.

Para efectos de aplicación foliar de micronutrientes como Zn y B, el mejor momento es al inicio del primordio, en pre-floración y en floración.

El orden de absorción de nutrientes de la variedad CFX 18 bajo las condiciones de Guanacaste para una producción de biomasa fresca de 18 t.ha⁻¹ y un rendimiento promedio de 3,9 t.ha⁻¹ de arroz seco y limpio fue de: K>N>Ca>P>Mg>S>Mn>Fe>Zn>Cu>B.

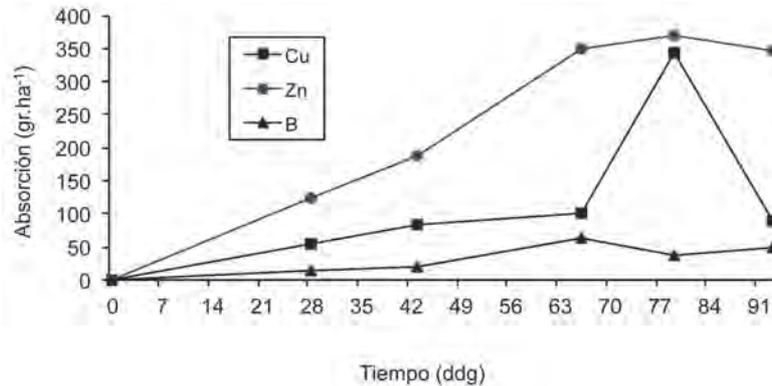


Fig. 7. Curva de absorción total de Cu, Zn y B en var. CFX 18, Liberia, Guanacaste.

LITERATURA CITADA

- BERTSCH F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrientes por los cultivos. ACCS, San José, Costa Rica. 307 p.
- BUZETTI S., BAZANINI G., FREITAS J., ANDREOTTI M., ARF O., EUSTÁQUIO DE SÁ M., ANDRADE F. 2006. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de cloromequat. Pesquisa Agropecuária Brasileira 41(12):1731-1737.
- CORDERO A. 1991. La fertilización del cultivo de arroz bajo riego en Costa Rica, pp. 196-205. In: T.J. Smyth, W.R. Raun y F. Bertsch (eds), Segundo Taller Latinoamericano de Manejo de Suelos Tropicales, North Carolina State University. San José, Costa Rica.
- CORDERO A. 1993. Fertilización y nutrición mineral del arroz. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 100 p.
- CORDERO A., MINER G.S. 1975. Programa de calibración de análisis de suelo para la fertilización de arroz y maíz en Costa Rica. En Seminario sobre manejo de suelos y el proceso de desarrollo en América Tropical. Manejo de Suelos en América Tropical. San José, Costa Rica. p. 533-548.
- CORDERO A., MURILLO I. 1990. Remoción de nutrientes por el cultivar de arroz CR-1821 bajo inundación. Agronomía Costarricense 14(1):79-84.
- CORDERO A., MURILLO I., MOLINA E. 1986. Deficiencia de azufre: nuevo factor limitante en la producción de arroz de secano en la zona de Jacó, Garabito, Puntarenas. In 7° Congreso Agronómico Nacional, 23° Congreso de Horticultura ASHS Región Tropical, Resúmenes. Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica. p. 8-9.
- COTO P. 1991. Respuesta de la variedad de arroz (*Oryza sativa* L) CR 1821 y las líneas promisorias CR 8334 y CR 8341, a la fertilización nitrogenada bajo condiciones de riego. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 103 p.

- DE DATTA S.K. 1981. Principles and Practices of Rice Productions. John Willey & Son. New York. 618 p.
- DOBERMANN A., FAIRHURST T. 2000. Rice: nutrient disorders and nutrient management. Potash and Phosphate Institute and Internacional Rice Research Institute, USA. 190 p.
- FAGERIA N.K., FERREIRA E., PRABHU A.S., BARBOZA M.P., FILIPPI M.C. 1995. Seja o doutor do seu arroz. Arquivo do Agrônomo N°. 10. POTAFOS, Brasil. 22 p.
- MARSCHNER H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2° ed, Academic Press, New York. 674 p.
- MURILLO J., GONZÁLEZ R. 1983. Manual para la producción de arroz de secano en Costa Rica. CAFESA. San José, Costa Rica. 127 p.
- QUIRÓS R., RAMÍREZ C. 2005. Evaluación de la fertilización nitrogenada en arroz inundado. Agronomía Mesoamericana 17(2):179-188.
- RODRÍGUEZ J.H. 1999. Fertilización del cultivo del arroz (*Oryza sativa*). In 11° Congreso Nacional Agronómico y Recursos Naturales, 3° Congreso Nacional de Suelos. Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José Costa Rica. Vol. III, p. 123-136.
- SAS. 2009. SAS/STAT Software. Release 9.2. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- VARGAS M. 2002. Fertilización con cuatro niveles de nitrógeno, fósforo y potasio y curvas de absorción de la variedad Fedearroz 50 en condiciones de secano favorecido. CONARROZ, San José, Costa Rica. 24 p.
- VILLEGAS O., VARGAS F., PÉREZ J., GARCÍA R., PORRAS S., MENESES R., QUESADA A., DELGADO G., ALPIZAR D., MORA B., LEON R., ALFARO D. 2008. Programa nacional de producción de alimentos región Huetar Norte. Boletín técnico, MAG, San José, Costa Rica. 35 p.
- WILSON C.E., SLATON N.A., NORMAN R.J. 2010. Nitrogen fertilization of rice in Arkansas. Cooperative Extension Service Bulletin, University of Arkansas, USA. 8 p.
- YOSHIDA S. 1981. Fundamental of Rice Crop Science. International Rice Research Institute. Los Baños, Filipinas. 267 p.

IDENTIFICACIÓN MOLECULAR DEL HONGO *Colletotrichum* spp., AISLADO DE BANANO (*Musa* spp) DE ALTURA EN LA ZONA DE TURRIALBA Y DETERMINACIÓN DE SU SENSIBILIDAD A FUNGICIDAS POSCOSECHA

Eduardo Salazar¹*, Ramses Hernández^{**}, Ana Tapia^{***}, Luis Gómez-Alpizar^{****}

Palabras clave: Antracnosis, PCR, poscosecha, tiabendazole, imazalil, miclobutanil.

Keywords: Anthracnose, PCR, postharvest, thiabendazole, imazalil, miclobutanil.

Recibido: 12/10/11

Aceptado: 12/04/12

RESUMEN

La antracnosis, causada por el hongo *Colletotrichum* spp., es una de las principales enfermedades poscosecha que afectan el fruto del banano. En el presente experimento, 25 aislamientos de *Colletotrichum* spp., obtenidos de frutos de banano provenientes de 5 zonas del cantón de Turrialba, Costa Rica, fueron utilizados para caracterizar molecularmente al hongo y evaluar su sensibilidad in vitro a 3 fungicidas poscosecha: tiabendazol, imazalil y miclobutanil. La identificación molecular de cada uno de los aislamientos se realizó mediante la técnica PCR con los imprimadores especie-específicos de la región ITS (CgInt/ITS5) y de una región del gen de la β -tubulina (TBCG/ TB5). Para las pruebas de sensibilidad in vitro a los 3 fungicidas, se utilizaron las siguientes concentraciones: 0,1; 1,0; 10,0 y 100,0 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. El análisis de la región ITS y de la región del gen de la β -tubulina, indicó que los aislamientos analizados corresponden a la especie *Colletotrichum gloeosporioides*. En cuanto a las pruebas de sensibilidad in vitro, todos los aislamientos fueron sensibles al tiabendazol, mientras que existe una marcada insensibilidad al imazalil y al miclobutanil.

ABSTRACT

Molecular identification of the fungus *Colletotrichum* spp., isolated from banana (*Musa* spp) in high lands from Turrialba and determination of their sensitivity to postharvest fungicides. Anthracnose is one of the most serious banana post-harvest diseases. A total of 25 *Colletotrichum* isolates were obtained from banana fruits grown in 5 areas in Turrialba County, Costa Rica; 5 isolates per area. Isolates were characterized on the basis of polymerase chain reaction (PCR) using species-specific primers of the ITS region and β -tubulin, gene, and their in vitro sensitivities to the fungicides thiabendazole, imazalil and myclobutanil at 0.1, 1.0, 10.0 y 100.0 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. All isolates were identified as *Colletotrichum gloeosporioides* and were sensitive to thiabendazole, whereas most isolates showed a marked reduction in sensitivity to imazalil and myclobutanil.

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: esalazar@biotek-agriculture.cr

* Biotek Agriculture Latinoamérica. San José, Costa Rica.

** Plant Pathology and Postharvest. Tropical Fruit.

*** Laboratorio de Fitopatología. Sede del Atlántico, Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica.

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

INTRODUCCIÓN

El cultivo del banano (*Musa* spp) es una fuente importante de trabajo e ingresos en los países donde se produce. En Costa Rica, el banano se cultiva en forma comercial en zonas de alta precipitación y temperatura promedio de 30°C, ubicadas hasta los 300 msnm. Actualmente existe interés en la producción de banano en áreas localizadas a mayores altitudes, entre 440 y 1300 msnm (banano de altura), ya que la fruta tiene un sabor más dulce (A. Tapia 2009. Comunicación personal, Ramírez 2010); esto debido a que su ciclo de producción es más prolongado y se da una mayor acumulación de almidones que posteriormente son desdoblados en azúcares durante la maduración. Adicionalmente puede haber una mayor acumulación de fructosa que es 5 veces más dulce que la glucosa. La fruta proveniente de estas áreas podría comercializarse en los mercados como un producto diferenciado, eventualmente a un mayor precio. Junto con la mejora en el sabor de la fruta, también se busca que sea producida bajo un esquema de reducción o no uso de fungicidas, dada la preferencia creciente de los consumidores por productos obtenidos sin el uso de agroquímicos. Sin embargo, la fruta producida bajo este esquema de no uso de agroquímicos, puede presentar mayores daños por patógenos en poscosecha, favorecidos por la edad de cosecha y por el tiempo transcurrido desde su cosecha hasta alcanzar el mercado final de destino (Alvinda y Natsuaki 2008). En Costa Rica, la información disponible para banano de altura sobre los daños poscosecha y los patógenos asociados es limitada.

La antracnosis es una de las principales enfermedades poscosecha del banano e influye significativamente en la calidad de la fruta mercadeable. Los síntomas se presentan como lesiones ovaladas, oscuras y hundidas, con presencia de acérvulos (masas de esporas). La infección del fruto ocurre normalmente en campo durante su desarrollo; pero permanece latente hasta que el fruto madura (Raut y Ranade 2004), por lo que los síntomas se manifiestan mayormente durante el almacenamiento y muchas veces en los supermercados. La antracnosis es más severa si el

fruto sufre heridas o lesiones como resultado de un mal manejo de la fruta.

Colletotrichum musae (Berk and Curtis) Arx ha sido considerada la especie causante de la antracnosis en banano con base en descripciones morfológicas y el alto grado de especificidad por el hospedante. Sin embargo, existe evidencia que aislamientos de *Colletotrichum* provenientes de un mismo hospedante pueden pertenecer a diferentes especies, por lo que el criterio de especificidad por hospedante para la identificación del agente causal de la enfermedad es inapropiado y genera confusión (Peres et al. 2002, Lima et al. 2003, Hernández 2009, Jeger et al. 1995, Phoulivong et al. 2010). Una variabilidad morfológica y patogénica entre aislamientos de *C. musae* ha sido observada y se ha demostrado la existencia de razas fisiológicas o biotipos (Moriwaki et al. 2002, Peres et al. 2002, Ureña et al. 2002, Guerber et al. 2003, Liu et al. 2007). Análisis filogenéticos recientes indican que *C. musae* y *C. gloeosporoides* son conspecíficas; es decir una misma especie (Du et al. 2005, Hernández 2009). Phoulivong et al. (2010) determinaron que aunque *C. gloeosporoides* y *C. acutatum* han sido consideradas las especies responsables de la antracnosis en frutos tropicales, ninguna de estas especies fue identificada como el agente causal de la enfermedad en Laos y Tailandia. Su estudio incluyó 25 aislamientos provenientes de guayaba, mango, papaya, y banano, entre otros.

Actualmente, el combate de la antracnosis en banano se basa en la aplicación de fungicidas poscosecha; específicamente el tiabendazol e imazalil (Villalta et al. 2006, Guzmán y Villalta 2008), así como la implementación de prácticas culturales en campo y en la planta empacadora para la reducción del inóculo. Otros 2 fungicidas registrados para uso poscosecha en banano son el miclobutanil y la azoxistrobina (Villalta et al. 2006, Guzmán y Villalta 2008).

Estos fungicidas son considerados de sitio específico, e inhiben un proceso particular del metabolismo del patógeno. El uso de fungicidas de este tipo enfrenta el problema de la selección

de individuos resistentes en la población del patógeno blanco (Hernández 2009), que resulta en una disminución en la eficacia de los productos y una pérdida de esta estrategia de combate.

El cantón de Turrialba, provincia de Cartago, posee las condiciones agroclimáticas, así como disponibilidad de mano de obra, vías de comunicación, cercanía a un puerto, entre otras, que le confieren el potencial para la producción de banano de altura. En la zona existen algunas plantaciones de banano con las variedades Gros Mitchel y Congo.

El objetivo de esta investigación fue determinar la(s) especie(s) de *Colletotrichum* asociada(s) con la antracnosis en frutos de banano (*Musa* spp) de altura en el cantón de Turrialba y su sensibilidad a los fungicidas tiabendazol, imazalil y miclobutanil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

En la presente investigación se recolectaron racimos de banano de las variedades Gros

Michel y Congo en 5 zonas del cantón de Turrialba, Cartago, ubicadas entre los 440 y los 1160 msnm; por lo que se considera banano de altura (Cuadro 1).

Los racimos recolectados tenían un calibre entre 38 y 40 32avos de pulgada en el dedo central de la segunda mano de arriba hacia abajo. Una vez seleccionados, los racimos se “desmanaron” y empacaron en bolsas plásticas con papel húmedo en su interior y luego se colocaron en cajas plásticas para su transporte. Cada caja se identificó con la zona de procedencia y la fecha de muestreo. Las cajas plásticas se colocaron en una cámara de almacenamiento con una temperatura de 25°C y una humedad relativa del 95% con la finalidad de promover la maduración natural de los frutos y la aparición de los síntomas de la enfermedad. Las cajas se revisaron cada 2 días para verificar la presencia de signos (acérvulos) del patógeno. Los aislamientos se realizaron en el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Costa Rica Sede del Atlántico (Turrialba). Se escogieron 5 aislamientos para cada una de las 5 zonas del cantón de Turrialba, provincia de Cartago (Figura.1).

Cuadro 1. Zonas productoras de banano de altura en el cantón de Turrialba, Cartago, donde se obtuvieron los frutos para la investigación.

Zonas	Productor	Altura (msnm)
Grano Oro	Alfredo Arias Jiménez	1160
Piedra Redonda	Julio Gómez Sánchez	920
Celulosa	Víctor Morales	440
San Juan Sur	Alonso Obando	900
Atirro (Feima)	Sede del Atlántico	546

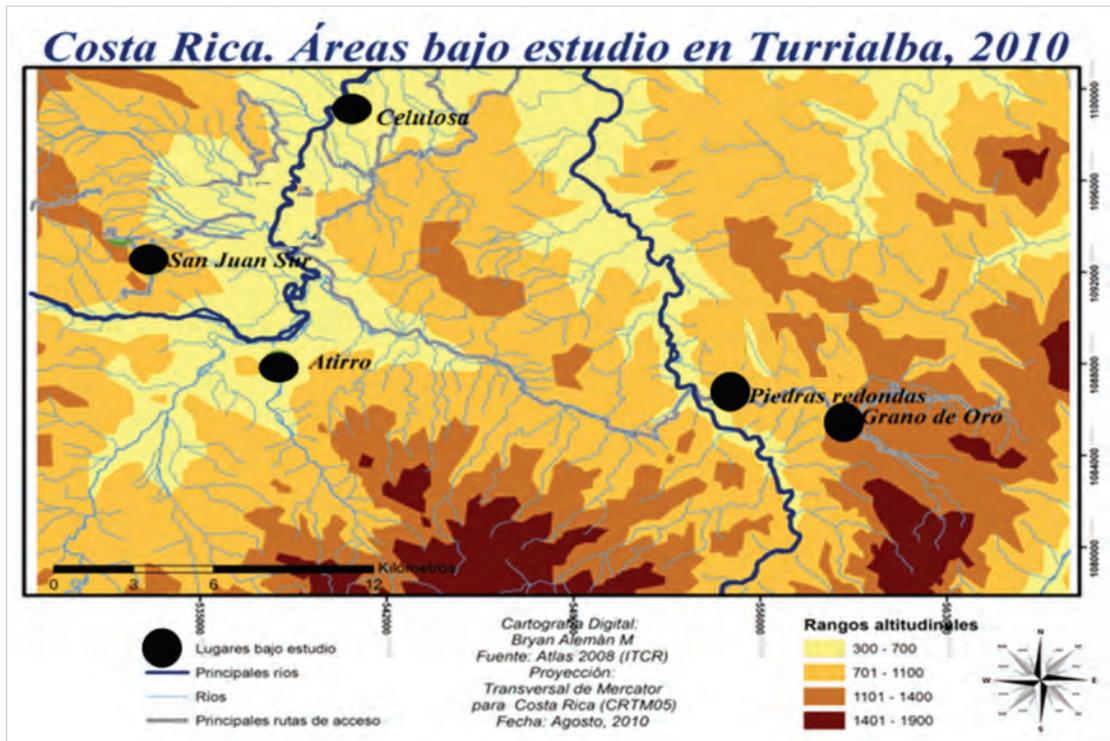


Fig. 1. Mapa de algunas de las zonas productoras de banano de altura en el cantón de Turrialba, Cartago (Ramírez 2010).

Obtención de aislamientos monospóricos

Con ayuda de una aguja de disección estéril se rasparon las lesiones sobre la cáscara de los frutos de banano que presentaban una cantidad visible de acérvulos y se colocó el raspado en un erlenmeyer con 25 ml de agua destilada estéril. Posteriormente, se tomó una alícuota de 10 μ l y se colocó en una caja Petri con medio de cultivo Agar-Agua (Bacto^{IM} Agar. Difco, Le Pont de Claix, Francia) enmendado con 0,5 g.l⁻¹ de cloranfenicol para evitar el crecimiento de bacterias.

La suspensión de esporas se distribuyó sobre la superficie de la caja Petri con ayuda de un asa, con el fin de que las esporas quedaran suficientemente separadas. Posteriormente, las cajas Petri se colocaron en una incubadora por 14 h aproximadamente, a una temperatura de 24°C. Transcurrido este tiempo y con ayuda de

un estereoscopio se identificaron las esporas ligeramente germinadas y se procedió a transferir las esporas individuales a nuevas cajas Petri con el medio de cultivo PDA (papa dextrosa agar, PDA. Difco, Le Pont de Claix, Francia) enmendado con cloranfenicol 0,5 g.l⁻¹ para evitar el crecimiento bacteriano. Una espora por caja Petri. Las cajas Petri se colocaron en una incubadora con una temperatura entre 24 y 26°C por 8 días.

Identificación molecular

Extracción de ADN del hongo

La extracción de ADN se hizo a partir del micelio de cada uno de los 25 cultivos monospóricos (monoconidiales) obtenidos. La extracción del ADN se realizó mediante el protocolo

descrito por Rogers y Bendich (1988) con algunas modificaciones.

Identificación de especies mediante imprimadores específicos

Para la identificación de las especies de *Colletotrichum* asociadas a la antracnosis de banano de altura se utilizó la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), para la amplificación con imprimadores o iniciadores específicos de 2 regiones genómicas: 1. la región de los espaciadores internos transcritos, ITS (Internal Transcribed Spacers, ITS1-5.8S-ITS2, por sus siglas en inglés), del ADN ribosomal (ADNr) y 2. una porción del gen de la β -Tubulina 2.

Para la amplificación de la región ITS se usaron los imprimadores CgInt (5'GGCCTCC-CGCCTCCGGGCGG3') para *C. gloeosporioides* y CaInt2 (5'GGGGAAGCCTCTCGCGG3'), para *C. acutatum*, combinados con el imprimador universal ITS4 (5'TCCTCCGCTTATTGATATGC3'). Las combinaciones de imprimadores fueron CgInt e ITS4 y CaInt2 e ITS4 (Sreenivasaprasad et al. 1996), respectivamente. La porción del gen de la β -Tubulina 2 se amplificó con los imprimadores específicos TBCG (*C. gloeosporioides*, 5'CGGAAGCCTGGGTAGGAGCG 3') y TBCA (*C. acutatum*, 5'CGGAGGCCTGGTTGGGTGAG 3'), combinados con el imprimador TB5 (5'GGTAACCAGATTGGTGCTGCCTT3') (Valero et al. 2010). Cada par de imprimadores se empleó de manera independiente.

Cada reacción de PCR se llevó a cabo en un volumen total de 25 μ l, la mezcla consistió en: 2,5 μ l de Dreamtaq buffer 10X, 1,6 μ M de cada imprimador, 1,7 mM de MgCl₂, 0,16 mM de dNTPs, 0,4 mg.ml⁻¹ BSA, 1,5 U Taq Polimerasa (Fermentas), aproximadamente 30 ng de ADN molde y agua nanopura estéril. La amplificación se realizó en un termociclador Veriti 96 Well Thermal Cycler con el siguiente programa térmico (ITS/ β -Tubulina): desnaturalización inicial a 94°C por 3/5 min; 25/30 ciclos de desnaturalización a 94°C, por 30/45 s, alineamiento a 57°C/62°C por 60/30 s; extensión inicial a 72°C por 45/120 s; y una extensión final de 72°C por

5/7 min. En todos los casos se incluyó controles positivos para *C. gloeosporioides* y *C. acutatum*, así como un control negativo (sin ADN). El producto de PCR se analizó por electroforesis en geles de agarosa al 1% en 0,5X TBE buffer (Tris 10mM, Borato 20 mM, EDTA 1mM) con GelRed (2 μ l/50ml). Las condiciones de la electroforesis fueron 80 voltios por 90 min. Para visualizar el producto de PCR, luego de la electroforesis los geles se colocaron en un transiluminador Kodak EDAS 290.

Evaluación de la sensibilidad in vitro a 3 fungicidas

Para cada fungicida, Mertec 50 SC (ia. tiabendazol), Magnate 75 SG (ia. imazalil) y Rally 40 WP (ia. miclobutanil), se preparó una solución madre a 2000 μ g.ml⁻¹, a partir de la cual se obtuvo las concentraciones a evaluar. El medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA, Difco, Le Pont de Claix, Francia) fue enmendado con una alícuota de la solución madre de manera que se obtuviera las siguientes concentraciones: 0,0; 0,1; 1,0; 10,0; 100,0 μ g.ml⁻¹.

De cada aislamiento (25 en total) se tomaron discos de 8 mm de diámetro del borde de una colonia de 7 días de establecida en medio PDA, como se describió anteriormente. Los discos se colocaron en el centro de las placas Petri en forma invertida, de manera que el micelio quedara en contacto directo con el medio PDA enmendado con cada uno de los fungicidas. Para cada aislamiento y concentración de fungicida se prepararon 4 placas Petri. Las placas Petri se incubaron a una temperatura entre 22°C y 24°C durante 8 días, posteriormente se midió el diámetro de la colonia del hongo en forma horizontal y vertical (diámetro más largo y más corto), y se calculó el promedio para cada aislamiento en cada tratamiento.

Análisis de los datos

Evaluación in vitro de la sensibilidad del crecimiento micelial del hongo *Colletotrichum* sp., a 3 fungicidas poscosecha.

La sensibilidad de cada aislamiento a los fungicidas se evaluó con base en la CE_{50} (Concentración Efectiva Media), la concentración del fungicida que reduce el diámetro de la colonia en un 50% en el medio de cultivo enmendado con

fungicida en relación con el crecimiento en el medio de cultivo sin fungicida. El porcentaje de inhibición del crecimiento micelial fue determinado mediante la fórmula propuesta por Cole et al. (2005):

$$\% \text{inhibición} = \frac{(\text{diámetro promedio en PDA sin fungicida} - \text{diámetro promedio en PDA con fungicida})}{\text{diámetro promedio en PDA sin fungicida}} \times 100$$

Para obtener los valores de CE_{50} correspondiente a la concentración de cada fungicida, los valores promedio de inhibición de crecimiento micelial se graficaron contra el logaritmo de las concentraciones del fungicida y se determinó la regresión lineal. El logaritmo de la CE_{50} se calculó basando en la intersección con el eje "x" que corresponde al valor del 50% de inhibición en la regresión lineal. Los valores de la CE_{50} se calcularon como el antilogaritmo del resultado obtenido del logaritmo. Es decir, se reemplazó el valor "50" en las ecuaciones resultantes que relacionan la variable respuesta, el porcentaje de inhibición (y), con el logaritmo de la concentración del fungicida y se calculó el antilogaritmo.

Se empleó un diseño irrestricto al azar con un arreglo factorial 5x3x5 correspondiente a 5 zonas muestreadas, 3 fungicidas (Mertec 50 SC, Magnate 75 SG, Rally 40 WP) y 5 concentraciones de cada uno de los fungicidas (0,0; 0,1; 1,0; 10,0; 100,0 ppm), con 4 repeticiones. Cada unidad experimental consistió de una caja Petri. Se comparó el valor medio de la CE_{50} entre fungicidas para los 25 aislamientos y entre zonas muestreadas para cada fungicida con el programa Infostat Software Estadístico Versión 2008.

RESULTADOS

Caracterización molecular

La amplificación del ADN, mediante PCR, con los imprimadores especie-específicos para *C.*

gloeosporioides (CgInt) en combinación con el imprimador universal ITS4, produjo un producto de PCR de aproximadamente 450 pb para los 25 aislamientos recolectados en las 5 zonas productoras de banano de altura del cantón de Turrialba; así como para el aislamiento control de *C. gloeosporioides* (+Cg), proveniente de frutos de papaya. Un ejemplo de los productos de PCR obtenidos se muestra en la Figura 2. No se obtuvo producto de amplificación con el aislamiento control de *C. acutatum* (+Ca). Un producto de PCR de aproximadamente 500 pb se obtuvo para el aislamiento control *C. acutatum* (+Ca), cuando se empleó el par de imprimadores CaInt2 (específico para *C. acutatum*) e ITS4; mientras que no hubo producto de amplificación para los aislamientos provenientes de banano de altura (Figura.3), ni para el control de *C. gloeosporioides*. En ambos casos, el tamaño de los productos de PCR corresponden al esperado con los imprimadores especie-específicos, 450 pb *C. gloeosporioides* y 500 pb *C. acutatum*, respectivamente (Sreenivasaprasad et al. 1996).

La amplificación del ADN de los 25 aislamientos provenientes de banano de altura con los imprimadores especie-específicos TBCG (*C. gloeosporioides*) y TBCA (*C. acutatum*), en combinación con el imprimador TB5, correspondientes a una región del gen de la β -tubulina, coincidió con los resultados anteriores. Un producto de PCR de aproximadamente 350 pb se observó para todos los aislamientos provenientes de banano y para el aislamiento control de *C. gloeosporioides* (+Cg), cuando se empleó el par

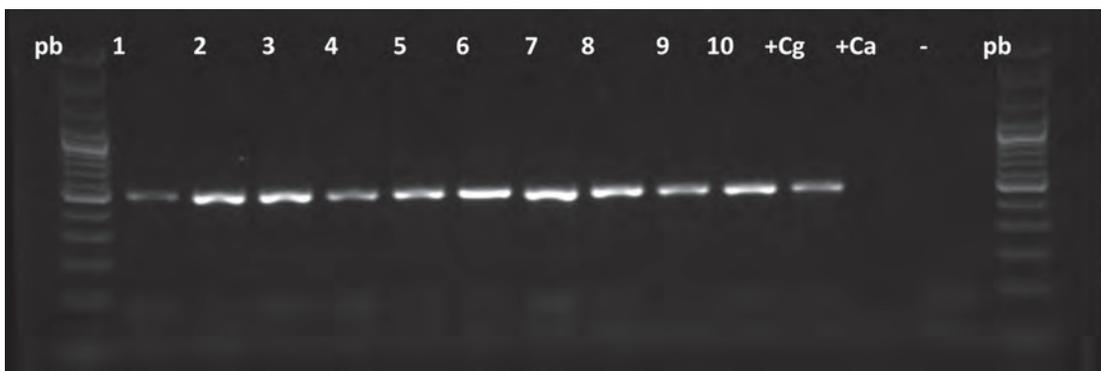


Fig. 2. Electroforesis en gel de agarosa de productos PCR obtenidos del ADN ribosomal de los aislamientos de *Colletotrichum* proveniente de frutos de bananos infectados (1 a 10) y controles (+Cg corresponde a *C. gloeosporioides*, +Ca corresponde a *C. acutatum*, -control negativo sin ADN), con los imprimadores CgInt + ITS4.

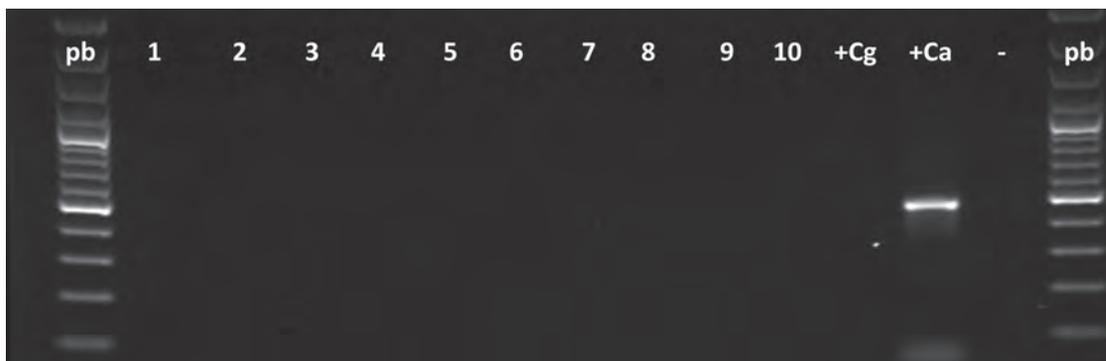


Fig. 3. Electroforesis en gel de agarosa de productos PCR obtenidos del ADN ribosomal de los aislamientos de *Colletotrichum* proveniente de frutos de bananos infectados (1 a 10) y controles (+Cg corresponde a *C. gloeosporioides*, +Ca corresponde a *C. acutatum*, -control negativo sin ADN), con los imprimadores CaInt2 + ITS4.

de imprimadores TBCG y TB5; en tanto que no se obtuvo amplificación para el aislamiento control de *C. acutatum* (+Ca). La Figura 4 muestra un ejemplo de los productos de PCR obtenidos con los imprimadores TBCG y TB5. Para el aislamiento control de *C. acutatum* (+Ca), un producto de PCR de aproximadamente 350 pb se produjo con la combinación de imprimadores

TBCA y TB5, en tanto que para ninguno de los aislamientos de banano de altura o el control de *C. gloeosporioides* (+Cg) se observó producto de PCR (Figura 5). En ambos casos, el tamaño de los productos de PCR corresponden al esperado con estos imprimadores especie-específicos, 350 pb *C. gloeosporioides* y 350 pb *C. acutatum* (Valero et al. 2010).

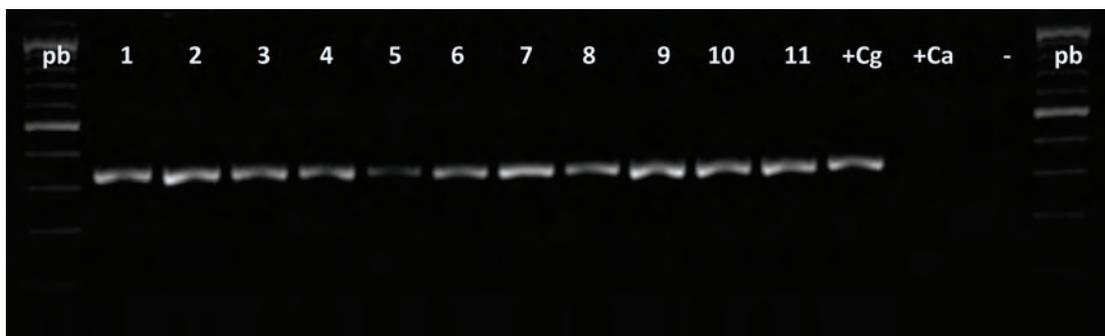


Fig. 4. Electroforesis en gel de agarosa de productos PCR obtenidos del ADN de los aislamientos de *Colletotrichum* proveniente de frutos de bananos infectados (1 a 5) y controles (+Ca corresponde a *C. acutatum*, +Cg corresponde a *C. gloeosporioides*, -control negativo sin ADN), con los imprimadores generados apartir de β -tubulina TB5+TBCG para *C. gloeosporioides*.



Fig. 5. Electroforesis en gel de agarosa de productos PCR obtenidos del ADN de los aislamientos de *Colletotrichum* proveniente de frutos de bananos infectados (1 a 5) y controles (+Ca corresponde a *C. acutatum*, +Cg corresponde a *C. gloeosporioides*, -control negativo sin ADN), con los imprimadores generados apartir de β -tubulina TB5 + TBCA para *C. acutatum*.

Sensibilidad del crecimiento micelial del hongo *Colletotrichum* sp., a los fungicidas tiabendazol, imazalil y miclobutanil

La CE_{50} promedio para los 25 aislamientos varió significativamente ($p \leq 0,01$) entre los 3 fungicidas evaluados (Cuadro 2). El fungicida tiabendazol presentó la CE_{50} promedio más baja $0,072 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, un rango de $0,008$ a $0,129 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, seguido por el imazalil ($1,70 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ dentro de un rango de $0,06$ a $5,10 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$) y el miclobutanil ($3,98 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, en un rango de $1,07$ a $6,30 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$). El mayor rango

en sensibilidad lo presentó el tiabendazol con 16,12 veces de diferencia entre la CE_{50} más alta y la más baja (FR). Imazalil y miclobutanil presentaron un FR similar 4,69 y 5,88 veces, respectivamente.

La frecuencia de aislamientos según su CE_{50} se presenta en la Figura 6. Para los fungicidas tiabendazol e imazalil, los valores de CE_{50} presentaron una distribución unimodal; mientras que para el miclobutanil se observó una distribución bimodal. Para el tiabendazol, todos los aislamientos presentaron valores promedio de CE_{50} menores a $0,55 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$,

Cuadro 2. Concentración efectiva media promedio (CE₅₀) del tiabendazol, imazalil y miclobutanil, determinada a partir de la sensibilidad del crecimiento micelial del hongo *Colletotrichum gloesporioides*, proveniente de 5 zonas productoras de banano de altura en el cantón de Turrialba, Cartago.

Fungicida	CE ₅₀ (µg.ml ⁻¹)	Desviación	Rango (µg.ml ⁻¹)	FR
Tiabendazol	0,072 A	±0,049	0,008-0,129	16,12
Imazalil	1,708 B	±0,626	0,575-2,70	4,69
Miclobutanil	3,987 C	±1,684	1,072-6,30	5,88

FR: Mayor CE₅₀/ Menor CE₅₀. Prueba estadística utilizada: LSD Fisher (p≤0,01).

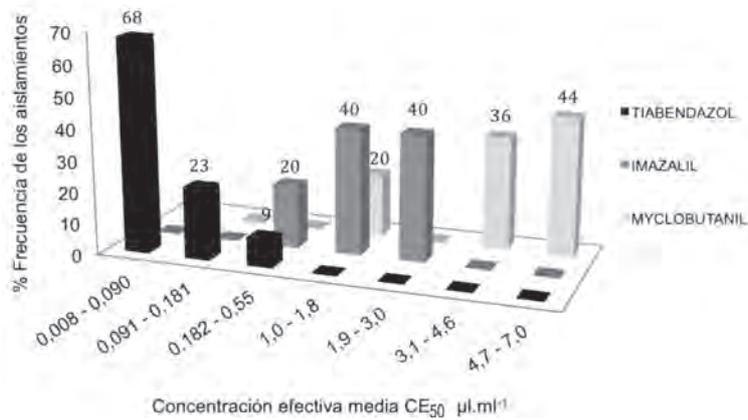


Fig. 6. Distribución de la frecuencia de la sensibilidad al tiabendazol, imazalil y miclobutanil en 25 aislamientos de *Collectotrichum* sp., proveniente de 5 zonas del cantón de Turrialba, Cartago.

mientras que para el imazalil el 80% de los aislamientos mostró valores entre 1,0 y 3,0 µg.ml⁻¹ y para el miclobutanil el 80% entre 3,0 y 7,0 µg.ml⁻¹.

En relación con las 5 zonas muestreadas, se observaron diferencias significativas (p≤0,01) para la CE₅₀ promedio entre zonas para cada fungicida y entre fungicidas para cada zona (Cuadro

3). Piedras Redondas presentó los valores más bajos de CE₅₀ para los fungicidas tiabendazol e imazalil (0,04 y 1,13 mg.l⁻¹ respectivamente); mientras que para las otras zonas, el valor de la CE₅₀ dependió del fungicida. Algunas zonas, San Juan Sur por ejemplo, presentó el valor más alto de CE₅₀ para un fungicida (imazalil; 2,28 mg.l⁻¹) y el más bajo para otro (miclobutanil; 1,10 mg.l⁻¹).

Cuadro 3. Valores promedio de la concentración efectiva media (CE_{50}) de 3 fungicidas determinada a partir de la sensibilidad del crecimiento micelial del hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, proveniente de 5 zonas productoras de banano de altura en el cantón de Turrialba, Cartago.

Localidad	Fungicidas											
	Tiabendazol			Imazalil			Miclobutanil					
	CE_{50} ($mg.l^{-1}$)	Desv (+/-)	Rango	CE_{50} ($mg.l^{-1}$)	Desv (+/-)	Rango	CE_{50} ($mg.l^{-1}$)	Desv (+/-)	Rango			
Piedras Redondas	0,04 A a	0,04	0,008-0,105	1,13 A a	0,88	0,575-2,692	4,68 BC b	0,15	4,46-4,78			
Celulosa	0,05 AB a	0,01	0,068-0,095	1,89 AB a	0,56	1,259-2,692	5,17 C b	0,54	4,57-6,02			
San Juan Sur	0,05 AB a	0,01	0,028-0,105	2,28 AB b	0,12	2,089-2,399	1,10 A c	0,05	1,04-1,17			
Grano Oro	0,05 AB a	0,03	0,048-0,117	1,44 AB a	0,33	0,891-1,778	5,3 C b	1,26	3,16-6,31			
Aiirro (FEJMA)	0,12 B a	0,06	0,069-0,219	1,80 B b	0,38	1,349-2,344	3,68 B c	0,18	3,54-3,98			

Letras mayúsculas diferencias entre CE_{50} para cada una de las zonas, letras minúsculas diferencias para cada uno de los fungicidas por zona. Prueba estadística utilizada: LSD Fisher ($p \leq 0,01$).

DISCUSIÓN

Al igual que los bananos producidos comercialmente en las zonas costeras, el banano producido en el cantón de Turrialba (banano de altura) y cultivados bajo un sistema de no aplicación de fungicidas también es afectado por la antracnosis, lo que podría limitar su comercialización como producto fresco de exportación. En Filipinas, pequeños productores cultivan banano cerca de sus casas sin la aplicación de fungicidas en pre o poscosecha, los cuales son exportados a Japón, donde los consumidores prefieren este tipo de producto, sin embargo, la calidad de los frutos al llegar al mercado final es muy pobre debido a las enfermedades poscosecha, entre ellas la antracnosis, con una incidencia del 83% (Alvindhia y Natsuaki 2008).

Identificación molecular

La amplificación del ADN, mediante PCR con imprimadores específicos para *C. gloeosporioides* y *C. acutatum*, tanto de la región ITS como para una porción del gen de la β -tubulina, indicó que los 25 aislamientos de *Colletotrichum* spp., obtenidos de banano de altura en el cantón de Turrialba, corresponden a la especie *C. gloeosporioides*. Para ambas regiones se obtuvo un producto de PCR con los imprimadores específicos para *C. gloeosporioides* para los aislamientos provenientes de banano y el aislamiento control de (*C. gloeosporioides*) proveniente de papaya; pero no cuando se utilizó imprimadores específicos para *C. acutatum*. Con estos últimos se obtuvo amplificación únicamente para el aislamiento control de *C. acutatum*. El tamaño de producto de PCR fue de 450 pb para CgInt /ITS4 y 350 pb para TBCG /TB5, correspondiente al tamaño esperado para la amplificación con estos imprimadores de ADN perteneciente a *C. gloeosporioides* (Sreenivasaprasad et al. 1996, Valero et al. 2010). Ambos pares de imprimadores se han utilizado ampliamente para la confirmación de *C. gloeosporioides* como el agente causal de la antracnosis en diferentes hospedantes, incluidos frutos tropicales como, mango, marañón y papaya

(Sreenivasaprasad y Talhinhos 2005, Medeiros et al. 2010).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Hernández (2009), para aislamientos costarricenses provenientes de fincas de banano para exportación, ubicadas en las zonas Huetar Norte y Huetar Atlántica; y con los de Peres et al. (2002) en Brasil y Chung et al. (2010) en Taiwán; quienes determinaron que *C. gloeosporioides* es el agente causal de la antracnosis en banano.

Colletotrichum musae ha sido considerada la especie causante de la antracnosis en banano, con base en su especificidad por el hospedante (Peres et al. 2002, Lima et al. 2003, Hernández 2009, Jeger et al. 1995). Sin embargo, análisis filogenéticos recientes indican que *C. musae* y *C. gloeosporioides* son co-específicas, es decir no se diferencian como especie una de la otra (Moriwaki et al. 2002 y Du et al. 2005). En adición, Freeman y Katan (1997) señalan que la diferenciación de especies dentro del género *Colletotrichum* con base en el hospedante no es un criterio confiable. Por otra parte, *C. gloeosporioides* ha sido definida como una especie compuesta por aislamientos que difieren fisiológicamente, con algunos más virulentos hacia ciertos hospedantes que otros (Suzuki et al. 2010). Recientemente, Medeiros et al. (2010) demostraron la variabilidad intraespecífica presente en *C. gloeosporioides*, con la técnica ISSR (Secuencia entre Repeticiones Simples), que consiste en la amplificación mediante PCR del fragmento ubicado entre los microsatélites. Aislamientos de *C. gloeosporioides* provenientes de diferentes hospedantes, cebolla, mango, marañón, se agruparon de acuerdo al hospedante, lo que indica diferencia entre los aislamientos y especificidad por hospedante, dentro de la misma especie.

La evidencia recolectada a la fecha indica que *C. musae* es un linaje dentro de *C. gloeosporioides*, con especificidad hacia frutos de banano (Hernandez 2009). Por antigüedad en descripción y nomenclatura, *C. gloeosporioides* debe considerarse como la especie causante de la antracnosis en banano. Sin embargo, desde un punto de

vista práctico, aún se mantiene a *C. musae* como el agente causal de la antracnosis del banano (Niroshini y Karunaratne 2009, De Lapeyre de Bellaire et al. 2010); posiblemente hasta determinar si otras regiones del genoma permiten separar ambas especies y validar la taxonomía molecular dentro del género *Colletotrichum* (Hyde et al. 2009, Shivas y Tan 2009, Phoulivong et al. 2010).

Por otra parte, se ha demostrado que *Colletotrichum gloeosporioides* es una especie compleja que contiene varias especies genética y biológicamente separadas (por ejemplo, *Colletotrichum asianum*, *Colletotrichum fragariae*, *Colletotrichum fruticola*, *Colletotrichum gloeosporioides* sensu stricto, B. Weir y P.R. Johnst., *Colletotrichum kahawae* J.M. Waller y Bridge, and *Colletotrichum siamense*) y se ha denominado complejo 'gloeosporioides' (Phoulivong et al. 2010). *C. gloeosporioides* sensu stricto incluiría a los aislamientos reconocidos como *C. gloeosporioides*. De manera que cabe la posibilidad que los 2 pares de imprimadores utilizados en el presente estudio no sean específicos para *C. gloeosporioides* sensu stricto sino que identifican a miembros del complejo 'gloeosporioides'. Análisis filogenéticos basados en diferentes loci permitirán dilucidar esta situación.

Sensibilidad a fungicidas

Todos los aislamientos evaluados fueron sensibles al tiabendazol. Ningún aislamiento presentó una CE_{50} igual o superior a $1,0 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, a partir de la cual los aislamientos se consideran insensibles al fungicida (De Lapeyre de Bellaire y Dubois 1997). Este resultado contrasta con lo observado para aislamientos provenientes de zonas bananeras de producción intensiva para exportación tanto en Costa Rica (Hernández 2009) como en otros países (De Lapeyre de Bellaire y Dubois 1997), donde se ha encontrado aislamientos insensibles al tiabendazol. Para Costa Rica, Hernández (2009) determinó que el porcentaje de aislamientos insensibles al tiabendazol varió de un 25 a un 66%, según la finca.

La pérdida de sensibilidad al tiabendazol ha sido asociada al uso de fungicidas del mismo

grupo, benzimidazoles, para el combate de enfermedades en campo (pre-cosecha), particularmente benlate para el combate de la Sigatoka Amarilla (*Mycosphaerella musae*) (De Lapeyre de Bellaire y Dubois 1997). Los aislamientos analizados provienen de una zona sin historial de aplicación de fungicidas en banano, a excepción de Atirro (FEIMA), lo que explicaría la ausencia de aislamientos con pérdida de sensibilidad al tiabendazol.

Aislamientos provenientes de áreas regularmente expuestas a los fungicidas muestran por lo general una CE_{50} mayor que la de aislamientos de zonas sin uso frecuente de fungicidas, debido a la presión de selección que ejerce el agroquímico (Wong et al. 2007). En algunos casos, la población puede volverse insensible al fungicida, lo que se refleja en el campo como falta de combate del patógeno (resistencia de campo), perdiéndose una estrategia de manejo de la enfermedad. Los aislamientos asociados a banano de altura en el cantón de Turrialba presentaron una CE_{50} promedio para el tiabendazol de $0,07 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ con un rango de $0,008-0,129 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. Hernández (2009) determinó para aislamientos provenientes de un 50% de las fincas bananeras que analizó, una CE_{50} promedio superior a $3 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. Una de las fincas ubicadas en el Valle la Estrella (Finca Río La Estrella) tuvo una CE_{50} de $55 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$.

Una proporción importante de aislamientos mostró una reducida sensibilidad al imazalil (80%) y al miclobutanil (100%). Este resultado concuerda con lo observado por Hernández (2009) para aislamientos de *Colletotrichum* sp., recolectados de banano proveniente de zonas silvestres (sin aplicación de fungicidas) y plantaciones comerciales (con aplicación de fungicidas). Ambos fungicidas pertenecen al grupo de inhibidores de la desmetilación del esterol o en inglés "sterol demethylation inhibitors" (DMIs por sus siglas en inglés). Una correlación positiva entre la sensibilidad o pérdida de sensibilidad a fungicidas dentro de este grupo ha sido observada para diferentes patógenos, incluidos aislamientos del género *Colletotrichum* (Wong et al. 2007, Sombardier et al. 2010).

La baja eficacia del imazalil sobre aislamientos de *Colletotrichum* de banano no es sorprendente; a pesar de su uso actual en el combate de enfermedades poscosecha del banano, antracnosis y pudrición de corona (Aked et al. 2001, Villalta et al. 2006, Demerutis et al. 2008). En 1997, De Lapeyre de Bellaire y Dubois, en Guadalupe, indicaron que el imazalil, a pesar de ser otro de los fungicidas aprobados para el combate de enfermedades poscosecha, no podía ser considerado como un reemplazo del tiabendazol por su baja eficacia en el control de *C. musae*. Los resultados del presente trabajo y los de Hernández (2009) apoyan esta afirmación para las poblaciones costarricenses del agente causal de la antracnosis del banano.

El uso actual del imazalil, a pesar de la presencia de un alto porcentaje de aislamientos con sensibilidad reducida, puede estar asociado al hecho de que las dosis aplicadas para el combate de la enfermedad, entre 250 y 500 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ (Villalta et al. 2006), son lo suficientemente altas para proveer un adecuado combate tanto de los aislamientos sensibles como de aquellos con reducida sensibilidad. Una estrategia de combate con base en el uso de dosis de fungicidas del grupo DMI's relativamente altas ha sido propuesta por Koller y Scheinpflug (1987). Sin embargo, dosis muy altas pueden ser imprácticas y de costo elevado. Por otra parte, la alta proporción de aislamientos con sensibilidad reducida al imazalil indica que fallas en el combate de la enfermedad son previsible en corto tiempo y que se está ante una situación crítica, cuya siguiente etapa es la resistencia práctica o de campo, si no se toman medidas anti-resistencia. Pérez et al. (2001) determinaron una CE_{50} promedio de 0,89 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ para aislamientos de *C. musae*. Esta población fue sensible al imazalil (línea base). Los aislamientos provenientes de banano de altura presentaron una CE_{50} promedio de 1,71 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, aproximadamente el doble; con un 20% de aislamientos con una CE_{50} promedio 3 veces mayor.

Para el miclobutanil, tanto la CE_{50} promedio (3,987 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$) como el factor de rango (FR: 5,88) de los aislamientos de *Colletotrichum*

asociados a banano de altura fueron casi idénticos a la CE_{50} promedio (3,8 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$) y al FR (5,4) determinados por Wong et al. (2007) para aislamientos de *C. cereale* provenientes de zonas expuestas a fungicidas y con pérdida de sensibilidad. Aislamientos recolectados de áreas sin historial de uso del fungicida (línea base) presentaron una CE_{50} promedio de 0,72 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ en un rango de 0,19 a 1,30 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. El FR para esta población fue de 7,2. En el presente trabajo solo los aislamientos de San Juan Sur mostraron una CE_{50} promedio y un rango similar, aunque ligeramente más alto, 1,10 (1,04–1,17) $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. El miclobutanil fue uno de los fungicidas DMI's con menor actividad contra *C. cereale*, por lo que no se recomienda su uso en el combate de este patógeno (Wong et al. 2007).

Si se considera que no existe un registro o historial de uso de fungicidas en banano en el cantón de Turrialba, la baja sensibilidad de los aislamientos al imazalil y al miclobutanil podría estar asociada al uso de fungicidas del grupo DMI's en otros cultivos en la zona, a la inmigración de aislamientos con reducida sensibilidad desde otras áreas o a ambos.

La baja eficacia de los fungicidas imazalil y miclobutanil sobre la especie de *Colletotrichum* asociada a banano llama a una revisión de su uso en el control de la antracnosis. Recientemente, fungicidas del grupo de las estrobirulinas han sido aprobados para su aplicación en banano en poscosecha con resultados promisorios (Schilder et al. 2001, Villalta et al. 2006).

Es recomendable establecer la línea base de sensibilidad a los fungicidas antes de su empleo a gran escala. Esta información puede ser utilizada posteriormente para evaluar cambios en sensibilidad de la población del patógeno blanco en los años siguientes. En el presente estudio, todos los aislamientos de *C. gloeosporioides* (*C. musae*) provenientes de banano de altura, en el cantón de Turrialba, fueron sensibles al fungicida tiabendazol. No obstante, la población mostró un amplio rango de variación de CE_{50} (FR: 16,12), lo que indica la posible existencia de aislamientos con sensibilidad reducida al fungicida. De

implementarse el uso de este fungicida en la zona, para el combate poscosecha de la antracnosis en banano, deben emplearse estrategias para limitar la selección de cepas insensibles. En adición, los datos presentados pueden ser utilizados para monitorear los cambios en sensibilidad de la población de esta zona en los próximos años. Además como población referencia (no expuesta al fungicida) en estudios de comparación de sensibilidad con poblaciones en contacto frecuente con el fungicida o fungicidas del mismo grupo. Por ejemplo, poblaciones del patógeno provenientes de plantaciones comerciales para exportación, como las ubicadas en la zona Atlántica de Costa Rica.

A la fecha, el método de combate más eficaz contra la antracnosis del banano es el químico, basado en la aplicación de fungicidas, principalmente tiabendazol. Sin embargo, el combate químico enfrenta una serie de problemas y limitaciones como la selección de cepas insensibles al fungicida en diferentes partes del mundo (incluida Costa Rica), la eficiencia del fungicida (que varía en función de la época y la zona de producción); preocupaciones en relación con la contaminación del medio ambiente; y finalmente, los consumidores son muy selectivos y prefieren productos que no hayan sido expuestos a agroquímicos, particularmente en poscosecha (Lassois et al. 2010).

Este panorama plantea la necesidad de establecer nuevas estrategias no químicas de combate como: medidas preventivas en el campo y en las empacadoras, técnicas de almacenamiento, métodos físicos y biológicos de combate (Carré et al. 2006, Niroshini y Karunaratne 2009, Lassois et al. 2010, Maqbool et al. 2010); algunas de las cuales ya se implementan o evalúan en plantaciones de banano para exportación en Costa Rica (Demerutis et al. 2008). Para la producción de banano de altura en el cantón de Turrialba, urge investigar la implementación de estas medidas de combate, si se desea obtener un producto de calidad tanto para exportación como para mercado local.

LITERATURA CITADA

- AKED S., KHAN H., MAGAN N. 2001. Control of the anthracnose pathogen of banana (*Colletotrichum musae*) using antioxidants alone and in combination with thiabendazole or imazalil. *Plant Pathology*. 50:601–608.
- ALVINDIA D., NATSUAKI K. 2008. Evaluation of fungal epiphytes isolated from banana fruit surfaces for biocontrol of banana crown rot disease. *Crop Protection* (27):81200-1207.
- CAI L., HYDE K., TAYLOR P., WEIR B., WALLER J., ABANG M., ZHANG J., YANG Y., PHOULIVONG S., LIU Z., PRIHASTUTI H., SHIVAS G., MCKENZIE E., JOHNSTON P. 2009. A polyphasic approach for studying Fungal Diversity 39:183–204.
- CARRÉ V., STANGARLIN J., BECKER A., ZANELLA A., GONÇALVES JÚNIOR A., SCHWAN K., FRANZENER G., CRUZ M. 2006. Postharvest control of *Colletotrichum musae* in banana (*Musa* sp.) with camphor (*Artemisia camphorata*) and chitosan. *Journal Scientia Agraria Paranaensis*. Brasil. 5:57-66.
- COLE T., COLE C., CONWAY E. 2005. Effectiveness of selected fungicides applied with or without surfactant in controlling anthracnose on three cultivars of *Euonymus fortunei*, *Journal of Applied Horticulture*. (7):16-19.
- CHUNG H., CHUNG C., PENG., YANG R., HUANG W. 2010. Specific detection of benzimidazole resistance in *Colletotrichum gloeosporioides* from fruit crops by PCR-RFLP. *Special Issue on Biocatalysis and Agriculture Biotechnology*. 3:17-24.
- DE LAPEYRE DE BELLAIRE L., CHILLET M., LASSOIS L., HAISSAM M. 2010. Crown rot of bananas: Preharvest factors involved in postharvest disease development and integrated control methods. *Plant Disease*. 94:648-658.
- DE LAPEYRE DE BELLAIRE L., DUBOIS C. 1997. Distribution of thiabendazole-resistant *Colletotrichum musae* isolates from Guadalupe banana plantations. *Plant Disease* 81:1378-1383.
- DEMERUTIS C., QUIRÓSL., MARTINUZA., ALVARADO E., WILLIAMS R., ELLIS M. 2008. Evaluation of an organic treatment for post-harvest control of crown rot of banana. *Ecological Engineering* 3 4:324–327.
- DU M., SCHRDL C., NUCKLES E., VAILLANCOURT L. 2005. Using mating-type gene sequence for improved phylogenetic resolution of *Colletotrichum* species complexes. *Mycologia* 97:641-658.

- FREEMAN S., KATAN T. 1997. Identification of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose and root necrosis of strawberry in Israel. *Phytopathology* 87:516-521.
- GUERBER J., LIU B., CORRELL J., JOHNSTON P. 2003. Characterization of diversity in *Colletotrichum acutatum sensu lato* by sequence analysis of two gene introns, mtDNA and intron RFLPs, and mating compatibility. *Mycologia* 95:872-895.
- GUZMÁN M., VILLALTA R. 2008. Eficacia de mezclas de azoxistrobina con tiabendazole para el combate de enfermedades poscosecha del banano (*Musa* AAA). *CORBANA* 34(61):1-10.
- HERNÁNDEZ R. 2009. Sensibilidad a fungicidas poscosecha e identificación molecular del hongo *Colletotrichum* spp., agente causal de la antracnosis en frutos de banano en Costa Rica. Tesis de maestría. San José. Costa Rica. 96 p.
- HYDE K., CAI L., CANNON F., CROUCH A., CROUS W., DAMM U., GOODWIN H., CHEN H., JOHNSTON R., JONES G., LIU Y., MCKENZIE C., MORIWAKI J., NOIREUNG P., PENNYCOOK R., PFENNING H., PRIHASTUTI H., SATO T., SHIVAS G., TAN P., TAYLOR J., WEIR S., YANG L., ZHANG, Z. 2009. *Colletotrichum*-names in current use. *Fungal Diversity* 39:147-182.
- HYDE K., CAI L., MCKENZIE E., YANG Y., ZHANG J., PRIHASTUTI H. 2009. *Colletotrichum*: a catalogue of confusion. *Fungal Diversity* 39:1-17.
- INFOSTAT. 2008. Software estadístico. Manual de usuario. Córdoba, Argentina.
- JEGER M., EDEN-GREEN S., JOHANSON A., WALLER J., BROWN A. 1995. Banana diseases. In: *Banana and Plantains*. Edited by Gowen. Chapman and Hall. London, UK.
- KOLLER W., SCHEINPFLUG H. 1987. Fungal resistance to sterol biosynthesis inhibitors. *Plant Disease*. 71:1066-1074.
- LASSOIS L., BASTIAANSE H., CHILLET M., JULLIEN A., JIJAKLI M., DE LAPEYRE DE BELLAIRE L. 2010. Hand position on the bunch and source-sink ratio influence the banana fruit susceptibility to crown rot disease. *Annals of Applied Biology*. 156:221-229.
- LIMA R., OLIVEIRA S., MENEZES M. 2003. Caracterização enzimática e patogenicidad cruzada de *Colletotrichum* spp., asociados a doenças de pós-colheita. *Fitopatologia Brasileira* 28:620-625.
- LIU B., WASILVA L., MORELOCK T., O'NEIL N., CORRELL J. 2007. Comparison of *Colletotrichum orbiculare* and several allied *Colletotrichum* spp., for mtDNA RFLPs, intron RFLP and sequence variation, vegetative compatibility, and host specificity. *Phytopathology* 97:1305-1314.
- MAQBOOL M., ALI A., RAMACHANDRAN S., SMITH D., ALDERSON P.G. 2010. Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. *Crop Protection* doi:10.1016/j.cropro.2010.06.005.
- MEDEIROS I., MACIEL D., MEDIEROS V., HOULLOU KIDO L., OLIVEIRA N. 2010. *pefB* gene in isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* from several hosts. *Genetics and Molecular Research* 9:661-673.
- MORIWAKI J., TSUKIBOSHI T., SATO T. 2002. Grouping of *Colletotrichum* species in Japan based on rDNA sequences. *Journal Genetic Plant Pathology* 68:307-320.
- NIROSHINI W., KARUNARATNE A. 2009. Interactions of *Colletotrichum musae* and *Lasiodiplodia theobromae* and their biocontrol by *Pantoea agglomerans* and *Flavobacterium* sp., in expression of crown rot of 'Embul' banana. *Biocontrol (NLD)*. 54:587-596.
- PERES N., KURUMAE E., DIAS M., DE SOUZA N. 2002. Identification and characterization of *Colletotrichum* spp., affecting fruit after harvest in Brazil. *Journal. Phytopathology*. 150:128-134.
- PÉREZ L., SÁENZ M., MAURI F. 2001. Control de la pudrición de la corona de los bananos en Cuba. I. Eficacia de benzimidazoles, imidazoles y triazoles. *Fitosanidad* 5:31-38.
- PHOULIVONG S., CAI L., CHEN H., MCKENZIE E., ABDELSALAM K., CHUKEATIROTE E., HYDE K.D. 2010. *Colletotrichum gloeosporioides* is not a common pathogen on tropical fruits. *Fungal Diversity* 44:33-43.
- RAMÍREZ C. 2010. "Ubicación Geográfica y Evaluación de la Calidad de Fruta de Banano de Altura que se produce en el Cantón de Turrialba, Costa Rica". Tesis para licenciatura, Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 69 p.
- RAUT S., RANADE S. 2004. Diseases of banana and their management. *Disease of Fruits and Vegetables*. 2:37-57.
- ROGERS S., BENDICH A. 1988. In: *Plant Molecular Biology Manual*. S. B. Gelvin y R. A. Schilperoort (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp. A6/1-11. (Modificado por SÁNCHEZ-CHIANG, N. 2009, Laboratorio de Técnicas Moleculares para la Fitoprotección, Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos, Universidad de Costa Rica.
- SCHILDER A., GILLET J., SYSAK R. 2001. Evaluation of Fungicides for Control of Anthracnose Fruit rot of blueberries fungicide and infanticide test. sp.
- SHIVAS R., TAN Y. 2009. A taxonomic re-assessment of *Colletotrichum acutatum*, introducing *C. fioriniae*

- comb. et stat. nov. and *C. simmondsii* sp., nov. Fungal Diversity 39:111-122.
- SOMBARDIER A., DUFOUR M., BLANCARD D., CORIO-COSTET M. 2010. Sensitivity of *Podosphaera aphanis* isolates to DMI fungicides: distribution and reduced cross-sensitivity. Pest Manag Sci 66:35-43.
- SREENIVASAPRASAD S., SHARADA K., BROWN A., MILLS P. 1996. PCR-based detection of *Colletotrichum acutatum* on strawberry. Plant Pathology 45:650-655.
- SREENIVASAPRASAD S., TALHINHAS P. 2005. Genotypic and phenotypic diversity in *Colletotrichum acutatum*, a cosmopolitan pathogen causing anthracnose on a wide range of hosts. Molecular Plant Pathology 6:361-378.
- SUSUKI T., TANAKA C., EBIHARA Y., ITU Y., VEMATSU S. 2010. Genetic polymorphism and virulence of *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duchesne). Journal of General Plant Pathology.76:247-253.
- UREÑA A., MACKENZIE S., BOWEN B., LEGARD D. 2002. Etiology and population genetics of *Colletotrichum* spp., causing crown and fruit rot of strawberry. Phytopathology, 92:1245-1252.
- VALERO M., GARCÍA S., GINER M., ARANZAZU A., RUIZ J. 2010. Benomyl sensitivity assays and species-specific PCR reactions highlight association of two *Colletotrichum gloeosporioides* types and *C. acutatum* with rumple disease on Primofiori lemons. European Journal of Plant Pathology. 3:399-405.
- VILLALTA R., SAMPLE M., SHIELDS D., GUZMÁN M. 2006. Evaluación de fungicidas y mezclas de fungicidas para el combate de enfermedades poscosecha del banano (*Musa* AAA). CORBANA 32(59):17-33.
- WONG F., MIDLAND S., DE LA CERDA K. 2007. Occurrence and distribution of QoI-resistant isolates of *Colletotrichum cereale* from annual bluegrass in California. Plant Disease. 91:1531-1546.

MODIFICACIÓN DE OLFATÓMETROS DE CUATRO BRAZOS PARA EXPERIMENTACIÓN EN BROCA DEL CAFÉ, *Hypothenemus hampei* FERRARI (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

Arturo Pacheco¹*, Helga Blanco-Metzler^{**}, Rebeca Mora^{*}

Palabras clave: Broca del café, *Hypothenemus hampei*, olfatometría, olfatómetro de cuatro brazos, atrayente, compuestos volátiles.

Keywords: Coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, olfactometry, four-arm olfactometer, attractant, volatile compounds.

Recibido: 24/11/11

Aceptado: 21/03/12

RESUMEN

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) es considerada la plaga de mayor importancia en el cultivo del café a nivel mundial. Al igual que muchos otros insectos, el comportamiento de la broca se ve modificado por distintas señales olfativas, lo cual ha impulsado la investigación en el campo de la olfatometría, por medio de una gran variedad de estrategias y alternativas. En este experimento se evaluaron 2 diseños innovadores de olfatómetros de flujo de aire de 4 vías para experimentación en *H. hampei*. Estos fueron fabricados totalmente en cristal y difieren entre ellos por la distribución angular de los brazos distribuidores de flujos de aire y la zona de ingreso y adaptación de los insectos al olfatómetro. Para evaluar la funcionalidad de estos diseños se utilizó, como atrayente de acción conocida, una mezcla de metanol-etanol 3:1 y se evaluó la cantidad de hembras adultas atraídas al tratamiento en cada olfatómetro. En el olfatómetro de 90° los insectos se vieron claramente atraídos al brazo que contenía el atrayente, con un porcentaje del 45%, mientras que el olfatómetro

ABSTRACT

Modification of four-arm olfactometers to be used with the coffee borer *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae). The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* is considered to be a major pest in coffee producing countries worldwide. As in many insects, the behavior of the coffee borer is modified through aromatic signals. This has triggered important research within the different approaches of olfactometry. Two new innovative designs of olfactometers were evaluated to be used on *H. hampei* for this research. The olfactometers were built of glass and differ in the angular distribution of their arms and in the insect's inlet and adaptation zone. A mixture of methanol-ethanol 3:1, with proven attraction properties, was used to evaluate the functionality of these olfactometers. The bioassays were performed using only adult females of *H. hampei*. On the 90° olfactometer, 45% of the insects were strongly attracted to the arm comprised of the alcohol mixture. In the case of the 30° olfactometer the positive behavior response was only of 1.5%. During the

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: arturo.pachecosolana@gmail.com

* Centro de Investigación en Biología Celular y Molecular, CIBCM, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

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

de 30° tan solo alcanzó un 1,5% de atracción. Las observaciones realizadas durante estas pruebas dejaron en evidencia que las estrategias de ingreso de los insectos a los olfatómetros y el área de ambientación influyeron de manera importante en estos resultados. En una segunda etapa se evaluó el olfatómetro de 90°, al comparar los promedios de atracción de cada uno de sus 4 brazos, y se verificó que las diferencias de atracción en cada brazo no fueron significativas ($p \leq 0,05$). Se concluye que el diseño del olfatómetro de 90° es apropiado para realizar pruebas de atracción a compuestos volátiles en hembras adultas de *H. hampei*.

INTRODUCCIÓN

El café es uno de los cultivos de mayor importancia económica en una gran cantidad de países tropicales. Hoy en día es cultivado en más de 60 países (Waller et al. 2007) con un estimado anual de ventas al detalle de más de \$70 mil millones (Vega et al. 2006). Alrededor de 25 millones de productores dependen del cultivo de café como medio de sustento (Waller et al. 2007).

En muchos países la producción de café está seriamente amenazada por diferentes plagas y enfermedades; entre estas se encuentra la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) la cual es una seria plaga en prácticamente todas las regiones productoras de café con la excepción del archipiélago Hawaiano (Vega et al. 2006).

La broca del café al igual que la gran mayoría de insectos se ve atraída por diversas señales olfativas. Las investigaciones sobre atracción olfativa de los insectos plaga, por compuestos volátiles liberados desde sus plantas hospederas, son cada vez mas frecuentes (Dickens 1999). Todos estos estímulos olfativos tienen un potencial importante en el desarrollo de técnicas biológicas para el control de plagas (Sengonca y Kranz 2001).

assays it was observed that the different insect insertion strategies into the olfactometers and the adaptation area had a major influence on results. During the second stage of this research, the 90° olfactometer was evaluated through a comparison of the average attraction of each of its 4 arms; there were no significant differences ($p \leq 0,05$) in attraction response of *H. hampei* between arms of the device. It is concluded that the 90° olfactometer design is suitable to develop volatile-compound attraction assays on adult females of *H. hampei*.

La investigación en olfatometría para la broca del café ha sido poca y enfocada hacia trampeo en campo (Borbón y Mora 2000). Los estudios de laboratorio se han realizado con varios tipos de olfatómetros, adaptándolos a las necesidades de cada investigación pero sin comprobar su eficiencia con respecto a las características y comportamiento del insecto (Mendesil et al. 2009).

Existen 2 tipos generales de diseño para los olfatómetros: los de aire estático y los de flujo de aire. Los olfatómetros de aire estático se usan para medir respuestas quimiotáctiles u olfativas a corta distancia o en situaciones en donde las señales químicas se difunden en el espacio sin ser transportadas por una corriente de aire. Los de flujo de aire se usan en estudios encaminados a la detección y medición de respuestas de atracción de insectos a señales olfativas emitidas en distancias largas y medianas, ya que permite evaluar conductas de anemotaxis desencadenadas por aromas contenidos en una corriente de aire (López-Ávila y Rincón 2006).

Los olfatómetros de flujo de aire deben utilizar un sistema que permita mantener un flujo continuo del aire dentro del dispositivo. Existen 3 modelos básicos en este tipo de olfatómetro: túnel de viento, tubo en 'Y' y de 4 vías. El olfatómetro

de túnel de viento tiene la virtud de contar con una cámara de decisión amplia especialmente útil para insectos con capacidad de vuelo. Su deficiencia se encuentra en que sólo permite evaluar un compuesto a la vez. Los olfatómetros en Y permiten empezar a discernir elecciones por parte del insecto al existir 2 opciones de ruta, pero han presentado algunos problemas en el manejo de los flujos de aire. El primer diseño de un olfatómetro de flujo de aire de 4 vías fue desarrollado por Pettersson (1970) para estudiar respuestas de áfidos a feromonas sexuales; estos permiten observar relaciones más complejas de atracción y repelencia a varios compuestos en un solo experimento. Otra ventaja es la posición en que puede ser ingresado el insecto justo en el centro de los flujos de aire, pero en general tienen la deficiencia de tener campos de decisión muy pequeños y normalmente son más utilizados para pruebas en las que sólo se usa un insecto y se registra el tiempo en que el insecto se mueve sobre cada zona del olfatómetro.

En este trabajo se presentan 2 diseños innovadores de olfatómetros de flujo de aire de 4 vías, fabricados totalmente en cristal para evitar cualquier persistencia de compuestos aromáticos en sus paredes. Se incluye además, 2 distribuciones diferentes de los brazos por donde ingresan los aromas, al igual que 2 estrategias diferentes de ingreso de los insectos al olfatómetro.

La combinación de estas diferentes características en ambos diseños, son las que se evaluaron mediante el uso de un compuesto de atracción comprobada sobre la broca, para así poder determinar cual olfatómetro tiene el mejor desempeño y utilizarlo posteriormente en nuevas pruebas olfatómetricas en *H. hampei*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de validar el desempeño de 2 dispositivos olfatómetricos para broca del café se evaluaron modificaciones de 2 olfatómetros de 4 vías (Figura 1) descritos por Morales (1989)

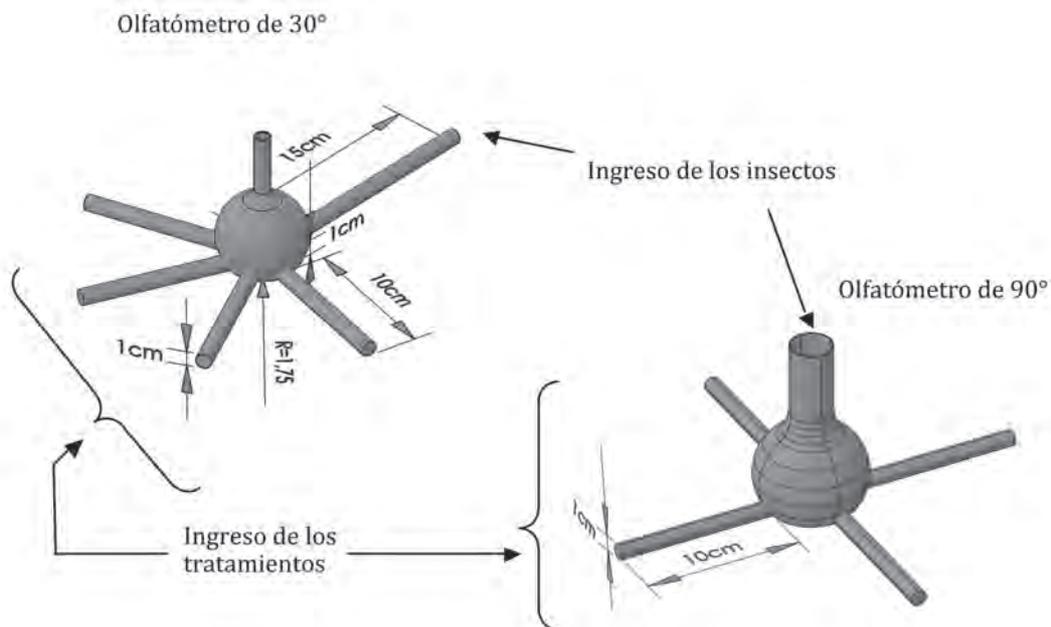


Fig. 1. Dos diseños innovadores de olfatómetros puestos a prueba con un atrayente de acción comprobada sobre *H. hampei*.

y López-Ávila y Rincón (2006). Se realizaron pruebas olfatómetricas con compuestos volátiles de acción conocida y comprobada, en este caso se utilizó la mezcla de metanol y etanol en proporción 3:1 utilizada en investigaciones sobre trampeo (Borbón y Mora 2000) y específicamente se usó la mezcla comercial que actualmente distribuye el CICAFFE (Centro de Investigaciones en Café) entre los productores de café en Costa Rica, para usar en trampas de campo. Se evaluó la cantidad de insectos atraídos al tratamiento y se determinó cual olfatómetro presentaba un mejor desempeño.

Los insectos utilizados en los bioensayos se obtuvieron de la colonia que actualmente se mantiene en dieta artificial en el insectario del Centro de Investigaciones en Biología Celular y Molecular (CIBCM) de la Universidad de Costa Rica. Esta colonia de broca de café se desarrolló con los parámetros de cría descritos por Obando (2002) al igual que las modificaciones de la dieta artificial tipo Cenibroca II recomendados por Portilla y Streett (2008). Para la reproducción de los insectos se utilizan placas multipozo de 24 pozos marca Evergreen, donde se dispensa

la dieta artificial y se colocan 4 hembras de *H. hampei* por pozo. Las placas se colocan en cajas plásticas que representan un lote y una generación. Todos los lotes se mantienen en una incubadora a 80% de humedad relativa y 27°C. La población de insectos se renueva y mantiene la suficiente variabilidad genética con ingresos de nuevos individuos cada 3 meses. Estos provienen de la colonia en grano de campo del CICAFFE en Barva de Heredia, la cual se mantiene en constante regeneración con material infestado de diversas fincas del país.

Para realizar los bioensayos se utilizaron exclusivamente hembras adultas colonizadoras. Estas hembras son aquellas que salen por si mismas del pozo con dieta en busca de un nuevo sitio apto para ovopositar. Estas hembras se recolectan fácilmente pues en cada lote se coloca un pliego de papel toalla en el fondo, al cual estas hembras se adhieren.

El área mecánica y el sistema de distribución de aromas de los olfatómetros se basó en la utilizada por Sengonca y Kranz (2001) y Mendesil et al. (2009) y se presenta de forma esquematizada en la Figura 2. El atrayente se hizo

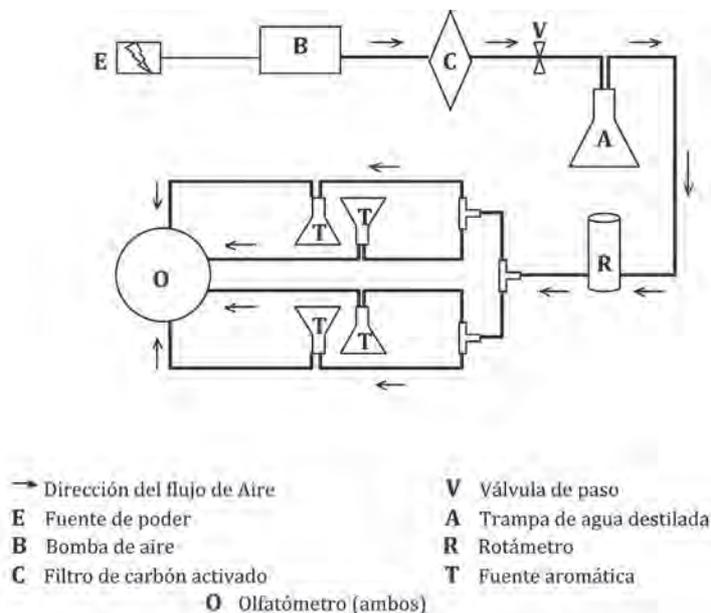


Fig. 2. Representación esquematizada de todos los componentes de ambos olfatómetros de 4 brazos modificados.

llegar al olfatómetro con ayuda de una bomba de aire marca Barnant Co. Modelo 400-3901 (115 vac, 60 Hz) que impulsó una corriente de aire hasta ser forzada a pasar a través de un filtro de carbón activado, para posteriormente pasar a través de una trampa de agua destilada para filtrar cualquier impureza restante y agregar humedad a la corriente de aire. Por último, se colocó un rotámetro para medir el flujo de aire y 3 piezas T para separar en 4 flujos iguales la corriente de aire, hacia cada uno de los tratamientos en erlenmeyers de 125 ml y posteriormente al olfatómetro.

Se modificaron los diseños originales de la zona central del olfatómetro, donde se colocaron a los insectos para adecuarse al tamaño de *H. hampei* y facilitar la observación de los individuos durante los bioensayos. La cámara central se amplió principalmente en altura (5 cm.) para permitir que el insecto vuele con mayor libertad en busca de la preferencia aromática. También los brazos fueron diseñados con 10 cm. de longitud para asegurar la decisión del insecto una vez dentro del brazo. La pieza central de los olfatómetros se fabricó como una sola pieza de vidrio para evitar la adherencia de compuestos aromáticos en su estructura. Ambos dispositivos fueron diferenciados en su nombre por el ángulo de inserción de sus brazos.

Prueba olfatómétrica

Con base en un sistema similar al utilizado por Mendesil et al. (2009), cada experimento tuvo una duración de 16 min, con alternancia en la posición del atrayente cada vez que se iniciaba una nueva sesión experimental. El flujo de aire se calibró en $200 \text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}$ según las recomendaciones de Sengonca y Kranz (2001) sobre flujos de aire máximos, mínimos e ideales para insectos de tamaño pequeño.

El área de trabajo se cubrió por todos sus costados con malla aluminizada de tipo Aluminet® 50%, para evitar estímulos visuales no deseados, gracias al efecto de difusión y homogenización de la luz que produce el tejido torneado de este material. La iluminación se realizó de abajo hacia arriba con 6 lámparas fluorescentes

de luz blanca cubiertas por una lámina de papel pergamino blanco translúcido para conseguir un efecto de luz difusa.

Los insectos se mantuvieron primero por 5 min en el área de ambientación para luego dejarlos libres en el dispositivo. En ese momento se abrían los flujos de aire con el respectivo atrayente. En el olfatómetro de 90° el área de ambientación consistía en un tubo de cristal, de diámetro apenas menor que la columna central del olfatómetro, el cual se introducía por esta última para así colocar a los insectos directamente en el fondo de la cámara central del olfatómetro. Al pasar el tiempo de ambientación simplemente se retiraba el tubo y las brocas quedaban libres dentro del dispositivo. En el caso del olfatómetro de 30° el área de ambientación consistía en una pieza plástica con forma de codo cuyo extremo inferior se acoplaba al brazo de ingreso de los insectos. En la unión de ambas piezas se colocó una malla de tergal que era retirada fácilmente pasados los 5 min de ambientación para que los insectos quedaran libres frente a la corriente de aire del olfatómetro.

Debido al alto costo de la pieza central de cristal del olfatómetro sólo se contó con una y por lo tanto se procedió a aleatorizar las secuencias de tratamientos y repeticiones. De igual manera esta pieza de cristal se lavó con alcohol de 95% y acetona (grado técnico para HPLC) entre repeticiones para eliminar cualquier rastro aromático que pudiera quedar entre experimentos. Adicionalmente dicha pieza se autoclavó durante 25 min, entre las distintas pruebas, junto con el resto de piezas de cristal y manguerillas que conformaron todo el sistema del olfatómetro.

Diseño experimental y análisis estadístico

Para los experimentos en cada uno de los olfatómetros se usó un diseño irrestricto al azar. Se realizaron 3 repeticiones en cada uno de los brazos de ambos olfatómetros, considerándolos como 2 tratamientos diferentes a causa de los ángulos de inserción de sus brazos y se utilizaron 50 individuos por repetición. La variable de respuesta fue el ingreso permanente del insecto a la

zona exclusiva del tratamiento, los insectos que transcurridos los 16 min del tiempo estipulado se mantenían en la cámara central se les asignaba el estado de SR (sin respuesta).

Para el análisis estadístico se utilizaron los conteos de brocas observadas en los brazos de la cámara principal del olfatómetro. Se obtuvo el total de brocas en cada uno de los brazos, se promediaron y se efectuó un ANDEVA (análisis de variancia) para cada experimento. También se realizó una prueba LSD Fisher para encontrar diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos. El análisis se realizó con el software Infostat®.

RESULTADOS

Las hembras adultas de la broca del fruto del café presentaron comportamientos claramente contrastantes entre ambos diseños de olfatómetros. La Figura 3 muestra como en el olfatómetro de 90° los insectos se vieron fuertemente atraídos al brazo que contenía el atrayente de etanol-metanol, con un promedio

cercano a los 24 individuos, mientras que en el olfatómetro de 30° este promedio apenas alcanzó los 3 individuos. También se pudo observar que en ambos dispositivos hubo un promedio alto de insectos que no presentaron respuesta al tratamiento, esto quiere decir que al terminar el tiempo de tratamiento los insectos se encontraban dentro de la cámara central de los olfatómetros o en el área de ingreso. La mayoría de los individuos “sin respuesta” no presentaron comportamiento de vuelo y en general caminaban hacia arriba por la columna superior que permite la salida de las corrientes de aire en ambos dispositivos. En el caso particular del olfatómetro de 30°, muchos insectos se quedaron inmóviles en la unión del dispositivo de ambientación y el brazo de ingreso del olfatómetro. Por su parte en la Figura 3 también se puede observar que los resultados obtenidos por el olfatómetro de 90° indican que el número promedio de individuos atraídos por el tratamiento (una media de 24) fue mayor que aquellos que no presentaron ninguna respuesta (alrededor de 17 individuos).

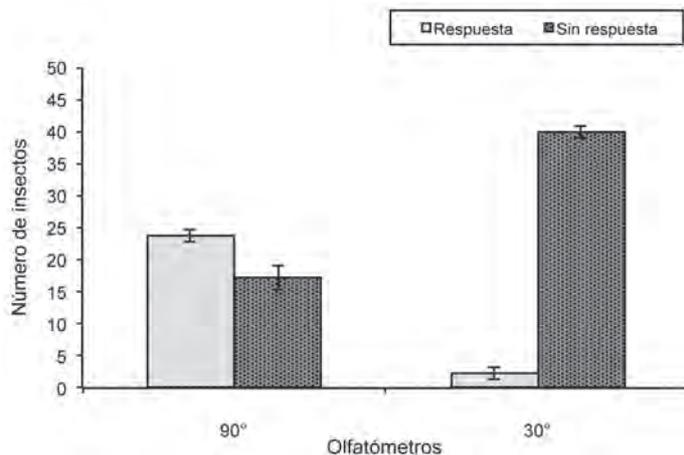


Fig. 3. Comparación de la respuesta olfativa de hembras adultas de *Hypothenemus hampei* en 2 diseños de olfatómetros con una mezcla de etanol-metanol como atrayente.

En el Cuadro 1 se muestra en detalle el comportamiento de las hembras adultas de *H. hampei* en cada uno de los brazos de ambos dispositivos olfatómétricos. En el olfatómetro de 90° la respuesta de la broca en los brazos a los que sólo se aplicó una corriente de aire sin atrayente fue mínima (≈ 3) y sin diferencias significativas entre estos ($F=2,57$; $p=0,184$). Por su parte el brazo de este olfatómetro en que fue aplicado el atrayente sí mostró un promedio alto de atracción del insecto (≈ 24) y significativamente diferente al promedio de brocas que no presentaron respuesta, tal como lo muestra el análisis de varianza con valores

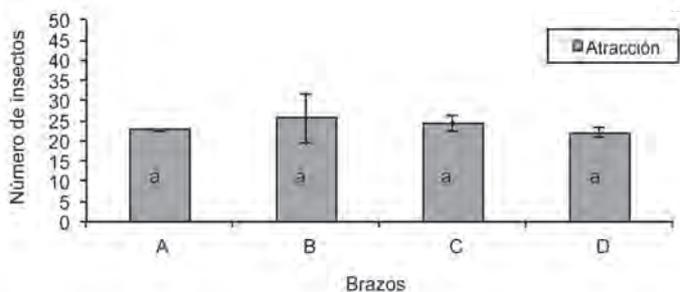
de 27,68 y 0,0063 para F y p respectivamente. En el caso del olfatómetro de 30° ninguno de los 4 brazos presentaron una respuesta considerable por parte de la broca (<3) y ninguno fue significativamente diferente entre sí ($F=1,88$; $p=0,241$).

La Figura 4 toma en cuenta nada más los 4 brazos del olfatómetro de 90° tratados individualmente con la mezcla atrayente de etanol-metanol. Los resultados mostraron que cada brazo logró atraer entre 20 y 25 individuos en promedio cuando se hizo pasar el atrayente por cada uno de ellos y no se detectaron diferencias significativas entre ninguno de los brazos ($F=0,35$; $p=0,788$).

Cuadro 1. Promedio de hembras adultas de *Hypothenemus hampei* atraídas por la mezcla de etanol-metanol en 2 olfatómetros de 4 brazos.

Olfatómetro	Tratamientos				
	Etanol-metanol	Aire	Aire	Aire	Sin respuesta
90°	23,6 a	3,5 b	2,6 b	3 b	17,2 c
30°	2,3 b	2,4 b	2,5 b	2,9 b	39,8 a

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



Columnas con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

Fig. 4. Comparación de la capacidad de atracción olfativa de cada brazo del olfatómetro de 90° en hembras adultas de *Hypothenemus hampei* expuestas a una mezcla de etanol-metanol.

DISCUSIÓN

Los 2 diseños de olfatómetro desarrollados en el presente estudio son variantes modificadas de los diseños descritos por Morales (1989) y López-Ávila y Rincón (2006). Estas modificaciones, basadas en las características físicas y biológicas del insecto a estudiar (*H. hampei*) y

observaciones en experimentos preliminares, son importantes para optimizar futuros experimentos en el campo de la olfatometría en broca del café.

Para diseñar estos modelos de olfatómetro se tomaron en cuenta las fortalezas y debilidades de los 3 diferentes tipos de olfatómetro.

Para los modelos de olfatómetro presentados en este estudio, se amplió la cámara central

a fin de permitir suficiente movimiento de exploración y decisión a los 50 individuos que se usaron en cada repetición. Ese espacio ampliado además evitó la formación de turbulencia en el área de decisión y además la longitud de los brazos permitió evaluar con mayor claridad la respuesta olfativa de los insectos. El criterio más utilizado en la determinación de un compuesto volátil en olfatómetros de tipo Y, es la distancia que el insecto camina dentro del brazo tratado (Dean y Satasook 1983). No obstante, en esta investigación la reacción ante un olor particular fue medida por la cantidad de individuos atraídos al brazo del olfatómetro bajo tratamiento y que se mantuvieron dentro de ese sector.

Durante la fase preliminar de esta investigación, se observó que la luz y otras influencias exteriores, como lo son distintos colores, resplandores o sombras, son capaces de afectar el comportamiento de los individuos bajo experimentación. Para evitar estas fuentes de error, el espacio donde se realizaron los experimentos se cubrió en todos sus lados además de la parte superior también la inferior con malla aluminizada y la fuente de luz se colocó en el plano inferior cubierta por un pliego de papel pergamino para hacerla difusa. Otros investigadores han utilizado técnicas similares; Venzon et al. (1999) utilizó una cubierta de forma triangular sobre un olfatómetro en Y. Por su parte Geier y Boeckh (1999) utilizaron láminas de cartón blanco a cada costado de un olfatómetro en Y para evitar los estímulos visuales no deseados, pero este método puede traer inconvenientes como la formación de sombras o gradientes de luz que pueden afectar el comportamiento de los insectos. La iluminación constante y difusa utilizada en este estudio también es recomendada por otros autores (Colazza et al. 1999).

Es importante destacar que todos los experimentos fueron realizados con hembras adultas colonizadoras. Esto quiere decir que son individuos recolectados fuera de la dieta artificial, las cuales según Mathieu et al. (2001) presentan comportamiento similar a las hembras colonizadoras en campo y difieren del comportamiento

de aquellas hembras que se mantiene dentro del fruto en campo o dentro de la dieta artificial en laboratorio, las cuales muestran poca respuesta a estímulos olfativos. Estos individuos que se adhieren al papel toalla que cubre el fondo de las cajas con cada lote de la colonia de broca, son ideales para experimentación pues son hembras cargadas de huevos cuyos instintos de búsqueda de frutos de café ideales para la ovoposición se encuentran muy activos.

Para ambos diseños de olfatómetros descritos en este estudio se obtuvieron resultados muy contrastantes. El olfatómetro de 90° produjo resultados satisfactorios al atraer cantidades considerables (45%) de insectos al brazo en el cual se colocaba el atrayente, mientras que el olfatómetro de 30° tuvo un desempeño insuficiente al quedar la mayoría de los individuos prueba (80%) en el brazo de ingreso o la cámara central. Estos resultados pueden deberse a una de las principales diferencias en estudio entre ambos diseños: el método de ingreso de los individuos, el cual se realizaba por un quinto brazo horizontal en el olfatómetro de 30° al colocar a los individuos directamente en el centro de la cámara de vidrio en el diseño de 90°. En este último, el mecanismo de ingreso de los insectos permite que estos sean simultáneamente expuestos a los 4 flujos de aire de cada brazo, lo cual, algunos autores indican que es fundamental en experimentos de olfatometría (Rapusas et al. 1996). Gonzales et al. (1999) describe un área central en un olfatómetro de 4 brazos para parasitoides pero no explica cómo se realiza el ingreso de los individuos prueba. Por su parte Ponsonby y Copland (1995) usaron una pequeña cámara la cual permitió un “ingreso sin estrés para los insectos”. En este estudio, el diámetro del conducto superior de salida de los flujos de aire del olfatómetro de 90°, permitía introducir un tubo de vidrio directamente en el centro de la cámara central del olfatómetro donde los insectos se alojaban en un área de ambientación durante 5 min, luego sencillamente se retiraba el tubo y los individuos prueba quedaban libres y expuestos a los 4 flujos de aire. Por su parte el olfatómetro de 30° contaba con un quinto brazo, opuesto a

los que conducen los tratamientos, por donde se realizaba el ingreso de los insectos. A este brazo se le tuvo que diseñar una pieza adicional, similar a un codo de 90° para facilitar el ingreso de los insectos y a su vez desempeñar la función de área de ambientación durante los 5 min previos a la exposición al atrayente. Se observó que en el momento de liberar los insectos en el flujo de aire muchos se alojaban en la unión entre el brazo y el dispositivo de ingreso. Esto responde a la naturaleza innata de *H. hampei* que busca la rugosidad de cualquier superficie ya que en el fruto de café sus sitios de penetración son principalmente la corona o en menor medida el pedúnculo. Aún así, los insectos que alcanzaban la cámara central del olfatómetro y sus brazos no mostraron atracción al tratamiento de etanol-metanol.

Una vez determinado cual modelo de olfatómetro presentaba resultados prometedores se debió verificar que no hubiera diferencias significativas en la capacidad de atracción de cada brazo cuando se le colocaba el atrayente. En el caso de la broca del café, como ya se mencionó, era indispensable que la superficie donde se moviera el insecto fuere lo más uniforme posible y por eso resulta una gran ventaja que el olfatómetro consista de una sola pieza de vidrio. Al conducir el flujo de aire con el atrayente, se compararon los promedios de atracción de cada brazo del olfatómetro de 90° y se pudo verificar que las diferencias no son significativas y por lo tanto una simple aleatorización de los tratamientos en futuras investigaciones permitirá obtener datos fiables. Es importante recalcar que la adaptación de todo el espacio donde se realicen las pruebas es necesaria para evitar las distracciones lumínicas y visuales que ya se comentaron. Algunos autores para tratar este problema recomiendan que durante la prueba olfatómetrica el olfatómetro de 4 brazos sea girado un cuarto de vuelta cada determinado tiempo (Mendesil et al. 2009, Vet et al. 1983).

Esta investigación demostró que el olfatómetro modificado de 4 brazos a 90° descrito en el presente estudio, es apropiado para realizar

pruebas de atracción a compuestos volátiles en hembras adultas de *H. hampei*.

LITERATURA CITADA

- BORBÓN O., MORA O. 2000. Proyecto de trampas, atrayentes y repelentes para el control de la broca del fruto del café. In: XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura, Costa Rica, 2000, p. 331-348
- COLAZZA S., SALERNO D., WAJNBERG E. 1999. Volatile and contact chemicals released by *Nezara viridula* (Heteroptera: Pentatomidae) have a kairomonal effect on the egg parasitoid *Trissolcus basalis* (Hymenoptera: Scelionidae). *Biological Control* 16:310-317.
- DEAN G.J., SATASOOK C. 1983. Response of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) to some potential attractants. *Bull. Ent. Res.* 73:619-624.
- DICKENS J.C. 1999. Predatory-prey interactions: olfactory adaptations of generalist and specialists predators. *Agric. Forest Entom.* 1:47-54.
- GEIER M., BOECKH J. 1999. A new Y-tube olfactometer for mosquitoes to measure the attractiveness of host odours. *Entomol. Exp. Appl.* 92:9-19.
- GONZALES W.L., FUENTES-CONTRERAS E., NIEMEYER H.M. 1999. Semiochemicals associated to spacing behaviour of the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* L. (Hem. Aphididae) do not affect the olfactometric behaviour of the cereal aphid parasitoid *Aphidius rhopalosiphii* De Stephani-Perez (Hym. Braconidae). *J. Appl. Ent.* 123:413-415.
- LÓPEZ-ÁVILA A., RINCÓN D.F. 2006. Diseño de un olfatómetro de flujo de aire para medir respuestas olfativas de insectos de tamaño mediano y pequeño. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 7(1):61-65.
- MATHIEU F., GAUDICHON V., BRUN L.O., FREROT B. 2001. Effect of physiological status on olfactory and visual responses of female *Hypothenemus hampei* during host plant colonization. *Physiological Entomology* 26:189-193.
- MENDESIL E., BRUCE T.J.A., WOODCOCK C.M. 2009. Semiochemicals used in host location by the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Journal of Chemical Ecology* 35:944-950.
- MORALES H.E. 1989. Atracción y colonización de *Anthonomus eugeni* Cano a diferentes solanáceas hospederas: posibilidad de control cultural en Chile dulce. *CATIE*. Turrialba, Costa Rica. 95 p.
- OBANDO A. 2002. Levantamiento de un pie de cría de broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleóptero, Scolytidae) en granos de café y en dieta artificial.

- Tesis: Ingeniero Agrónomo. Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, Costa Rica. 76 p.
- PETTERSON J. 1970. An aphid sex attractant. I. Biological studies. *Entomol. Scandinavica* 1:63-73.
- PONSONBY D.J., COPLAND J.W. 1995. Olfactory responses by the scale insect predator *Chilocorus nigritus* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae). *Biocontrol Sci. Techn.* 5:83–93.
- PORTILLA M., STREETT D. 2008. Avances investigativos en la producción masiva automatizada de Broca del Café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) y de sus parasitoides sobre dietas artificiales. *Sistemas Agroecológicos y Modelos Biomatemáticos* 1 (1). Julio 2008.
- RAPUSAS H.R., BOTTRELL D.G., COLI M. 1996. Intraespecific variation in chemical attraction of rice to insect predators. *Biological Control* 6, 394–400.
- SENGONCA C., KRANZ A. 2001. A modified, four-armed olfactometer for determining olfactory reactions of beneficial arthropods. *Journal of Pest Science* 74:127–132.
- VEGA E., POSADA F., INFANTE F. 2006. Coffee Insects: Ecology and Control. *Encyclopedia of Pest Management*. pp. 1–4.
- VENZON M., JANSSENS A., SABELIS M.S. 1999. Attraction of a generalist predator towards herbivore-infested plants. *Entomol. Exp. Appl.* 93:305–314.
- VET L.M., LENTEREN J.C., HEYMANS M., MEELIS E. 1983. An airflow olfactometer for measuring olfactory responses of hymenopterous parasitoids and other small insects. *Physiol. Entomol.* 8:97–106.
- WALLER J.M., BIGGER M., HILLOCK R.A. 2007. *Coffee Pests Disease and their Management*. CAB International, Egham, Surrey, UK. 434 p.

Nota técnica

EFFECTO DE LA COLOCACIÓN DE DISPOSITIVOS ELÁSTICOS DE HULE, EN LAS MANOS SUPERIORES DEL RACIMO DE BANANO, SOBRE LA CONFORMACIÓN DE LA MANO, EL RECHAZO DE FRUTOS Y LA RELACIÓN CAJAS-RACIMO

Alfonso Vargas*

Palabras clave: Ligas de hule, factores de rechazo, manejo precosecha, *Musa* AAA, ratio, subgrupo Cavendish.
Keywords: Rubber bands, pre harvest management, *Musa* AAA, ratio, rejection factors, Cavendish subgroup.

Recibido: 19/08/11

Aceptado: 22/03/12

RESUMEN

Se evaluó, entre diciembre del 2006 y abril del 2008, el efecto de la colocación de bandas elásticas de hule (BEH), en las 5 manos superiores recién expuestas del racimo de banano, sobre la conformación de la mano, el rechazo de frutos y la cantidad de cajas obtenidas a partir de un racimo ('ratio'). Se utilizaron BHE con una duración estimada del material de 4 a 6 (experimento 1), de 6 a 8 (experimentos 2 y 3), de 6 a 8 y con más de 8 (experimento 4) y con más de 8 (experimento 5) semanas. Racimos sin BEH fueron los comparadores o tratamiento testigo. En la mayoría las manos donde se colocaron BEH la curvatura del fruto no difirió ($p>0,0934$) y la distancia (a 90 grados) del ápice del fruto central de la fila interna de la mano al raquis no varió ($p>0,0672$) comparados con el testigo. Sin embargo, cuando en esta última variable hubo diferencias ($p<0,0414$) entre tratamientos, siempre hubo una reducción de la distancia con el uso de la BEH. El porcentaje de frutos deformes, con excepción del mayor valor ($p<0,0389$), que se determinó en algunas manos de los experimentos 1, 2, 3 y 5 con BEH, no difirió entre tratamientos

ABSTRACT

Effect of rubber plastic bands, placed on banana's bunch upper hands, on the conformation of the hand, the rejection of fruits and the relationship boxes-bunch. The effect of rubber elastic bands (REB) placed on the newly exposed 5 upper hands of the banana bunch was evaluated, from December 2006 to April 2008, on the conformation of the hand, the rejection of fruits and the number of boxes per bunch ('ratio'). REB lasted 4 to 6 (experiment 1), 6 to 8 (experiments 2 and 3), 6 to 8 and more than 8 (experiment 4) and more than 8 (experiment 5) weeks. Bunches without REB were used as the untreated control treatment. In most hands where REB was tested, the curvature of the fruit did not differ ($p>0.0934$) and the distance (at 90 degrees) from the apex of the inner-row central fruit of the hand to the rachis remained unchanged ($p>0.0672$), as compared with the control. Nevertheless, when in the latter variable differences were expressed ($p<0.0414$), a reduction of the distance with de use of REB was always observed. The percentage of deformed fruits, except for the highest value ($p<0.0389$)

* Corporación Bananera Nacional. Correo electrónico: alfvarga@corbana.co.cr

($p > 0,0627$). Los diferentes factores de merma o rechazo de frutos, en especial aquellos correspondientes a frutos deformes o a lesiones por el roce entre ellos durante su crecimiento en el racimo (cicatriz de crecimiento), no fueron afectados por el uso o no de la BEH en ninguno de los experimentos en donde ello se evaluó. El número de cajas obtenidas a partir de las 5 manos superiores del racimo no permitió definir la superioridad entre el uso o no de la BEH.

of some hands in experiments 1, 2, 3 and 5, did not differ between treatments ($p > 0.0627$). The different factors of fruit rejection, especially those related to deformity or injuries by friction between fingers during growth (growth scar), were not affected by the use of REB in any of the experiments where this was evaluated. The number of boxes obtained from the 5 upper hands of the bunch did not allow to show whether REB significantly affected yield.

INTRODUCCIÓN

El fruto del banano de acuerdo con Mohan et al. (1962) presenta una rápida división celular hasta la cuarta semana después de la emergencia del racimo, una rápida elongación celular de la cuarta a la doceava semana y un proceso de maduración de la doceava a la quinceava semana. Por su parte Robinson (1996) indica que el mayor desarrollo del fruto ocurre de la cuarta a la sexta semana después de la emergencia y que existe un rápido aumento de la longitud del mismo justo antes, durante y después de la emergencia del racimo, condición que sugiere que el desarrollo del fruto no es limitado por el proceso de emisión floral. Lassoudiere (1978) señala la ocurrencia de un rápido crecimiento en la longitud del fruto hasta 30 días después de la emergencia, el cual, de acuerdo con el área y el clima, disminuye paulatinamente y se completa de los 40 a los 80 días. El mismo autor indica que en contraste, el crecimiento en grosor del fruto es lento pero constante hasta la cosecha. Al respecto, la longitud final del fruto, de acuerdo con Soto y Ruiz (1992) se alcanza de 30 a 35 días después de la emergencia y el efecto de condiciones ecológicas adversas que puedan ocurrir en ese lapso tiene un efecto detrimental posterior que no es mitigado por la eventual presencia de condiciones favorables posteriores.

La presencia de frutos deformes, especialmente en las primeras 4 a 5 manos del racimo de banano, constituye uno de los factores de merma más importantes, especialmente en aquellas épocas en donde se producen factores de clima adversos. Soto (1992) indica que los frutos deformes constituyen la causa principal de rechazo (40%) y se ubican, por lo general, en los extremos de las manos superiores. De acuerdo con dicho autor, estos dedos dificultan el empaque y su presencia ocurre con mayor frecuencia en los cultivares enanos y es favorecida por problemas nutricionales, climáticos y de manejo.

Un dispositivo de hule biodegradable en forma de liga, de colocación temprana en la inflorescencia, ha sido desarrollado (The Rubber Group 2012) con el propósito de reducir hasta en un 70% el rechazo de frutos de banano ocasionados principalmente por el roce de frutos durante su desarrollo en el racimo (cicatriz de crecimiento) y por frutos malformados. Dicho fabricante añade que el uso de dicho dispositivo reduce los daños causados por el roce de frutos durante la cosecha y el acarreo y permite una mayor separación entre las manos del racimo que facilitó así la colocación de las laminillas de protección. Evaluaciones relacionadas (Hernández 2004) indican que la colocación de este dispositivo en manos de racimos con desde lateral y cosechados por edad, no afectó la curvatura del fruto ni la expresión de la cicatriz de crecimiento,

pero redujo, con respecto a los testigos no ligados, la incidencia de frutos malformados.

Dado el potencial que el dispositivo podría representar en la reducción de los diferentes factores de rechazo ligados con el desarrollo del fruto, es necesario determinar su efecto bajo las condiciones agroecológicas del Caribe de Costa Rica, principal región productora de banano del país, especialmente en relación con la forma del fruto, a la conformación de la mano del fruto, a la incidencia de frutos malformados y al aprovechamiento del racimo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 5 experimentos en 2 fincas comerciales de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) localizadas al Este del río Reventazón (zona Este) en el Caribe de Costa Rica (provincia de Limón) de finales del 2006 a principios del 2008. Los experimentos 1 y 4 se desarrollaron en la finca El Esfuerzo (cantón de Matina) y los experimentos 2, 3 y 5 en la finca San Pablo (cantón de Siquirres).

Los experimentos 1, 4 y 5 se desarrollaron durante la época adversa (noviembre del 2006 a abril del 2007 y noviembre del 2007 a abril del 2008) y los experimentos 2 y 3 durante la época favorable (mayo a octubre del 2007) para el desarrollo de la planta.

La precipitación, temperatura máxima, mínima y humedad relativa promedio fueron respectivamente para el conjunto de las 2 épocas adversas de 1113 mm, 29,8 y 19,4°C y 87,8% y para la época favorable de 815 mm, 32,6 y 21,5 y 90,1%°C.

De acuerdo con varios autores (Vargas y Blanco 2004, Serrano et al. 2008) en el Caribe de Costa Rica, la época adversa se caracteriza por presentar 3 meses fríos y lluviosos (noviembre, diciembre y enero) y 3 meses calientes y secos (febrero, marzo y abril). Por su parte la época favorable incluye 3 meses calientes y lluviosos (mayo, junio y julio) y 3 meses frescos y secos (agosto, setiembre y octubre).

En la finca El Esfuerzo, el experimento 1 se desarrolló en un área sembrada en 1991 con el cv. Grande Naine y renovada en el 2001 con el cv. Williams (1800 pl⁻¹) y el experimento 4 en un área sembrada en 1991 con el cv. Grande Naine. El suelo en ambos experimentos fue respectivamente Franco Arcilloso y Franco (37-31% arena, 28-23% arcilla y 35-46% limo), pH 6,4-6,1; materia orgánica 2,7-1,4% y un contenido de bases de: Ca 27,5-25,0; Mg 8,4-6,6; K 0,2-1,1 cmol.l⁻¹. La fertilización se realizó mediante la adición de 362 kg de N, 11 kg de P₂O₅, 344 kg de K₂O, 60 kg de MgO, 167 kg de CaO, 41 kg de S, 10 kg de Zn y 3 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de B fraccionada en 11 ciclos.

En la finca San Pablo, el experimento 2 se realizó en una área sembrada con el cv. Valery en 1968 y renovada en el 2005 con el cv. Williams (1701 plantas.ha⁻¹). Los experimentos 3 y 5 se efectuaron en un área sembrada en 1968 con el cv. Valery y renovada en 1999 con el cv. Grande Naine (1589 plantas.ha⁻¹). El suelo de ambos experimentos es de textura Franco (49% arena, 16% arcilla y 35% limo), y presenta en promedio un pH de 6,5 así como 1,2% de materia orgánica y contenidos de Ca, Mg y K (cmol(+).l⁻¹ de 25,6; 8,8 y 1,4; respectivamente. La fertilización se realizó mediante la adición de 379 kg de N, 539 kg de K₂O, 35 kg de MgO, 1072 kg de CaO, 58 kg de S, 11 kg de Zn y 3 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de B fraccionada en 17 ciclos.

El combate de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) se realizó mediante la aspersión aérea de fungicidas sistémicos y protectores. Los mismos fueron aplicados rotativamente y en mezcla con aceite agrícola (5-10 l.ha⁻¹) en un volumen total de aplicación de 18 a 25 l.ha⁻¹, de acuerdo con los requerimientos y estrategias de combate propias de la finca y época climática. Las operaciones semanales de deshoja sanitaria se utilizaron como complemento al combate químico.

La BEH (Figura 1), se colocó solamente en las 5 primeras manos del racimo y dicha labor se efectuó entre 9 a 11 días después de la floración cuando la inflorescencia presentó de 4 a 5 manos expuestas en conjunto con el embolse



Fig. 1. BEH colocadas en manos superiores de un racimo de banano (*Musa AAA*) con 9 a 11 días de florecido.

de los racimos. En dicho momento se eliminaron los frutos fusionados o dobles. Para el embolsado se utilizaron fundas impregnadas con bifentrina al 0,1% de color azul de los tipos Santa Lucía o lechoso y por lo general de 32 pulgadas de ancho, 5 milésimas de pulgada de espesor, con perforaciones de 0,25 pulgadas y con un área de ventilación de 3,5%.

Se colocó una liga por mano en el experimento 1 y, en los 4 experimentos restantes, cuando la primera o la segunda mano presentaron más de 20 frutos se colocaron 2 ligas por mano que formaron igual número de gajos. Las restantes manos del racimo, de la sexta en adelante, en aquellos tratamientos donde se consideró el uso de BEH no fueron ligadas. Racimos sin BEH

fueron los comparadores o tratamiento testigo. Los tratamientos que incluyeron BEH de diferente duración fueron los siguientes para cada experimento: 4 a 6 semanas (experimento 1), 6 a 8 semanas (experimentos 2 y 3) y con más de 8 semanas (experimento 5). En el experimento 4 se evaluaron BEH de 6 a 8 semanas y 2 tipos de ellas con más de 8 semanas de duración. Las BEH usadas en todos los experimentos fueron suplidas durante el período experimental por Rubber Technologies S.A (The Rubber Group). Se utilizaron de 24 a 26, de 16 a 19, de 15 a 19, de 29 a 31 y de 15 a 16 racimos en los experimentos del 1 al 5 respectivamente. El tamaño del racimo a la cosecha varió de 6 a 9, de 7 a 9, de 6 a 8, de

7 a 9 y de 6 a 8 manos en los experimentos del 1 al 5 respectivamente.

La eliminación de la mano falsa, de la chira y el desmane se realizó 2 semanas después de la floración. No se realizó desflora ni desde de los racimos. Se consideró como mano falsa aquella en donde uno o más de sus frutos se desarrollaron anormalmente, ya que permanecieron como una reminiscencia del ovario de la flor. Como mano verdadera se consideró aquella en la que todos sus frutos se desarrollaron normalmente. Los tratamientos se asignaron aleatoriamente, en la plantación. Cada planta y su racimo se consideraron como una repetición.

Durante el desarrollo del racimo se efectuaron mediciones en las 5 manos superiores de 25 racimos en el experimento 2 y 27 en el experimento 3, con el propósito de determinar el comportamiento en el tiempo (ruptura) de la BEH luego de su colocación.

La cosecha de los racimos se realizó entre 12 y 13 semanas de la floración de acuerdo con el grosor preestablecidas por la finca respectiva para ese momento. Las variables analizadas, provenientes de cada una de las 5 primeras manos del racimo fueron las siguientes: a. Índice de curvatura del fruto central (fila externa) obtenido a partir del cociente de los largos externo e interno (pulpa a punta) del fruto respectivo; el valor 1 define un fruto de forma recta y su aumento define la magnitud de la curvatura, b. Distancia del ápice del fruto central de la fila interna al raquis y c. Porcentaje de frutos deformes. Adicionalmente, en los experimentos 1, 2, 3 y 5 se determinó el número de frutos rechazados por racimo correspondientes a: deformes, fusionados, delgados, con cicatriz de crecimiento o fresca, con lesión vieja o nueva, insectos y hongos así como la cantidad de cajas de 18,9 kg empacadas a partir de un racimo ("ratio"). Dicho proceso se realizó en la empacadora con personal de planta especializado y para ello se utilizaron 10, de 10 a 12, de 8 a 11 y de 9 a 10 racimos (en todos los casos solo las 5 manos superiores de cada uno de ellos) en los experimentos 1, 2, 3 y 5 respectivamente. Para cada tratamiento por separado, los racimos

fueron desmanados y sus manos colocadas en una primera pila con agua para evacuar la exudación de látex de donde fueron tomadas y seccionadas en gajos. Los frutos con calidad exportable se depositaron en otra pila para continuar el proceso de exudación de látex y aquellos rechazados fueron depositados por el selector en panas plásticas en donde dicho rechazo se clasificó y registró de acuerdo con su característica. Una vez que los frutos exportables cumplieron con el tiempo requerido de exudación de látex en la pila fueron depositados en panas plásticas y su peso se ajustó de acuerdo con la caja a empacar (18,9 kg), registrándose la cantidad de las mismas.

El peso del racimo y del pinzote se registró con la ayuda de una romana Ballar® con capacidad para 50 kg graduada cada 200 g. El grosor del fruto se midió en la parte media del mismo, perpendicularmente al plano de la curvatura, con la ayuda de un calibrador graduado en treintaidosavos de pulgada (1 unidad o grado=0,794 mm). La longitud se midió a lo largo de la parte externa, desde la zona de unión del pedúnculo con la pulpa, hasta el ápice (de "pulpa a punta") con una cinta métrica de plástico graduada en mm. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza con la ayuda del programa estadístico SAS (SAS Institute Inc., SAS/STAT, 2002-2004).

RESULTADOS

El porcentaje de BEH rotas se incrementó de un 15 y 10% de ruptura a partir de la sexta semana del desarrollo del racimo en ambos experimentos (experimentos 2 y 3, respectivamente) hasta un 35 y 45% en la semana 8. Su valor más alto (90 y 92%, respectivamente) lo alcanzó una semana antes del inicio de la cosecha (semana 10) en ambos casos (Cuadro 1).

La curvatura del fruto central de la fila externa, con excepción del mayor valor ($p < 0,0300$) que se observó para éste con la BEH en la tercera y cuarta mano del experimento 5, no varió entre tratamientos con o sin BEH en las restantes ($p > 0,1424$) ni en las otras manos ($p > 0,0934$) de los demás experimentos (Cuadro 2).

Cuadro 1. Porcentaje de evolución de la ruptura de la BEH durante el desarrollo del racimo de banano (*Musa* AAA).

Experimento	n	Etapas de evaluación (semanas después de la colocación de la BEH)				
		2	4	6	8	10
2	125	3	5	15	35	90
3	135	0	4	10	45	92

n: proviene de la evaluación de las 5 manos superiores de 25 racimos en el experimento 2 y de 27 racimos en el experimento 3.

Cuadro 2. Índice de curvatura¹ del fruto central de la fila externa de cada una de las 5 primeras manos de racimos de banano (*Musa* AAA) con y sin BEH.

Tratamiento	Índice de curvatura				
	Posición de la mano en el racimo				
	1	2	3	4	5
Experimento 1					
BEH (4 a 6)	1,61	1,60	1,63	1,63	1,64
Sin BEH	1,59	1,59	1,64	1,65	1,66
Error estándar	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Probabilidad	0,4904	0,7298	0,8747	0,4932	0,5416
Experimento 2					
BEH (6 a 8)	1,48	1,49	1,53	1,53	1,51
Sin BEH	1,50	1,50	1,50	1,50	1,52
Error estándar	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
Probabilidad	0,5163	0,5785	0,2456	0,2887	0,7007
Experimento 3					
BEH (6 a 8)	1,52	1,53	1,54	1,54	1,56
Sin BEH	1,51	1,53	1,50	1,49	1,52
Error estándar	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Probabilidad	0,3716	0,9812	0,0934	0,0974	0,1546
Experimento 4					
BHE de (6 a 8)	1,55	1,54	1,57	1,59	1,57
BHE (>de 8)	1,56	1,54	1,57	1,57	1,57
BHE (>de 8)	1,53	1,56	1,57	1,58	1,57
Sin BHE	1,54	1,55	1,57	1,56	1,57
Error estándar	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Probabilidad	0,2984	0,5898	0,9980	0,3689	0,9600
Experimento 5					
BEH (10 a 12)	1,60	1,58	1,66	1,69	1,65
Sin BEH	1,58	1,57	1,54	1,55	1,57
Error estándar	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04
Probabilidad	0,6189	0,8360	0,0227	0,0300	0,1424

^{1/} Relación entre la longitud externa y la longitud interna del fruto que indica el índice de curvatura, donde el valor 1 corresponde a un fruto recto. Los valores entre paréntesis corresponden a la duración estimada en semanas para la BHE correspondiente.

El número de racimos evaluados fue de 24 a 26, de 16 a 19, de 15 a 19, de 29 a 31 y de 15 a 16 racimos en los experimentos del 1 al 5 respectivamente.

La distancia del ápice del fruto central de la fila externa al raquis no presentó diferencias entre tratamientos con o sin BEH en la mayoría de las manos de los experimentos evaluados ($p > 0,0672$). Sin embargo, cuando éstas se produjeron ($p < 0,0414$), siempre hubo una reducción de la distancia con el uso de la BEH (Cuadro 3).

El porcentaje de frutos deformes, con excepción del mayor valor ($p < 0,0389$) que se determinó sin BEH en la primera, quinta, primera y tercera, y cuarta mano de los experimentos 1, 2, 3 y 5, respectivamente, no difirió entre tratamientos con o sin BEH ($p > 0,0627$) en las restantes

Cuadro 3. Distancia (cm) del ápice del fruto central de la fila interna al raquis (con un ángulo de 90°) de cada una de las 5 primeras manos de racimos de banano (*Musa* AAA) con y sin BEH.

Tratamiento	Distancia del fruto al ráquis Posición de la mano en el racimo				
	1	2	3	4	5
Experimento 1					
BEH (4 a 6)	7,3	5,9	10,6	9,7	10,3
Sin BHE	8,1	7,9	11,5	11,1	11,8
Error estándar	0,7	0,6	0,7	0,4	0,5
Probabilidad	0,3660	0,0151	0,4097	0,0144	0,0205
Experimento 2					
BEH (6 a 8)	11,1	9,8	12,3	11,8	12,7
Sin BHE	11,9	10,3	13,4	13,4	12,7
Error estándar	1,0	0,9	0,8	0,5	0,7
Probabilidad	0,5889	0,6546	0,3764	0,0414	0,9872
Experimento 3					
BEH (6 a 8)	9,0	9,4	10,0	11,5	10,9
Sin BHE	11,3	10,6	15,2	13,4	13,9
Error estándar	0,9	0,7	0,8	0,5	0,5
Probabilidad	0,0672	0,2105	0,0155	0,0139	0,0004
Experimento 4					
BHE (6 a 8)	9,9	8,6	11,1	10,8	11,0
BHE (>de 8)	9,1	8,4	12,5	11,8	10,8
BHE (>de 8)	9,3	8,2	11,9	11,1	10,6
Sin BHE	9,5	8,2	12,5	11,4	11,5
Error estándar	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Probabilidad	0,7236	0,9285	0,1437	0,3359	0,3596
Experimento 5					
BEH (10 a 12)	10,0	6,5	11,8	13,2	10,8
Sin BHE	9,5	9,6	14,6	11,9	13,1
Error estándar	0,9	1,0	1,0	0,7	0,4
Probabilidad	0,6100	0,0256	0,0273	0,2034	0,0006

Valores entre paréntesis corresponden a la duración en semanas estimada para la BHE correspondiente.

El número de racimos evaluados fue 24 a 26, de 16 a 19, de 15 a 19, de 29 a 31 y de 15 a 16 racimos en los experimentos del 1 al 5 respectivamente.

manos de estos experimentos y en la totalidad de las mismas del experimento 4 (Cuadro 4).

Los diferentes factores de merma o rechazo de frutos, en especial aquellos correspondientes a frutos deformes y a lesiones por el roce entre frutos durante su desarrollo en el racimo (cicatriz

de crecimiento) no fueron afectados por los tratamientos en ninguno de los experimentos evaluados para tal efecto. La cantidad de cajas obtenidas a partir de racimos de solo 5 manos superiores, no permitió definir la superioridad entre el uso o no de la BEH (Cuadro 5).

Cuadro 4. Porcentaje de frutos deformes de cada una de las 5 primeras manos de racimos de banano (*Musa* AAA) con y sin BEH.

Tratamiento	Frutos deformes (%)				
	Posición de la mano en el racimo				
	1	2	3	4	5
Experimento 1					
BEH (4 a 6)	24,0	14,4	12,8	11,0	7,8
Sin BHE	18,0	12,2	11,3	9,3	9,9
Error estándar	1,7	1,2	1,2	1,1	1,1
Probabilidad	0,0162	0,1814	0,3993	0,2923	0,2066
Experimento 2					
BEH (6 a 8)	8,1	1,8	1,9	0,0	0,0
Sin BHE	5,0	2,4	1,0	1,6	2,1
Error estándar	1,3	1,3	0,9	0,6	0,7
Probabilidad	0,1239	0,7064	0,8884	0,0628	0,0309
Experimento 3					
BEH (6 a 8)	8,0	4,7	1,8	0,3	0,6
Sin BHE	11,1	7,4	1,5	2,9	0,7
Error estándar	1,0	1,3	0,7	0,5	0,4
Probabilidad	0,0389	0,1666	0,7328	0,0011	0,8989
Experimento 4					
BHE (6 a 8)	6,1	3,9	2,5	1,4	0,4
BHE (>de 8)	6,9	3,7	1,9	1,0	1,1
BHE (>de 8)	6,5	2,9	2,3	1,0	0,4
Sin BHE	6,5	3,1	1,8	2,3	1,3
Error estándar	0,6	0,6	0,7	0,4	0,4
Probabilidad	0,8260	0,5301	0,8763	0,1189	0,1518
Experimento 5					
BEH (10 a 12)	5,8	3,7	1,7	1,3	0,6
Sin BHE	8,0	4,1	4,1	3,9	0,0
Error estándar	1,2	1,0	1,2	0,7	0,4
Probabilidad	0,0627	0,7248	0,1358	0,0069	0,2184

Valores entre paréntesis corresponden a la duración en semanas estimada para la BHE correspondiente.

El número de racimos evaluados fue 24 a 26, de 16 a 19, de 15 a 19, de 29 a 31 y de 15 a 16 racimos en los experimentos del 1 al 5 respectivamente.

Cuadro 5. Porcentaje de frutos rechazados por racimo por defectos o lesiones y número de cajas empacadas por racimo (ratio) de las 5 manos superiores de racimos de banano (*Musa* AAA) con y sin BEH.

Tratamiento ¹	Experimentos							
	1		2		3		5	
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin
Tipo de rechazo								
Deforme	5,5	5,9	7,2	8,8	3,2	3,4	5,8	7,1
Guape	ND	ND	ND	ND	0,3	0,6	0,3	0,6
Buenos asociados a guape	ND	ND	ND	ND	0,1	1,2	0,2	1,6
Bajo grado	0,0	1,8	3,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0
Cicatriz de crecimiento	0,0	0,0	2,3	0,0	0,5	1,0	0,1	3,6
Cicatriz fresca	0,0	0,3	0,0	0,0	0,8	3,8	0,6	1,0
Lesión vieja	1,3	2,1	1,7	2,6	2,2	1,0	1,1	3,3
Lesión nueva	1,5	2,0	3,9	2,4	4,2	5,3	6,5	5,9
Insectos	1,8	---	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0
Hongos	---	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Frutos por racimo	98	102	101	98	102	101	106	108
Cajas por racimo ² (ratio)	0,76	0,74	0,83	0,80	0,82	0,75	0,89	1,02

^{1/} BEH de 4 a 6 (experimento 1), de 6 a 8 (experimento 2 y 3) y de 10 a 12 (experimento 5) semanas de duración. El número de frutos totales en las 5 manos superiores del racimo fue: 98 y 102 (experimento 1), 101 y 98 (experimento 2), 102 y 101 (experimento 3) y 106 y 108 (experimento 5) para los tratamientos con y sin BEH de cada uno de ellos, respectivamente. El número de racimos utilizados fue de 10, de 10 a 11, de 5 a 11 y de 9 a 10 racimos en los experimentos 1, 2, 3 y 5 respectivamente.

DISCUSIÓN

El comportamiento de la BEH con respecto a su ruptura en los experimentos 2 y 3 (BEH con una duración de 6 a 8 semanas) fue de una magnitud satisfactoria solamente para el límite inferior mas no para el límite superior del rango anterior indicado por el fabricante.

La reducción de factores de la merma o rechazo mediante la manipulación de órganos del racimo no siempre es exitosa. Labores como la desflora en el campo (Vargas et al. 2003), el desmane de manos inferiores, el desmane de manos superiores, el desdede Vargas (2001, 2002, 2003), el desgaje y sus combinaciones (Vargas 2007) no han logrado mejorar la conformación de la mano ni modificar la forma del fruto. Defectos como la cicatriz de crecimiento o la deformidad comúnmente asociados con la mayor o menor intensidad de dichas labores, tienen por el contrario fundamentalmente su origen en aspectos climáticos Vargas (2002, 2003). Algunas excepciones en la magnitud de la expresión y mitigación de estos 2 factores de merma puede sin embargo ser alcanzada mediante la eliminación de la labor de desflora de los frutos en el campo con respecto a la cicatriz de crecimiento (Vargas et al. 2003) así como la remoción temprana de frutos fusionados o de frutos centrales conocida como 'túnel' en relación con los deformes. También por la remoción temprana de frutos fusionados cuya presencia se produce principalmente en las 2 manos superiores del racimo (Gigena y Sandoval 2000) y responsables de acuerdo con Israeli y Lahav (2000) del rechazo en la planta empacadora de hasta un 0,5% del peso de las manos. Adicionalmente, mediante una estrategia de manejo del racimo conocida como desmane modificado, es posible alterar la orientación de manos inferiores por la torsión de las mismas hacia el espacio libre dejado por la remoción de manos inmediatamente superiores.

Salvo las excepciones y metodologías antes mencionadas y al considerar que el crecimiento natural de las manos y frutos de banano descrito por Mohan et al. (1962), Champion (1975), Lasoudiere (1978) y, Soto y Ruiz (1992) y Robinson (1996) sigue un comportamiento definido

fundamentalmente por factores climáticos Soto y Ruiz (1992) y genéticos, es claro que los diferentes tipos de BEH no fueron capaces de modificarlo. De ahí, la ausencia de algún efecto del dispositivo elástico sobre las variables de conformación, forma del fruto y aprovechamiento medidos, resultado que concuerda con lo encontrado por Hernández (2004) para la curvatura del fruto y la cicatriz de crecimiento, pero difiere en relación con la presencia de frutos malformados que se determinó en este estudio. Los similares porcentajes de daño por lesiones al racimo durante etapas iniciales del mismo o durante el manejo de la unidad de producción (lesión vieja) o aquellas causadas en la cosecha y el transporte a la planta procesadora (lesión nueva) y ajenas a la colocación o no de BEH son un claro indicativo de que ambas no aportaron variación alguna sobre los otros factores de merma y producción analizados en este trabajo.

Aunque el ligamiento de manos con bandas elásticas de hule no fue exitoso en las condiciones en que se realizaron estos experimentos, si representa un concepto y una opción interesante de manejo precosecha del racimo. Por ello, la evaluación de BEH de mayor resistencia y tensión que logre un mejor agrupamiento de los frutos, particularmente de aquellos presentes en las manos superiores y que además no cause marcas en la cáscara ni afecte negativamente la conformación de la mano podría ser considerada y evaluada en futuros experimentos.

LITERATURA CITADA

- CHAMPION J. 1975. El plátano. Editorial Blume. Barcelona, España. 247 p.
- GIGENA R., SANDOVAL J. 2000. Presencia de dedos fusionados en el racimo de banano (*Musa AAA*). CORBANA 26(53):47-54.
- HERNANDEZ J.R. 2004. Determinación de materiales para sujetar los glomérulos florales del banano *Musa sp*. Para reducir los daños mecánicos y malformaciones de fruta. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 60 p.
- ISRAELY Y., LAHAV E. 2000. Genetic abnormalities of banana. In: D. Jones (ed). Diseases of Banana, Abaca and Enset. Wallingford, UK. 515 p.

- LASSOUDIÈRE A. 1978. Quelques aspects de la croissance et du développement du bananier Poyo en cote d'Ivoire. IV. L'inflorescence. *Fruits* 33(7-8):57-491.
- MOHAN R., RAM M., STEWARD F. 1962. Growth and development of the banana plant. The origin of the inflorescence and development of the flowers. The structure and development of the fruit. *Annals of Botany* 26(104):657-671.
- ROBINSON J.C. 1996. Bananas and plantains. Institute for Tropical and Subtropical Crops, South Africa. CAB International. Wallingford, UK. 238 p.
- SAS INSTITUTE INC. 2002-2004. Version 9.1.3. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- SERRANO E., SEGURA R., ORTEGA R., SANDOVAL J. 2008. Modelo de restitución del potasio removido en la fruta fresca exportada en una plantación de banano de alta productividad, pp. 106-110. In: J. Sandoval (ed.) Informe Anual 1997. Dirección de Investigaciones. Corporación Bananera Nacional. Guápiles, Costa Rica, CR. 321 p.
- SOTO M. 1992. Cosecha y empaque de la fruta, pp. 367-438. In: M. Soto (ed.). Bananos, Cultivo y Comercialización. Segunda Edición. Litografía e Imprenta Lil, S.A. San José, Costa Rica.
- SOTOM., RUIZ E. 1992. Descripción botánica, pp: 21-103. In: M. Soto (ed.). Bananos, Cultivo y Comercialización. Segunda Edición. Litografía e Imprenta Lil, S.A. San José, Costa Rica.
- THE RUBBER GROUP. 2012. Banalastic. Consultado el 26 marzo del 2012 Disponible en: <http://rubbertech.com.gt/banalastic.htm>. Parque Industrial Las Américas. Villa Nueva, Guatemala.
- VARGAS A. 2001. Efecto de la intensidad de desmane sobre el peso del racimo y las dimensiones del fruto de banano (*Musa* AAA, cv. Gran Enano y Valery). *CORBANA* 27(54):13-34.
- VARGAS A. 2002. Alta intensidad de desmane en banano (*Musa* AAA, cvs. Grande Naine y Williams). Su efecto sobre el peso del racimo y las dimensiones del fruto.
- VARGAS A. 2003. Efecto de tres intensidades de desmane sobre el desarrollo del racimo de banano (*Musa* AAA, cvs Grande Naine y Valery). *CORBANA* 29(56):27-38.
- VARGAS A. 2007. Efecto de la eliminación de frutos laterales en las últimas manos sobre el desarrollo del fruto de banano (*Musa* AAA, cv. Williams), p.159. In: J. Sandoval (ed.) Informe Anual 2006. Dirección de Investigaciones. Corporación Bananera Nacional. Guápiles, Costa Rica.
- VARGAS A., BLANCO F. 2004. Metodologías para estimar la intensidad de desmane en racimos de banano (*Musa* AAA, cv. Valery). *CORBANA* 30(57):107-119.
- VARGAS A., CUBILLO D., MORA E. 2003. Evaluación de la desflora en el campo y de fundas impregnadas con bifentrina o clorpirifos sobre el desarrollo del racimo de banano (*Musa* AAA, cv. Grande Naine) y la incidencia de plagas del fruto. *CORBANA* 26(56):39-52.

Nota técnica

EVALUACIÓN DE UNA FUENTE DE ENMIENDA LÍQUIDA EN EL RENDIMIENTO DEL ARROZ EN UN ULTISOL DE LA ZONA NORTE DE COSTA RICA

Juan Manuel Valerio*, Eloy Molina^{1/**}

Palabras clave: Suelos ácidos, encalado, cal líquida, ultisoles, arroz *Oryza sativa*.

Keywords: Acid soils, liming, liquid lime, ultisols, rice *Oryza sativa*.

Recibido: 07/09/11

Aceptado: 26/03/12

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la aplicación de una enmienda calcárea líquida sobre el rendimiento del arroz y la fertilidad del suelo. El ensayo se realizó en un Ultisol de Los Chiles, Alajuela. Se utilizó una enmienda líquida que contiene 40% de Ca en forma de CaCO_3 y 6,9% de N en forma de urea (Cal 56®). Los tratamientos fueron: testigo sin cal; Cal 56 8 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$; Cal 56 10 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$; y Cal 56 6 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ + Nitro LL 4 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$. El Nitro LL es un fertilizante líquido de liberación controlada, que contiene 33% de N. Los productos fueron aplicados con bomba de espalda, con un volumen de caldo de 200 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$, en forma de aspersión al suelo 8 días después de germinado el arroz. Se utilizaron parcelas de 10x10 m, con un diseño experimental de Bloques Completos al Azar, con 4 tratamientos y 4 repeticiones. No hubo diferencias significativas con las variables tamaño de panícula en cm, número de espigas por panícula, número total de granos por panícula, número de granos llenos, número de granos vanos y peso de 1000 granos, aunque la mayoría de estas variables presentaron valores más altos que el testigo con la aplicación de enmienda líquida. Hubo diferencias significativas ($p < 0,01$) en la variable de rendimiento de arroz en granza.

ABSTRACT

Evaluation of a liquid lime source on the rice yield in an Ultisol from North zone of Costa Rica. A field experiment was conducted, to evaluate the effect of applying a liquid lime amendment on rice yield and soil fertility, in an Ultisol at Los Chiles, Alajuela. The liquid amendment contains 40% of Ca in form of CaCO_3 and 6.9% of N as urea (Cal 56®). The treatments were: control without lime; Cal 56 8 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$; Cal 56 10 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$; and Cal 56 6 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ + Nitro LL 4 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nitro LL is a controlled-release liquid fertilizer that contains 33% of N. The products were applied in water with a back pump, using a volume of mixture of 200 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$, spraying on the ground 8 days after rice germination. Plots 10x10 m were used, with an experimental design of randomized complete block with 4 treatments and 4 replicates. There were no significant differences in panicle size (cm), number of spikelets per panicle, total number of grains per panicle, number of grains filled, empty grains, and 1000-grain weight, although most of these variables showed higher values than the control with the application of the liquid amendment. There were significant differences ($p < 0.01$) in rice grain yield. The dose of 8 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ of Cal 56 showed the best agronomic

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: eloy.molina@ucr.ac.cr

* Palmatica S.A., Quepos, Costa Rica.

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

La dosis de 8 l.ha⁻¹ de Cal 56 presentó el mejor rendimiento agronómico. La dosis de 10 l.ha⁻¹ de Cal 56 incrementó levemente el contenido de Ca y la CICE del suelo.

yield. The dose of 10 l.ha⁻¹ of Cal 56 increased slightly the content of Ca and ECEC in the soil.

INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los alimentos más importantes en la dieta del país, con un consumo promedio estimado de 57 kg.persona⁻¹.año⁻¹. En Costa Rica el arroz se siembra en diversas zonas del país (Villegas et al. 2008), desde suelos de origen aluvial ricos en Ca y Mg y de pH moderadamente ácido a neutro, hasta suelos ácidos. Los primeros son los suelos arroceros de Guanacaste, Zona Pacífico Central y Zona Sur, que clasifican como Vertisoles, Molisoles e Inceptisoles eútricos (Murillo y González 1983). También existe un área importante de siembra de arroz en la Zona Norte y Atlántica, principalmente en los cantones de Upala, Los Chiles, San Carlos, Sarapiquí y Pococí, donde predominan suelos ácidos y con contenidos medios a bajos de Ca y Mg (Molina 1998). Estos suelos se clasifican principalmente como Ultisoles, Andisoles e Inceptisoles dísticos.

La acidez en los suelos se origina a partir de la presencia de altos contenidos de iones ácidos como Al⁺³ e H⁺ que reducen el pH e incrementan el nivel de acidez intercambiable, que llegó a afectar el crecimiento de las plantas y la fertilidad del suelo (Espinosa y Molina 1999). La acidez afecta de forma significativa algunas de las características químicas y biológicas del suelo, redujo el crecimiento de las plantas y provocó la disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como Ca, Mg, K y P, etc., aspecto que favoreció la proliferación de elementos tóxicos para las plantas como el Al, Fe y Mn (Molina 1998, Bertsch 1998, Kass 2007).

La acidez del suelo causa una disminución en la producción debido a los problemas que ocurren en el sistema radical de las plantas de arroz. Para resolver este problema, la técnica del

encalado constituye la forma más apropiada y económica para corregir los problemas de acidez y mejorar la producción de arroz (Molina 1998).

El encalado permite la neutralización de la acidez causada por Al⁺³, H⁺, Fe⁺² ó Mn⁺², y además causa una respuesta favorable de los cultivos como resultado del suministro de Ca y/o Mg (Kamprath 1984).

La respuesta al encalado en suelos de Costa Rica ha sido documentada en varios cultivos. Molina y Rojas (2005) encontraron respuesta a la aplicación de cal en un Ultisol de la Zona Norte cultivado con naranja, al obtener el rendimiento más alto con la aplicación de 3 t.ha⁻¹ de una mezcla de CaCO₃+MgO. La aplicación de enmienda también mejoró la fertilidad del suelo.

Salas et al. (1996) encontraron respuesta a la aplicación de cal en un Ultisol de Sarapiquí cultivado con tiquisque blanco, con el mayor rendimiento con una dosis de 4 t.ha⁻¹ de CaCO₃.

En un estudio del efecto de la cal en el cultivo del arroz en un Ultisol de Panamá, Name (1992) encontró un efecto favorable a la aplicación de 4 t.ha⁻¹ de CaCO₃, que resultó en un incremento del 66% en el rendimiento de grano con respecto al testigo sin cal, y un aumento del pH de 4,9 a 5,6.

Los materiales utilizados como correctivos de acidez del suelo son principalmente carbonatos, hidróxidos y óxidos de Ca o Mg (Alcarde 1992). Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una capacidad de neutralización variable (Chaves 1993). En Costa Rica, la principal fuente de encalado es el CaCO₃, debido a la abundancia natural de yacimientos de roca caliza y su bajo costo. En otros países como Guatemala y Honduras, existen yacimientos de cal dolomita (carbonatos de Ca y Mg), material

que es más conveniente como enmienda en suelos ácidos debido a su aporte de Mg, pero que resulta de alto costo en nuestro país (Molina 1998).

La cal es usualmente aplicada al suelo en forma de sólido, pero también puede ser aplicada en forma líquida como una suspensión. El carbonato de calcio y otras enmiendas molidas son muy poco solubles en agua. Con el uso de algunos coadyuvantes como las arcillas atapulgita y bentonita, y un agente dispersante, es posible hacer suspensiones de cal en agua, en donde una parte del producto es agua y el resto es el material de enmienda y la arcilla (Barber 1984, Peters et al. 1996).

La cal líquida es ideal para uso en cultivos de cero o mínima labranza donde la cal sólida no podría incorporarse con maquinaria. La cal líquida también es útil para cultivos ya establecidos ya que permite la aplicación de la enmienda en forma muy localizada directo al sitio donde crecen las raíces, como en el caso de muchos cultivos perennes. Puede ser una opción para aplicaciones en drench alrededor de las plantas. En tierras alquiladas la cal líquida puede ser una mejor opción debido a que se utiliza en dosis más bajas que la cal convencional y en aplicaciones localizadas (Peters et al. 1996). El uso de cal líquida no requiere equipo especial de aplicación, puede utilizarse un equipo convencional de aspersión foliar, lo que facilitaría su aplicación en el caso del cultivo del arroz.

Existe una enmienda líquida de reciente introducción en el mercado que contiene 56% de CaO, en forma de carbonato de calcio micronizado (<2 micras), grado farmacéutico. El tamaño de partículas es de malla 625 mesh, y contiene además 6,9% de N en forma de urea, lo que aparentemente favorecería una mejor respuesta a su aplicación. Contiene además un coadyuvante que se llama goma *Xanthana* que permite la suspensión del material en agua. Esta goma es un polisacárido obtenido de la fermentación de la glucosa por medio de las bacterias *Xanthomonas campestris*, que permite que el carbonato de calcio de grado farmacéutico pueda suspenderse en el agua y luego disolverse sin problema al preparar la mezcla para la aplicación (Suplidora Verde

2010); además es compatible con gran cantidad de agroquímicos y se puede aplicar con diferentes equipos de fumigación, como bombas de espalda o motor, spray boom, etc.

Debido a la generalizada percepción de que el arroz en Costa Rica se siembra principalmente en suelos aluviales de alta fertilidad, no hay información local disponible acerca del efecto del encalado en arroz, a pesar de que existe un área de siembra importante en zonas como Los Chiles, Upala, San Carlos, etc., donde predominan suelos con problemas de acidez y/o bajos contenidos de Ca y Mg.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de esta nueva enmienda líquida como una alternativa viable para el control de la acidez de suelo y para mejorar el rendimiento del cultivo del arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre mayo y octubre del 2010, en el cantón de Los Chiles, Alajuela, Costa Rica, en la localidad de San Gerardo de Cuatro Esquinas, en la finca de un productor de arroz.

Como fuente de enmienda líquida se utilizó Cal 56 de la empresa Suplidora Verde. Es un material en presentación líquida que tiene 40% de Ca p/v (56% de CaO), en forma de CaCO_3 , y 6,9% de N p/v en forma de urea. Se utilizaron 3 dosis de Cal 56: 6, 8 y 10 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$, diluidas en un volumen de 200 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ de agua. La dosis más baja se mezcló con 4 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ del fertilizante líquido Nitro LL, que contiene 33% de N p/v, la tercera parte en forma de urea, y las otras 2 terceras partes en forma de N de lenta solubilidad (Agrichem 2010).

Los tratamientos fueron los siguientes:

- 1- Testigo sin enmienda
- 2- Cal 56 en dosis de 6 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ y Nitro LL en dosis de 4 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$
- 3- Cal 56 en dosis de 8 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$
- 4- Cal 56 en dosis de 10 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$

El área total del ensayo fue de 1600 m^2 . La parcela experimental fue un área de 100 m^2

Figura 1 (10 m de ancho x 10 m de largo), y el diseño experimental fue de Bloques Completos al Azar, con 4 tratamientos y 4 repeticiones.

3	4	1	2
1	2	3	4
2	3	4	1
4	1	2	3
Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4

Fig. 1. Representación de la distribución de los tratamientos y repeticiones en el campo.

El terreno experimental fue preparado con un tractor y 2 pases de rastra previamente a la siembra. Después de esta tarea se procedió a realizar un muestreo de suelo para tomar una muestra compuesta de toda el área experimental, con la finalidad de realizar un análisis de suelo antes de aplicar las enmiendas. El mismo se realizó en el Laboratorio de Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) y consistió en un análisis químico completo, según la metodología del laboratorio (Díaz-Romeu y Hunter 1978). El suelo es un Ultisol moderadamente ácido (Cuadro 1), con acidez intercambiable baja y contenidos medios de Ca y Mg. El P y Zn se encuentran muy bajos, y el Fe y Mn están altos.

En la siembra del arroz se utilizó la variedad Palmar 18 y se colocó una semana después de la preparación del terreno. La aplicación de las enmiendas líquidas se llevó a cabo 8 días después de la germinación del arroz, la cual se realizó de

forma independiente en cada parcela según el tratamiento, por medio de una bomba de espalda marca Carpi de 18 l de volumen y un recipiente con una escala volumétrica (en ml) para realizar las mediciones de la enmienda líquida que se aplicó en cada parcela. Las cantidades se calcularon según la dosis y el área de cada tratamiento disuelto en un volumen final de 16 l de solución, con el objeto de simular un consumo de 200 l.ha⁻¹ de caldo de aplicación, que es el volumen promedio que se utiliza en una aspersión foliar por la mayoría de los productores de arroz.

Una vez aplicadas las enmiendas, todos los tratamientos recibieron el programa convencional de fertilización edáfica de arroz recomendado para los suelos de Los Chiles, y que fue de 120 kg.ha⁻¹ de N, 50 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg.ha⁻¹ de K₂O, 15 kg.ha⁻¹ de S. Todo el P se aplicó con voleadora a la siembra, el N se aplicó fraccionado a la siembra, a los 20, 35 y 50 días después de la germinación del arroz, el K y S se aplicó a los 35 y 50 días junto al N. Como fuentes de fertilizantes se utilizaron MAP (10-52-0), Daphos (0-25-0-6-35(CaO)-3(S)-22(SiO₂)), Urea (46-0-0), KCl (0-0-60) y Sulfato de amonio (21-0-0-24(S)). Aunque no se hizo análisis de S en el suelo, el conocimiento y experiencia en los suelos ácidos de Los Chiles indica que este elemento generalmente se encuentra deficiente, por lo que los productores de arroz lo incluyen de rutina en sus programas de fertilización. Además se hicieron 2 aplicaciones de quelato de Zn foliar en dosis de 1 l.ha⁻¹, en macollamiento y prefloración. El control de malezas, plagas y enfermedades fue el mismo manejo comercial que se le dio a la plantación.

Antes de la cosecha se hizo un muestreo de 10 panículas por tratamiento y repetición, para evaluar las variables de rendimiento, las cuales

Cuadro 1. Análisis químico del suelo del área experimental, San Gerardo, Los Chiles 2010.

pH	cmol(+).l ⁻¹					%	mg.l ⁻¹				
	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE		SA	P	Zn	Cu	Fe
5,1	0,50	3,78	2,05	0,16	6,49	8	2	1,9	7	139	102

fueron: tamaño de panícula en cm, número de espigas por panícula, número total de granos por panícula, número de granos llenos, número de granos vanos y peso de 1000 granos.

Una vez tomada estas muestras, se procedió a cosechar un área de 4 m² (2x2) en cada tratamiento de cada una de las repeticiones, esto con el fin de obtener la variable de rendimiento de grano en granza. Tanto la cosecha como la aporrea se realizaron de forma manual, con un cuchillo para cortar las plantas y un manteado con una tarima de madera para aporrear las plantas y de esta manera desprender los granos de arroz.

Una vez que se cosechó y aporreó el arroz de cada parcela, se procedió a pesarlo, para lo cual se utilizó una balanza de campo, con una capacidad hasta de 15 kg. Con el fin de obtener los resultados de las variables de calidad de molienda, se procedió a tomar una muestra de 1 kg de grano por cada parcela y se enviaron al laboratorio de la empresa DEMASA, en Parrita, en donde fueron procesadas según la metodología del reglamento técnico de arroz en granza estipulada por el CONARROZ (CONARROZ 2009).

Después de la cosecha se tomaron 5 muestras con un barreno, por cada muestra tomada en cada parcela. Esto con el fin de obtener un análisis químico de suelos para cada tratamiento de cada repetición, los cuales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y Foliar del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Se realizó el análisis estadístico de todas las variables mediante el programa de Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de las variables de rendimiento. El análisis estadístico presentó diferencias significativas entre tratamientos con las variables de rendimiento de arroz en granza y grano pilado.

Los resultados muestran que hubo diferencias significativas entre tratamientos en el rendimiento de arroz en granza. Todos los tratamientos

de enmienda líquida superaron al testigo en rendimiento. El tratamiento de Cal 56 en dosis de 8 l.ha⁻¹ presentó el rendimiento más alto, con 6300 kg.ha⁻¹, que mostró diferencias significativas con respecto al testigo y superándolo en 1,8 t.ha⁻¹ de grano (Cuadro 2). La enmienda líquida suministró Ca a las plantas de arroz, elemento que se encontraba ligeramente bajo en este suelo (Cuadro 1). El Ca es necesario para favorecer el crecimiento de raíces y la división celular, lo cual aumenta el crecimiento y por ende la producción de grano. Además es probable que el contenido de N de la Cal 56 (6,9%), estimuló también un mayor crecimiento de las plantas de arroz que ayudó a mejorar el rendimiento de grano en los tratamientos con la enmienda líquida.

El rendimiento de pilado o % de arroz pilado corresponde a los granos de arroz a los cuales se les ha removido la cáscara, la mayor parte de las capas exteriores al endosperma, y el embrión, se le conoce como arroz elaborado o blanqueado (CONARROZ 2009). Hubo diferencias significativas entre el tratamiento testigo y la dosis de 10 l.ha⁻¹ de Cal 56 con respecto a esta variable, aunque la diferencia entre ellos fue muy estrecha. El % de grano quebrado no mostró diferencias significativas entre tratamientos.

Con las variables tamaño de espiga y granos totales no hubo efecto significativo de tratamiento, pero todos los tratamientos de enmienda líquida fueron superiores al testigo, al ser el tratamiento de Cal 56 en dosis de 8 l.ha⁻¹ el que mostró el valor más alto con ambas variables.

Con las variables número de granos vanos y peso de 1000 granos, tampoco se presentaron diferencias significativas, pero si hubo la misma tendencia de mejorar los valores con la aplicación de enmienda líquida en comparación con el testigo. En ambas variables el mejor tratamiento fue la Cal 56 en dosis de 10 l.ha⁻¹.

Los resultados indicaron que hubo respuesta del cultivo del arroz al uso de enmiendas en estos suelos de acidez moderada y niveles medios de bases intercambiables. La aplicación de enmiendas es la forma más práctica y económica de reducir los problemas de acidez del suelo

Cuadro 2. Efecto de la aplicación de enmienda líquida en las variables de rendimiento de arroz, Los Chiles, Alajuela.

Tratamiento	Tamaño	Número espigas	Número granos totales	Número granos vanos	Peso 1000 granos g	Rendimiento	Grano quebrado %	Rendimiento kg.ha ⁻¹
	panícula cm					pilado		
Testigo sin enmienda	27,75	13,45	139	24,7	32,75	70,2 a	11,9	4500 a
Cal 56 6 l.ha ⁻¹ +Nitro LL	28,27	13,50	143	21,6	33,03	69,5 ab	14,3	5660 ab
Cal 56 8 l.ha ⁻¹	29,10	14,15	158	23,1	33,33	69,6 ab	11,4	6300 b
Cal 56 10 l.ha ⁻¹	28,15	13,38	146	20,6	33,63	69,1 b	12,5	5560 ab

Valores con letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa con $p < 0,01$.

(Espinosa y Molina 1999, Bernier y Alfaro 2006), y de suplir Ca como nutrimento para las plantas (Molina 1998). Estos resultados respaldan la respuesta positiva del encalado en el cultivo del arroz en suelos ácidos, tal y como ha sido documentado por Name (1992) y Sánchez y Owen (2001).

La enmienda líquida se utilizó a una dosis relativamente baja (6 a 10 l.ha⁻¹), lo que representa un costo entre \$80 y \$100.ha⁻¹. Una de las ventajas del uso de enmiendas líquidas reside precisamente en su costo más bajo en comparación con otro tipo de enmiendas convencionales (Peters et al. 1996). Además, la cal líquida es más fácil de aplicar porque se puede mezclar con otros productos fitosanitarios durante las prácticas normales de aspersión foliar (Suplidora Verde 2010).

En el Cuadro 3 se presentan los resultados del análisis de suelo que se realizó posterior a la cosecha del arroz. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre tratamientos para las variables de fertilidad de suelos. Sin embargo, el Ca y la CICE del suelo fueron ligeramente modificadas como consecuencia de la aplicación de enmienda líquida. El tratamiento de 10 l.ha⁻¹ de Cal 56, causó un aumento de más de 1 cmol(+).l⁻¹ en la concentración de Ca y CICE con respecto al testigo. El aumento del

Ca probablemente se debió al suministro de este nutrimento por parte de la enmienda líquida, la cual tiene una concentración de 56% de CaO. Esto se presentó a pesar de que la enmienda se utilizó en una dosis baja. Si bien el pH subió ligeramente con la aplicación de enmienda líquida, que presentó el valor más alto obtenido con Cal 56 en dosis de 10 l.ha⁻¹, esto se podría explicar en gran parte por la variación normal que se presenta en los resultados de análisis de suelos.

Los efectos de la cal en el mejoramiento de la fertilidad del suelo están bien documentados (Espinosa y Molina 1999, Molina y Rojas 2005, Kass 2007). La cal reduce la acidez intercambiable y sube los contenidos de Ca y/o Mg según el tipo de fuente (Lopes et al. 1991, Bernier y Alfaro 2006).

El beneficio de la Cal 56 en este suelo se podría atribuir a que es un CaCO₃ de alta fineza, de malla 625 mesh, que permite una reacción química en el suelo muy fuerte y rápida, de manera similar a como reaccionaría un óxido de calcio. Además, la presencia de la goma *Xanthana* como coadyuvante probablemente favoreció que la cal persistiera más en el suelo debido a la acción adhesiva de la goma y que favoreció su penetración a través del suelo.

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de enmienda líquida en las características químicas del suelo, Los Chiles, Alajuela.

Tratamiento	pH H ₂ O	cmol(+).l ⁻¹					%	mg.l ⁻¹				
		ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE		SA	P	Zn	Cu	Fe
Testigo sin enmienda	5,1	0,54	4,29	2,46	0,10	7,48	7	1	1,7	8	146	94
Cal 56 6 l.ha ⁻¹ +Nitro LL	5,2	0,49	4,64	2,52	0,11	7,75	6	3	1,8	8	151	107
Cal 56 8 l.ha ⁻¹	5,2	0,38	4,69	2,40	0,12	7,59	5	2	1,9	8	160	107
Cal 56 10 l.ha ⁻¹	5,3	0,42	5,45	2,67	0,10	8,64	5	2	1,7	8	178	77

CONCLUSIONES

La aplicación de enmiendas líquidas incrementó el rendimiento del arroz en forma significativa, siendo la dosis de 8 l.ha⁻¹ de Cal 56 el mejor tratamiento resultante. La Cal 56 mejoró levemente el contenido de Ca en el suelo y otras variables de rendimiento como el número de granos y el peso de 1000 granos.

LITERATURA CITADA

- AGRICHEM. 2010. Hoja técnica Nitro LL. Agrichem, Sao Paulo, Brasil. 2 p.
- ALCARDE J.C. 1992. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretacoes técnicas. ANDA, Sao Paulo, Brasil. Boletim técnico N°. 6. 26 p.
- BARBER S. 1984. Liming materials and practices, pp. 171-209. In: F. Adams (ed). Soil Acidity and Liming. ASA, Wisconsin.
- BERNIER M., ALFARO M. 2006. Acidez de los suelos y encalado. Boletín INIA N°. 151, Osorno, Chile, 46 p.
- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS, San José, Costa Rica. 157 p.
- CHAVES M.A. 1993. Importancia de las características de calidad de los correctivos de acidez del suelo: desarrollo de un ejemplo práctico para su cálculo. DIECA, San José, Costa Rica. 41 p.
- CONARROZ. 2009. Reglamento técnico de arroz en granza. Boletín técnico. San José, Costa Rica. 28 p.
- DÍAZ-ROMEU, R., HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- DOBERMANN A., FAIRHURST T. 2000. Rice: nutrient disorders and nutrient management. Potash and Phosphate Institute and Internacional Rice Research Institute, USA. 190 p.
- ESPINOSA E., MOLINA E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. INPOFOS, Quito, Ecuador. 42 p.
- KMPRATH E. 1984. Crop response to lime in soils of the tropics pp. 349-369. In: F. Adams (ed). Soil acidity and liming. ASA, Wisconsin.
- KASS D. 2007. Fertilidad de los suelos. EUNED, 2 reimpresión. San José, Costa Rica. 272 p.
- LÓPES A.S., SILVA M.C., GUILHERME L.R. 1991. Acidez do solo e calagem. 3 ed, ANDA. Boletim técnico N°. 1. Sao Paulo, Brasil. 22 p.
- MOLINA E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. ACCS. San José, Costa Rica. 45 p.
- MOLINA E., ROJAS A. 2005. Efecto de encalado en el cultivo de naranja Valencia en la Zona Norte de Costa Rica. Agronomía Costarricense 29(3):81-95.
- MURILLO J., GONZÁLEZ R. 1983. Manual para la producción de arroz de secano en Costa Rica. CAFESA. San José, Costa Rica. 127 p.
- NAME B. 1992. Dinámica de fósforo en un Ultisol de Panamá. Reporte del ciclo 1991-1992, Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá, Divisa, Panamá.
- PETERS J.B., KELLING K.A., SCHULTE E.E. 1996. Choosing between liming materials. University of Wisconsin, Madison, Extension Cooperative Publication A3671. 4 p.
- SALAS R., MOLINA E., BOULDIN D. 1996. Lime response on tanier in an Ultisol of Costa Rica. Communications in Soil Science and Plant Analysis 27(9/10):2477-2484.
- SÁNCHEZ L.F., OWEN E.J. 2001. Fertilidad de los suelos y fertilización de los cultivos en los Llanos Orientales, pp. 345-402. In: F. Silva (ed), Fertilidad de Suelos: diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia.
- SUPLIDORA VERDE 2010. Aspectos técnicos de Cal 56. Hoja Técnica, Suplidora Verde, Cartago, Costa Rica. 2 p.
- VILLEGAS O., VARGAS F., PÉREZ J., GARCÍA R., PORRAS S., MENESES R., QUESADA A., DELGADO G., ALPIZAR D., MORA B., LEON R., ALFARO D. 2008. Programa nacional de producción de alimentos región Huetar Norte. Boletín técnico, MAG, San José, Costa Rica. 35 p.

Nota técnica

DETERMINACIÓN DEL COLOR EN EPICARPIO DE TOMATES (*Lycopersicum esculentum* Mill.) CON SISTEMA DE VISIÓN COMPUTARIZADA DURANTE LA MADURACIÓN

Carlos Alberto Padrón Pereira^{1/}, Gisel Marié Padrón León^{**},
Adriana Isabel Montes Hernández^{***}, Rafael Antonio Oropeza González^{****}

Palabras clave: Espacios de color, *Lycopersicum esculentum* Mill., medición del color en tomates, Photoshop[®], técnicas de procesamiento de imágenes.

Keywords: Color spaces, image processing techniques, *Lycopersicum esculentum* Mill., measurement of color in tomatoes, Photoshop[®].

Recibido: 10/10/11

Aceptado: 03/01/12

RESUMEN

Se estudió la evolución del color de muestras de tomates durante la maduración a temperatura ambiente y otras en refrigeración, mediante Sistema de Visión Computarizada (SVC). El SVC lo constituye un escenario iluminado, una cámara digital CCD y un computador (Laptop) ambos calibrados. El procesamiento digital de las imágenes se llevó a cabo con el software Adobe[®] Photoshop[®] CS3 Extended, con los cuales generaron imágenes promediadas en coordenadas L^* , a^* y b^* . La relación a^*/b^* y las coordenadas polares c^* y $h^°$, que presentaron diferencias estadísticas significativas entre las muestras determinadas ($p < 0,05$).

ABSTRACT

Color determination in tomato epicarp using Computer Vision System during ripening. The evolution of color in tomatoes samples, during ripening under refrigeration or at room temperature, was studied by Computer Vision System (CVS). CVS consisted in a lighted stage, a CCD digital camera and a computer (Laptop), all calibrated. The digital processing of images was performed with the Adobe[®] Photoshop[®] CS3 Extended software, with which averaged images on L^* , a^* and b^* coordinates were obtained. The proceeding tested, using CVS, allowed to study the variations of color during the ripening of tomatoes from images, by means of rectangular coordinates (L^* , a^* , b^*). The ratio a^*/b^* and polar coordinates (c^* , $h^°$), showing statistically significant differences between samples determined ($p < 0,05$).

¹ Autor para correspondencia. Correo electrónico: carlospadron1@gmail.com

* Asociación RVCTA. Valencia, Estado Carabobo. C. P. 2001, Venezuela.

** Unidad Educativa "Colegio Don Bosco". Valencia, Estado Carabobo. C. P. 2001, Venezuela.

*** Ayuntamiento de La Matanza de Acentejo, Tenerife, Comunidad Autónoma de las Islas Canarias, España.

**** Atlantic Pan S. L., Tenerife, Comunidad Autónoma de las Islas Canarias, España.

INTRODUCCIÓN

La comercialización del tomate, esta determinada primeramente por la aceptación del tamaño de los frutos y el color (Riquelme-Ballesteros 1995). En la industria de productos derivados del tomate, tales como ketchup y otros tipos de salsas, reviste interés el intervalo de color óptimo que puede ayudar a las agroindustrias de tomate, a incrementar la calidad de sus productos para los consumidores. Para estos productos, demasiado rojo o demasiado marrón es indeseable (Claybon y Barringer 2002); por ejemplo, pruebas sensoriales de preferencia realizadas en ketchup han revelado que principalmente la luminosidad y el ángulo de tono son responsables de la preferencia por parte de consumidores; ketchup con ángulos de tono >35 fueron menos preferidas mientras que con valores de luminosidad de 32 a 34 obtuvieron mayor aceptación (Intelmann et al. 2005).

La estrecha relación que existe entre la evolución de los pigmentos y su estado de madurez, permite diferenciar con base en los cambios que experimenta el color. Numerosas escalas y cartas de color se han desarrollado para realizar una clasificación subjetiva, de forma gráfica o descriptiva, del estado de maduración en una progresión de tomate verde a tomate rojo. Por otra parte, para una clasificación objetiva se han diseñado instrumentos portátiles que han permitido ampliar las mediciones que ofrecen exactitud, como los colorímetros Minolta® (Riquelme-Ballesteros 1995), entre ellos el CR-410T (Konica Minolta Sensing Americas, Inc. NJ, USA) y el espectrofotómetro ColorFlex® Tomato Color Meter (Hunter Associates Laboratory, Inc. VA, USA), Este último mide distintos índices de color en tomates frescos, pastas y salsas, que incluyen además el índice a/b (No a^*/b^*), aparte de ofrecer lecturas en coordenadas de espacios de color Hunter (L, a, b) y CIE (L^* , a^* , b^*), entre otras (HunterLab 2006). No obstante lo anterior se identifica como limitante para el uso de dichos instrumentos el costo de adquisición y mantenimiento.

En el estándar estadounidense, para la clasificación de tomates frescos se utilizan distintos

conceptos para indicar el estado de maduración, tales como: 'green' completamente verde; 'breakers' con ruptura definitiva en el color de verde a amarillo oscuro, rosado o rojo en no más del 10% de la superficie; 'turning' con más del 10% pero no más del 30% de la superficie en conjunto que muestra un definitivo cambio de color de verde a amarillo oscuro, rosado, rojo o una combinación; 'pink' con más del 30% pero no más del 60% de la superficie, muestra un color rosado o rojo; 'light red' con más del 60% de la superficie, en conjunto muestra un color rosado-rojizo o rojo y no más del 90% es de color rojo; 'red' con más del 90% de la superficie es de color rojo y 'mixed color' que resulta ser cualquiera que no cumpla las designaciones anteriores en la gama de colores (USDA 1997). Para la descripción anterior, existe una carta de color denominada "Tomato color standards U.S.D.A. Visual Aid TM- L-1" (The John Henry Co. MI, USA), con 12 fotografías en color que ilustran los requerimientos de clasificación. En Venezuela, la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) en su norma 165:83, emplea para la clasificación por madurez del tomate los términos 'verde' que es el índice de color entre 1 y 2, 'pintones' que es el índice de color entre 3 y 4 y 'maduros' que es el índice de color entre 5 y 6 (COVENIN 1983).

De cualquier manera un término como 'breakers' o 'pintones' utilizado en la maduración de tomates implica una amplia variación en una gama de colores que no queda bien definida, ya que depende de la variedad.

La creación de programas mediante el desarrollo de algoritmos y técnicas han permitido la puesta en práctica de software de utilidad para el reconocimiento de características en frutos. Seng y Mirisae (2009) crearon un sistema basado en 5 módulos para el reconocimiento de frutos, entre ellos los módulos de cálculo de la forma, el tamaño y el color; este último en coordenadas RGB con el software MATLAB® (MatchWorks®, Inc., Natick, MA, USA) que permiten procesar, analizar, clasificar e identificar las imágenes de los frutos. Por ejemplo el Tomato Analyzer (Ohio Agricultural Research and Development Center,

The Ohio State University, USA) es un software que permite previo escaneo de frutos cortados la recolección de datos del tamaño y la forma del producto; también posee un módulo para la recolección de datos del color a partir de las imágenes digitales escaneadas (Darrigues et al. 2008). El software tiene la propiedad de convertir los valores RGB a coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ (Darrigues et al. 2007) y aportar información sobre otras características fenotípicas (Brewer et al. 2008, Gonzalo et al. 2009).

Para el procesamiento de imágenes de frutos, además del software, en este estudio fue necesario crear lo que se denomina un Sistema de Visión Computarizada (SVC) (CVS, 'Computer Vision System') que involucra de manera sencilla el uso de un computador con monitor calibrado, una cámara digital calibrada para la captación de las imágenes y la instalación de un escenario con condiciones de iluminación establecidas. La clasificación de tomates por color mediante técnicas para el procesamiento de imágenes con un SVC fue llevada a cabo por Loureiro-Lino et al. (2008) además del software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) que facilitó exhibir imágenes en coordenadas R, G y B. Por otra parte, un procedimiento con SVC y herramientas de diseño gráfico permitieron la obtención de imágenes de muestras promediadas en coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$, que confirman el beneficio de su aplicación en la evaluación de estados de maduración de cultivos con el software Adobe® Photoshop® CS3 Extended (Adobe Systems Incorporated, San José, CA, USA) (Padrón-Pereira 2009). Los parámetros de color L^* , a^* y b^* en una muestra de alimento, designan: L^* , la luminosidad (0=negro y 100=blanco); a^* , el color rojo (valores positivos) o verde (valores negativos) y b^* , el color amarillo (valores positivos) o azul (valores negativos).

Es común encontrar en la literatura, que la determinación del color en muestras de alimentos, se lleve a cabo mediante coordenadas como L^* , a^* y b^* que podrían no identificar el color correcto por errores en la medición, aunando a que las coordenadas señalan el color observado

por el investigador y no por el instrumento (por ejemplo, beige claro en una harina), debido a que en la pantalla digital LED de estos instrumentos, presenta solo las coordenadas y no una imagen del color promedio, por lo que no hay manera de verificar si la medición fue correcta en concordancia con lo observado. Los valores de las coordenadas del espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$ indicados en instrumentos de medición del color se pueden verificar mediante la inclusión de los mismos en la creación de imágenes del color medido en el software Adobe® Photoshop®. Es necesario indicar, que en la paleta de colores aparecen reguladores Lab con coordenadas L, a y b (sin asterisco) y realmente el modelo es CIE- $L^*a^*b^*$, con coordenadas L^* , a^* y b^* ; por lo no se debe confundir con las coordenadas L, a y b de la escala HunterLab.

MATERIALES Y MÉTODOS

Según lo anterior, el propósito de este estudio fue procesar imágenes de frutos de tomate mediante SVC e investigar la evolución del color durante la maduración a temperatura ambiental y en refrigeración.

Escenario

Sobre un escritorio se colocó un portalámpara retráctil provisto de una lámpara fluorescente de vidrio prensado con reflector parabólico de aluminio de diámetro 38 octavos de pulgada (PAR38), marca General Electric, 120V, 60Hz, 20w, con temperatura de color $T_c=6500$ °K (D_{65}). El reflector se hizo incidir sobre papel digital marca Xerox de 150 g.m⁻², liso, de alta blancura y mate a una distancia de 13 cm. La cámara digital fue ubicada sobre un soporte a una distancia de 22 cm y la geometría de las direcciones de iluminación/observación fue de 45°/0°.

Calibración de la cámara digital

Se empleo una cámara digital marca Panasonic (LUMIX), modelo DMC-FS42, provista de un sensor CCD de tamaño 1/2,5 pulgadas;

10,1 megapíxeles (efectivos) y enfoques en modo normal (50,0 cm-∞) y macro (5,0 cm-50,0 cm). La cámara se colocó en modo de imagen normal para tomar fotografías con ajustes deseados: flash desactivado y enfoque en modo macro (fotografías en primer plano de las muestras a distancias de entre 5,0 cm (0,17 ft) y 50,0 cm (1,64 ft)). La cámara permite realizar ajustes manuales de balance de blancos, con el enfoque de una hoja de papel bond blanco (Xerox, 150 g.m⁻²) en el escenario iluminado a 10 cm de distancia.

Para determinar la mejor Sensibilidad ISO, se tomaron fotografías de 2,0 megapíxeles, por triplicado, en el escenario iluminado, a una distancia de 30 cm a muestras patrones de color de la guía de colores PANTONE® solid matte (Cyan, Magenta, Yellow y Black-Pantone Process M), con modificaciones de la Sensibilidad ISO a 80, 100, 200, 400, 800 y 1000 y se observaron en el visor de imágenes de Windows®. La sensibilidad a la luz no ofreció grandes variaciones y se seleccionó el valor ISO 80 por presentarse menor ruido en las imágenes.

Para la determinación del mejor Valor de Exposición (VE) (EV, 'Exposure Value'), o cantidad de luz que se pasa al sensor CCD en función del valor de apertura y la velocidad del obturador (Panasonic 2010), se tomaron fotografías por triplicado, a las mismas muestras patrones, en las mismas condiciones señaladas anteriormente con variaciones de los VE a -1; -2/3; -1/3; 0 + 1/3; + 2/3 y +1. En Adobe® Photoshop® CS3 Extended (Adobe Systems Incorporated, San José, CA, USA), a las imágenes obtenidas se les ajustaron los niveles de entrada y salida: menú imagen, submenú ajustes, opción niveles; se recortaron las muestras de color de manera independiente (selección con herramienta marco rectangular, menú imagen, opción recortar), se promediaron los píxeles y menú filtro, submenú desenfocar y opción promediar, con la herramienta cuentagotas se tomaron muestras del color que reflejaron las coordenadas RGB en la paleta de colores del software. Se abrió el libro PANTONE® solid matte incluido en el software con selector de color-biblioteca de colores y se comparó. Se seleccionó el VE=+2/3 por

presentar las imágenes promediadas, las coordenadas RGB mas similares a los valores RGB de los estándares Cyan, Magenta y Yellow (Pantone Process M).

Computadora y calibración del monitor

El equipo utilizado fue una computadora portátil (Laptop), marca ACER, modelo Aspire 3661WLMi, provista de un procesador Intel® Celeron® M 410 de 1,46 GHz con tarjeta gráfica ATI Radeon™ Xpress 200M, monitor WXGA CrystalBrite LCD de 15,4 pulgadas, tiempo de respuesta de 16 min, con resolución de 1280 x 800 píxeles, memoria RAM expandida a 1,93 GB y sistema operativo Microsoft® Windows® XP, Home Edition, Versión 2002, Service Pack 3. El ambiente y las condiciones de trabajo para la calibración del monitor fueron las siguientes: la luz ambiental fue inferior a la de intensidad del monitor (ni luz intensa diurna, ni mucha oscuridad) y sin incidencia directa sobre el mismo. Con el software Photoshop®, se creó un archivo nuevo (formato JPEG) de 10x10 píxeles con resolución de 72 píxeles/pulgada, color con coordenadas R=128, G=128 y B=128 (gris) y se estableció como fondo de escritorio con posición en mosaico para evitar influencia de otros colores durante la calibración; el ángulo de observación entre el usuario y el monitor fue de 0° para evitar la distorsión de contraste, luminosidad y colores del monitor LCD, que ofrece ángulo de observación limitado que solo permite pequeños cambios en la postura del usuario. El monitor fue calibrado con el software Adobe® Gamma, a partir de la definición del punto blanco del hardware en 6500°K. Cabe destacar que luego de la calibración hubo contraste en la pantalla, debido a que el software Adobe® Gamma recomienda utilizar el más alto contraste; por su parte, el software Catalyst® Control Center de ATI con aplicación instalada en la portátil, controló la funcionalidad de los sistemas gráficos con valores de contraste entre 0 y 200, ya que el valor de 200 establecido provisionalmente. Catalyst® Control Center de ATI (Advanced Micro Devices, Sunnyvale, California, USA)

es una aplicación que no anula el contraste y color elegidos por el usuario y otros atributos individuales de visualización; no obstante, si el usuario elige usar una máscara diferente de la predeterminada, la máscara seleccionada, especialmente las que se obtienen de terceros como es el caso de Adobe® Gamma, podrían no respetar la configuración de contraste y color realizada por el usuario (AMD 2010); por este motivo, para ajustar el contraste luego de la calibración con Adobe® Gamma, se utilizó la barra de calibración de monitores del CMDF (2010), para establecer un valor final de contraste de 100.

Software

El software empleado fue Adobe® Photoshop® CS3 Extended (Adobe Systems Incorporated, USA) que es una aplicación profesional para la edición y retoque de imágenes en diversos formatos (ASI 2007) y posee una amplia variedad de bibliotecas de colores, entre las que se incluyen las guías de colores PANTONE® (X-Rite, Inc., Grand Rapids, MI, USA). Presenta reguladores en el espacio de color CIE-L*a*b* y HSB ('hue, saturation, brightness') o HSV ('hue, saturation, value') un modelo similar al espacio de color CIE-L*C* h° (Rodney 2005).

Selección y preparación de las muestras

Muestras de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) inmaduros, oblongos (tipo perita) fueron adquiridas en un establecimiento comercial, en Valencia, Venezuela. Los criterios de

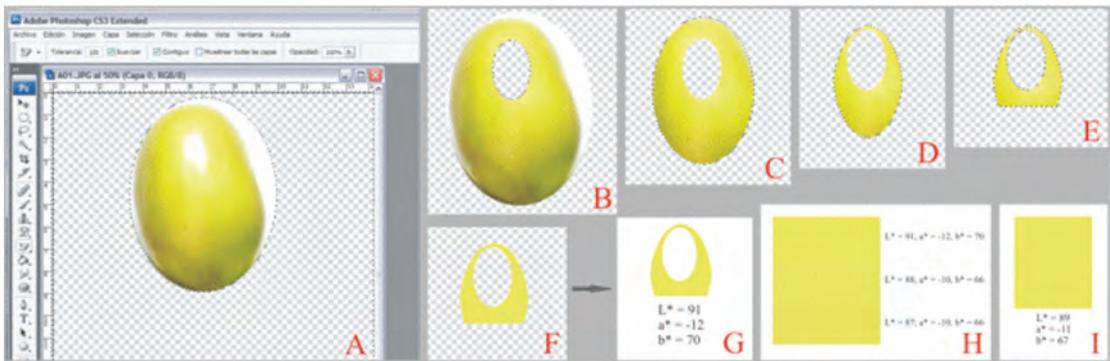
selección fueron: color totalmente verde con carencia de color amarillo, naranja o rojo y ausencia de defectos fisiológicos como arrugamiento o deformaciones y de daños mecánicos como cicatrices, golpes o rozaduras.

Se utilizaron 3 tomates lavados y secados con papel absorbente. Se posicionaron fijos sobre una bandeja forrada con papel bond blanco (Xerox, 150 g.m⁻²) y se mantuvieron sin atmósferas controladas, a temperatura ambiental (28°C±1°C) con luz; y otros 3 de similar forma en refrigeración (5°C±1°C) a oscuras, en un refrigerador marca Samsung, modelo RT47M.

Captación de las imágenes y determinación del color

Cada 24 h por 24 días las bandejas se colocaron sobre el escenario y bajo las condiciones establecidas se captaron por triplicado imágenes de los tomates (tamaño 4,9152 megapíxeles (2560 x 1920 píxeles)≈5; resolución 180 ppp o píxeles/pulgada; formato JPEG). En el caso de las muestras refrigeradas, el agua condensada en la superficie por la diferencia de temperatura fue removida antes de la captación. El tiempo transcurrido desde la colocación de las muestras en el escenario hasta la captación no fue mayor a 2 min, por lo que el efecto del calor emitido por la lámpara no se controló.

Las imágenes fueron descargadas en la computadora portátil y procesadas en Photoshop® con el procedimiento empleado por Padrón-Pereira (2009). La Figura 1, ilustra un ejemplo.



A: preprocesamiento. B: discriminación de la brillantez del reflector. C, D y E: segmentación secuencial para la obtención de la región de interés. F: promediado de los píxeles en la región de interés. G: región de interés con coordenadas L^* , a^* y b^* . H: imágenes rectangulares resultantes de 3 fotografías procesadas de una misma muestra y sus coordenadas. I: imagen final con coordenadas cromáticas promedio de 3 fotografías de una misma muestra.

Fig. 1. Procesamiento de imágenes para la determinación del color en Photoshop®.

Cálculo de parámetros y análisis estadístico

La literatura referida al color del tomate, menciona que los cambios de este parámetro son expresados en términos de diferentes combinaciones matemáticas de a^* y b^* , tales como, a^* , a^*/b^* , $(a^*/b^*)^2$, $\tan^{-1}(b^*/a^*)$, entre otros (López-Camelo y Gómez 2004). Los resultados de este trabajo, se presentan mediante las coordenadas rectangulares L^* , a^* , b^* ; la relación a^*/b^* y las coordenadas polares C^* y h° mediante las siguientes ecuaciones: Tono (h°)= $\arctan(b^*/a^*)$ para a^* y b^* positivos; Tono (h°)= $180+\arctan(b^*/a^*)$ para a^* negativo y b^* positivo; Croma (C^*)= $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$. Se elaboraron curvas de relación a^*/b^* versus días de maduración y se compararon los valores de las mismas mediante análisis de varianza con medidas repetidas (ANAVAR-MR) y pruebas de comparación de medias ($p<0,05$) con el software MedCalc®, versión 11.3.1.0 (MedCalc Software bvba, Mariakerke, Belgium). Los rectángulos en los cuadros, se realizaron con Photoshop®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Imágenes promediadas de los tomates y coordenadas L^* , a^* y b^*

En el Cuadro 1 se presentan las coordenadas L^* , a^* y b^* (espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$) y las imágenes obtenidas en epicarpios de 3 tomates almacenados a temperatura ambiental durante 24 días de maduración. El tomate por ser un fruto carotenogénico, durante su maduración se destaca por la síntesis masiva de carotenoides, habitualmente acompañada por un cambio en su perfil de carotenoides (Artés-Calero y Artés-Hernández 2004a). Los cambios de coloración durante la maduración de los frutos de tomate resultan en cambios de los valores L^* , a^* y b^* . En el Cuadro 1, se observa que la coordenada a^* mostró el mayor cambio, y que dio inicio con valores negativos (color verde) que progresivamente fueron positivos (color rojo). López-Camelo et al. (2003) y Shewfelt et al. (1988) señalan que durante la

Cuadro 1. Coordenadas cromáticas rectangulares y color de 3 muestras de tomates almacenados a temperatura de 28°C±1°C durante 24 días de maduración.

Días	Muestras											
	TA1				TA2				TA3			
	L*	a*	b*	Color	L*	a*	b*	Color	L*	a*	b*	Color
1	89	-11	67		86	-9	75		87	-13	75	
2	94	-10	62		89	-5	75		91	-11	75	
3	90	-8	73		80	6	78		86	-6	81	
4	93	-8	68		77	14	78		87	-2	82	
5	89	-3	76		72	24	75		83	5	81	
6	87	1	79		68	32	73		78	12	79	
7	87	2	81		67	35	72		80	13	81	
8	87	3	81		65	37	72		79	15	80	
9	85	6	81		64	38	71		77	18	79	
10	87	4	81		70	33	75		79	16	80	
11	85	7	81		67	37	72		76	19	78	
12	85	7	82		64	40	71		73	24	76	
13	87	4	81		70	34	75		77	19	79	
14	83	10	81		66	39	72		73	24	76	
15	82	12	81		64	43	71		72	26	76	
16	82	13	80		66	40	72		72	27	76	
17	78	18	79		60	46	68		69	29	74	
18	79	16	80		61	44	69		70	27	74	
19	76	21	78		59	48	68		67	32	72	
20	77	20	78		61	46	68		67	32	72	
21	78	19	78		62	44	69		67	31	72	
22	78	19	79		62	43	69		68	30	73	
23	80	15	80		63	43	70		70	27	74	
24	78	18	79		62	44	69		68	31	73	

Las coordenadas son valores promedio de píxeles en zona paraxial de 3 fotografías.

TA=tomate ambiental: muestra de tomate almacenado a 28°C±1°C.

maduración del tomate, inicialmente se sintetiza el fitoeno (incoloro), para posteriormente dar lugar al ζ -caroteno (amarillo pálido), licopeno (rojo), β -caroteno (anaranjado) y xantofilas y carotenoides hidroxilados (amarillos); los autores destacan además que la síntesis de pigmentos amarillentos precede a la de los rojizos, pero la

masiva acumulación de éstos últimos enmascarar a los primeros.

Cuando los pigmentos rojos comenzaron a ser sintetizados ocurrió una disminución de los valores de la coordenada L* que indicó un oscurecimiento o disminución de la luminosidad y los cambios en la coordenada b* fueron menores.

El comportamiento de las coordenadas observado para los 3 frutos coincide con el estudio de López-Camelo y Gómez (2004) en la comparación de coordenadas durante la maduración del tomate, y es de hacer notar que aunque el primer día los frutos presentaron similar color, la evolución del mismo fue distinta para los 3, aún presentándose en las mismas condiciones de luz y temperatura.

En el Cuadro 2 se presentan las coordenadas L^* , a^* y b^* (espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$) y las imágenes obtenidas en epicarpios de 3 tomates almacenados a temperatura de refrigeración durante 24 días de maduración (a partir del día 25 se observó deterioro microbiano en el epicarpio y se detuvo la captación de imágenes).

Cuadro 2. Coordenadas cromáticas rectangulares y color de 3 muestras de tomates almacenados a temperatura de $5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24 días de maduración.

Días	Muestras											
	TR1				TR2				TR3			
	L^*	a^*	b^*	Color	L^*	a^*	b^*	Color	L^*	a^*	b^*	Color
1	81	-14	70		71	-10	71		72	-18	69	
2	86	-13	70		71	-8	71		72	-17	68	
3	84	-11	68		72	-6	72		72	-17	68	
4	83	-9	70		65	-1	67		71	-17	68	
5	86	-8	70		69	1	70		73	-16	69	
6	85	-7	71		68	4	70		72	-16	69	
7	83	-6	71		63	8	67		74	-16	70	
8	80	-2	70		62	13	66		70	-16	68	
9	88	-5	68		70	13	72		76	-16	70	
10	85	-3	70		64	19	69		73	-16	69	
11	86	-3	70		66	19	70		76	-17	70	
12	84	0	72		63	25	68		74	-16	70	
13	85	0	71		61	28	67		72	-15	69	
14	80	5	71		59	31	66		71	-15	68	
15	84	3	72		61	31	67		74	-15	70	
16	79	11	73		58	39	66		71	-14	68	
17	81	8	74		61	36	68		76	-15	71	
18	79	10	75		57	37	65		75	-16	71	
19	78	13	73		57	40	65		73	-13	69	
20	79	12	74		59	39	67		74	-14	70	
21	77	16	76		58	43	66		72	-13	71	
22	79	13	76		59	40	67		77	-15	72	
23	78	14	76		57	41	65		73	-15	70	
24	75	20	74		56	45	65		74	-12	70	

Las coordenadas son valores promedio de píxeles en zona paraxial de 3 fotografías.

TR=tomate refrigerado: muestra de tomate almacenado a $5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.

La coordenada a^* presentó el mayor cambio, sin embargo, la maduración o tasa de desarrollo del color fue diferente ($TR2 > TR1 > TR3$). El tomate no suele requerir una conservación frigorífica prolongada, pero a veces es necesario almacenarlo para regular el mercado. El frío moderado en el tomate (menos de 10°C) puede ejercer una acción gradual y duradera, que altera irreversiblemente el metabolismo del fruto tras unas 2 semanas. A partir de unos 6 días a temperaturas subóptimas puede presentarse incapacidad para alcanzar la plena madurez (Artés-Calero y Artés-Hernández 2004b), esto fue observado en TR3 (la coordenada a^* varió de -18 a -12 y se mantuvo en verde) y en contraposición a esto, TR2 fue similar a TA2 (Cuadro 1) a pesar de la diferencia en las condiciones de luz y temperatura. López-Camelo et al. (2003) y Shewfelt et al. (1988) señalan que si la maduración se lleva a cabo a temperaturas inferiores a los 12°C , consideradas subóptimas para la síntesis de licopeno, en los cromoplastos se acumula β -caroteno, cuya síntesis progresa a esas temperaturas, que presentó frutos anaranjados o amarillentos, esto fue observado en TR1. Por otra parte, Shewfelt y Halpin (1967) estudiaron el efecto de la calidad de la luz sobre el desarrollo del color en tomates almacenados a $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y encontraron que la

tasa de desarrollo del color en frutos cosechados en estado de madurez fisiológica fue influenciada por la calidad de la luz a la cual ellos fueron expuestos durante la maduración. El desarrollo del color del tomate también está influenciado por la composición de la atmósfera de conservación (Artés-Calero y Artés-Hernández 2004a).

Lo expuesto indica que con la utilización del SVC se logró observar la variación del color en tomates durante la maduración mediante coordenadas L^* , a^* y b^* obtenidas a partir de imágenes. Por otra parte, los valores de las coordenadas a^* pueden ser suficientes para predecir los cambios de coloración en las etapas de maduración del tomate (Tijssens y Evelo 1994), mediante aumentos graduales desde valores negativos (verde) hasta valores positivos (rojos).

Relación a^*/b^* de los tomates

El tono, índice de color, diferencia de color y la relación a^*/b^* , entre otros, pueden ser utilizados objetivamente para dar una estimación real de la percepción (López-Camelo y Gómez 2004). En el Cuadro 3 se presenta la relación a^*/b^* . Las relaciones a^*/b^* que presentan valores negativos

Cuadro 3. Relación a^*/b^* de muestras de tomates almacenados a temperaturas de 28 y 5°C durante 24 días de maduración.

Días	Muestras de tomates					
	TA1	TA2	TA3	TR1	TR2	TR3
	Relación a^*/b^*					
1	-0,16	-0,12	-0,17	-0,20	-0,14	-0,26
2	-0,16	-0,07	-0,15	-0,19	-0,11	-0,25
3	-0,11	0,08	-0,07	-0,16	-0,08	-0,25
4	-0,12	0,18	-0,02	-0,13	-0,01	-0,25
5	-0,04	0,32	0,06	-0,13	0,01	-0,23
6	0,01	0,44	0,15	-0,10	0,06	-0,23
7	0,02	0,49	0,16	-0,08	0,12	-0,23
8	0,04	0,51	0,19	-0,03	0,20	-0,24
9	0,07	0,54	0,19	-0,07	0,18	-0,23
10	0,05	0,44	0,20	-0,04	0,28	-0,23
11	0,09	0,51	0,24	-0,04	0,27	-0,24
12	0,09	0,56	0,32	0,00	0,37	-0,23
13	0,05	0,45	0,24	0,00	0,42	-0,22
14	0,12	0,54	0,32	0,07	0,47	-0,22
15	0,15	0,61	0,34	0,04	0,46	-0,21
16	0,16	0,56	0,36	0,15	0,59	-0,21
17	0,23	0,68	0,39	0,11	0,53	-0,21
18	0,20	0,64	0,36	0,13	0,57	-0,23
19	0,27	0,71	0,44	0,18	0,62	-0,19
20	0,26	0,68	0,44	0,16	0,58	-0,20
21	0,24	0,64	0,43	0,21	0,65	-0,18
22	0,24	0,62	0,41	0,17	0,60	-0,21
23	0,19	0,61	0,36	0,18	0,63	-0,21
24	0,23	0,64	0,42	0,27	0,69	-0,17

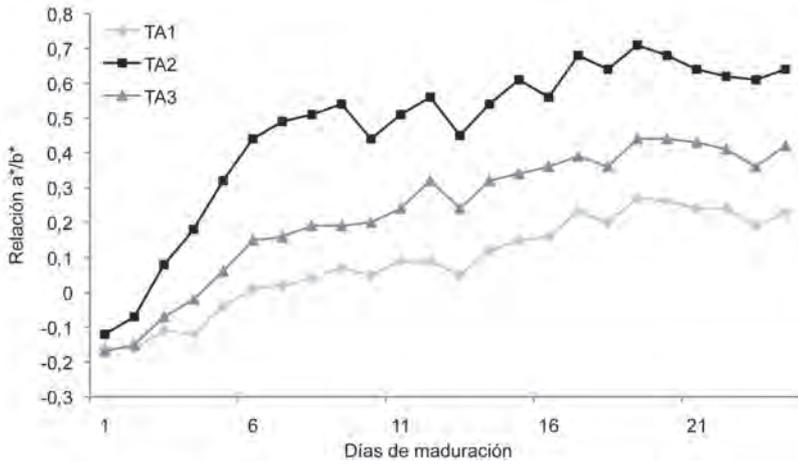
Los valores son promedios derivados de coordenadas en zona paraxial de 3 fotografías.

TA=tomate ambiental: muestra de tomate almacenado a $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

TR=tomate refrigerado: muestra de tomate almacenado a $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

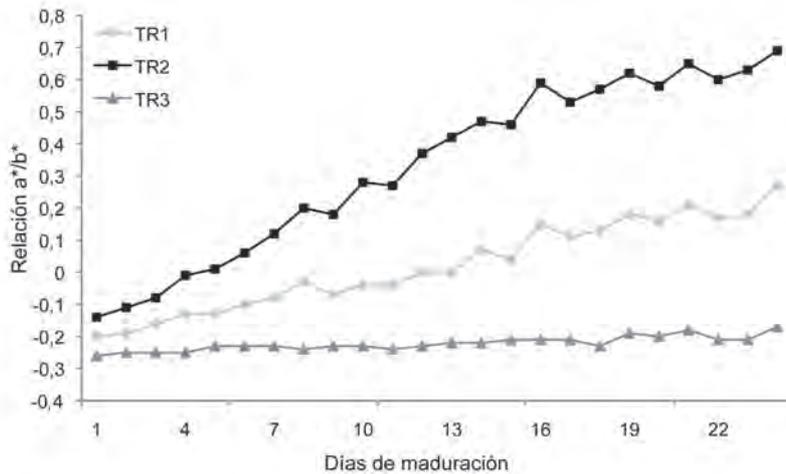
designan presencia del color verde (coordenada a^*) y la tendencia hacia valores positivos implica disminución de tal color e incremento de los colores amarillo (coordenada b^*) y rojo (coordenada a^*) propios de la maduración progresiva de los frutos. La evolución del color en el tiempo se ajustó, especialmente en las muestras almacenadas a temperatura ambiental, a un modelo de tipo sigmoideal (Figuras 2 y 3), que coincide

con lo presentado por otros autores para frutos almacenados en atmósferas normales (Tijssens y Evelo 1994) y controladas (Gómez y L.-Camelo 2002). Zapata et al. (2007) presentaron valores promedios de relación a^*/b^* para 4 etapas en la evolución del color de tomate redondo var. "Alma": crecimiento (recolectados verdes con diámetro ecuatorial de 4 a 7 cm)-0,49; este valor sugiere que todos los tomates recolectados en el



TA=tomate ambiental.

Fig. 2. Evolución del color en tomates almacenados a 28°C±1°C.



TR=tomate refrigerado.

Fig. 3. Evolución del color en tomates almacenados a 5°C±1°C.

presente trabajo (TA y TR) aunque verdes, estaban más maduros (Cuadro 3). Almacenamiento (a 12°C durante 14 días) 0,13; valor que pudiese corresponder a TA1 el día 14, TA2 días 3 al 4 y TA3 día 6. Maduración (a 20°C durante 5 días) 0,67; TA2 en los días 17 al 24. Comercialización (simulada a temperaturas de 30 a 32°C) 0,92; valor superior a los índices obtenidos el día 24 para todas las muestras estudiadas, de los cuales, los de TA2 y TA3 (0,64 y 0,42) son más coincidentes con los tabulados por López-Camelo y Gómez (2004) de 0,48 (tomate ligeramente rojo) y 0,59 (tomate rojo).

Lo expuesto indica que fue factible estudiar la maduración de tomates mediante valores de relación a^*/b^* calculados a partir de

coordenadas L^* , a^* y b^* obtenidas de imágenes procesadas en Photoshop®.

Los tomates y el espacio de color CIE- $L^*C^*h^\circ$

La variación genética en el color de los frutos en el género *Lycopersicum* es muy amplia (Lindhout 2005). En el espacio cromático cilíndrico CIE- $L^*C^*h^\circ$, valores de ángulo de tono (h°) de 0° a 90° indican una tendencia que va del color rojo paulatinamente que cambie por combinación con el amarillo hasta definirse este último. De 90° a 180° la tendencia es del amarillo al verde. En relación con el croma (C^*), para determinado ángulo, éste indicaría cuán puro o intenso es el color en una escala de 0 a 100, donde este último valor expresa la mayor pureza (Figura 4).

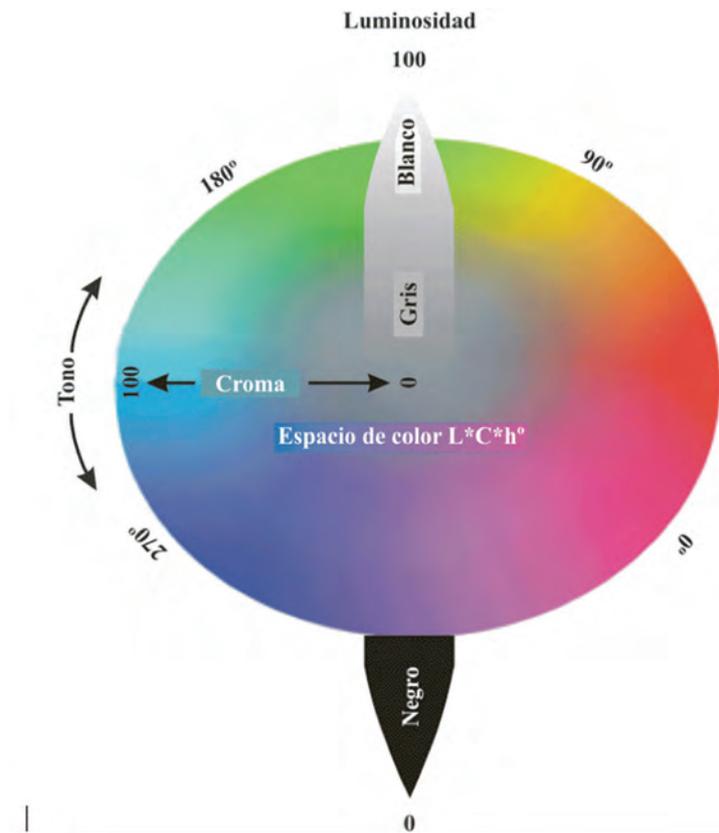


Fig. 4. Representación del espacio cromático cilíndrico CIE- $L^*C^*h^\circ$ (a veces identificado esférico). Imagen tomada y modificada de GQC (2010).

En el Cuadro 4, se presentan los valores de las coordenadas polares C^* y h° de todas las muestras. Por su parte a TA3, presentó ángulos de tonos de $99,83^\circ$ (el primer día) a $91,40^\circ$ (el cuarto día) lo que indica que paulatinamente cambió de verde a amarillo, y en relación con el croma, fue en promedio, alrededor de 79 (alta pureza de color). A partir del quinto día el ángulo fue de $86,47^\circ$ y para el día 24 de $66,99^\circ$ lo que indica cambios de coloración de amarillo a rojo y presenta poca variación en el croma. Padrón-Pereira (2009) presentó coordenadas rectangulares determinadas mediante SVC para epicarpio de tomate verde $L^*=70$, $a^*=-11$, $b^*=56$, de las que se deriva un $C^*=57$ y $h^\circ=101^\circ$ y para tomate rojo $L=50$, $a^*=55$, $b^*=50$, de las que se deriva un $C^*=74,33$ y $h^\circ=42,27^\circ$. Los ángulos de tono y los cromas son coincidentes con lo expuesto. Del trabajo de Zapata et al. (2007) por medio de un colorímetro Minolta® CR-300, se derivan ángulos de tono de $115,98^\circ$ (tomates recolectados verdes), seguidos de $82,71^\circ$; $56,26^\circ$ y $47,44^\circ$ (almacenamiento hasta comercialización simulada) que corresponden igual que en este trabajo, al proceso típico de

maduración de tomates. En relación con el croma los valores concordaron con las etapas de 22,69; 23,47; 35,11 y 28,42, sin embargo sugieren poca pureza de los colores. De otro trabajo presentado por Sánchez et al. (2008) en la determinación del color de 4 tipos de tomates (maduros): “Muchamiel”, “Murciano”, “Pera” y “Flor de Baladre”; con un colorímetro Minolta® CR-400, se derivaron ángulos de tono de $52,31^\circ$; $48,92^\circ$; $48,08^\circ$ y $40,94^\circ$; cromas 39,49; 38,76; 36,89 y 29,53; respectivamente para los 4 tipos. Los ángulos de tono concuerdan con lo expuesto y los cromas se asemejan a los de Zapata et al. (2007) en la etapa de comercialización simulada, no obstante presentan menor pureza en comparación a los de este trabajo. Mientras menos puro o saturado es un color, mas descolorido y grisáceo.

El tomate se caracteriza por un vibrante color rojo debido a la presencia de carotenoides y licopeno y el color puede ser medido con instrumentos que emplean filtros o dispositivos emisores de luz o más complejos, colorímetros triestímulos y espectrofotómetros (Barrett y Anthon 2008). Ambos instrumentos pueden

Cuadro 4. Coordenadas polares croma (C^*) y ángulo de tono (h°) de muestras de tomates almacenados a temperaturas de 28 y 5°C durante 24 días de maduración.

Días	Muestras											
	TA1		TA2		TA3		TR1		TR2		TR3	
	C^*	h°	C^*	h°	C^*	h°	C^*	h°	C^*	h°	C^*	h°
1	67,90	99,32	75,54	96,84	76,12	99,83	71,39	101,31	71,70	98,02	71,31	104,62
2	62,80	99,16	75,17	93,81	75,80	98,34	71,20	100,52	71,45	96,43	70,09	104,04
3	73,44	96,25	78,23	85,60	81,22	94,24	68,88	99,19	72,25	94,76	70,09	104,04
4	68,47	96,71	79,25	79,82	82,04	91,40	70,58	97,33	67,00	90,86	70,09	104,04
5	76,06	92,26	78,75	72,26	81,15	86,47	70,46	96,52	70,01	89,18	70,83	103,06
6	79,01	89,27	79,71	66,33	79,91	81,36	71,34	95,63	70,11	86,73	70,83	103,06
7	81,02	88,59	80,06	64,08	82,04	80,88	71,25	94,38	67,48	83,19	71,81	102,88
8	81,06	87,88	80,95	62,80	81,39	79,38	70,03	91,64	67,27	78,86	69,86	103,24
9	81,22	85,76	80,53	61,84	81,02	77,16	68,18	94,21	73,16	79,77	71,81	102,88
10	81,10	87,17	81,94	66,25	81,58	78,69	70,06	92,45	71,57	74,60	70,83	103,06
11	81,30	85,06	80,95	62,80	80,28	76,31	70,06	92,45	72,53	74,81	72,03	103,65
12	82,30	85,12	81,49	60,60	79,70	72,47	72,00	-	72,45	69,81	71,81	102,88
13	81,10	87,17	82,35	65,61	81,25	76,48	71,00	-	72,62	67,32	70,61	102,26
14	81,61	82,96	81,88	67,95	79,70	72,47	71,18	85,97	72,92	64,84	69,63	102,44
15	81,88	81,57	83,01	58,80	80,32	71,11	72,06	87,61	73,82	65,17	71,59	102,09
16	81,05	80,77	82,37	60,95	80,65	70,44	73,82	81,43	76,66	59,42	69,43	101,63
17	81,02	77,16	82,10	55,92	79,48	68,60	74,43	83,83	76,94	62,10	72,57	101,93
18	81,58	78,69	81,34	57,48	78,77	69,95	75,66	82,41	74,79	60,35	72,78	102,70
19	80,78	74,93	83,24	54,78	78,79	66,04	74,15	79,90	76,32	58,39	70,21	100,67
20	80,52	75,62	82,10	55,92	78,79	66,04	74,97	80,79	77,52	59,80	71,39	101,31
21	80,28	76,31	81,84	57,48	78,39	66,71	77,67	78,11	78,77	56,92	72,18	100,38
22	81,25	76,48	81,30	58,07	78,92	67,66	77,10	80,29	78,03	59,16	73,55	101,77
23	81,39	79,38	82,15	58,44	78,77	69,95	77,28	79,56	76,85	57,76	71,59	102,09
24	81,02	77,16	81,34	57,48	79,31	66,99	76,66	74,88	79,06	55,30	71,02	99,73

TA=tomate ambiental: muestra de tomate almacenado a $28^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$.

TR=tomate refrigerado: muestra de tomate almacenado a $5^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$.

determinar el color de una muestra con resultados distintos, aunque los más fiables son los espectrofotómetros. En los colorímetros tanto el iluminante, como las funciones de igualación de color, se imitan mediante filtros o plantillas y entre diferentes colorímetros los resultados también suelen diferir (Artigas 2002). Algunos de estos instrumentos han sido recalificados luego de la inclusión de nuevas ecuaciones para su aprobación (Barrett y Anthon 2008).

El C^* y h° definidos mediante cálculos y procesamiento de imágenes con el SVC permitió estudiar los cambios de coloración durante la maduración del tomate.

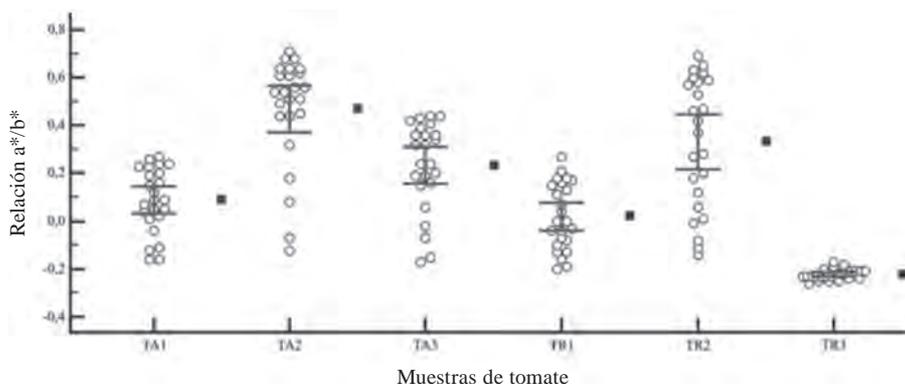
Análisis estadístico

Los valores de las curvas de las Figuras 2 y 3 se comparan en la Figura 5. Cuando la comparación se realizó entre las 3 muestras estudiadas a temperatura ambiental hubo diferencias significativas ($p=0,0001$) por lo que el comportamiento en la evolución del color de las muestras fue distinto, y lo mismo ocurrió con las 3 muestras en refrigeración ($p=0,0001$). En la comparación de los valores de las 6 curvas, se determinaron

diferencias significativas ($p<0,05$; Bonferroni corregido). Entre TA1 y TR1 aunque diferentes significativamente ($p=0,0001$) la diferencia entre las medias (0,0675) y el error estándar (0,00909) fue menor; seguidos de TA3 y TR2 ($p=0,0025$) con un diferencia de medias de 0,0979 aunque TA3 alcanzó menor relación a^*/b^* . La mayor diferencia entre las relaciones a^*/b^* ($p=0,0001$) fue entre TA2 y TR3 (0,691).

Las causas que generan estas variaciones obedecen a diversos factores externos e internos. Principalmente, la pigmentación en tomates es controlada por muchos genes, los cuales afectan el color mediante el control de las cantidades y/o tipos de pigmentos producidos, y fuentes de variación genotipo x ambiente han sido cuantificadas, identificándose líneas de tomates que difieren en color bajo condiciones medioambientales relevantes horticulturalmente (Sacks y Francis 2001).

Las variaciones fueron dependientes de procesos metabólicos involucrados en la maduración individual de cada fruto y no descalifican el procedimiento ensayado ya que permitió su estudio.



Los cubos representan la media y las barras el error estándar de valores promedios derivados de coordenadas en zona paraxial de 3 fotografías, en un intervalo de confianza al 95%.

TA=tomate ambiental: muestra de tomate almacenado a $28^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.

TR=tomate refrigerado: muestra de tomate almacenado a $5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Fig. 5. Comparación de las curvas de evolución del color de las muestras de tomate.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo indican que el procedimiento ensayado con la utilización de Sistema de Visión Computarizada permitió estudiar las variaciones de color mediante los espacios de color CIE-L*a*b*, CIE-L*C*h° y la relación a*/b* en la maduración de tomates a partir de imágenes. Estadísticamente, hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre todas las muestras, en los cambios de coloración.

AGRADECIMIENTO

A la Asociación RVCTA, el apoyo financiero brindado para el desarrollo del trabajo.

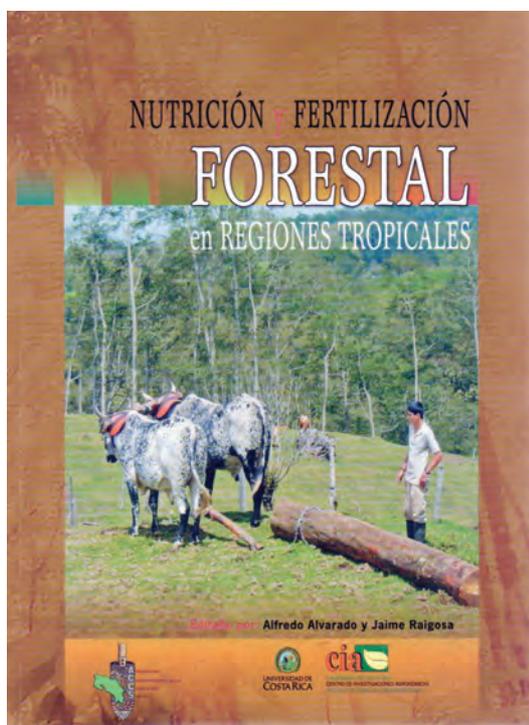
LITERATURA CITADA

- AMD. 2010. Advanced Micro Devices. Cumplimiento de Catalyst® Control Center con el artículo 508. Catalyst® Control Center VPAT, Sección 1194.21, Aplicaciones de software y sistemas operativos. Consultado el 25 de abril del 2010. Disponible en <http://ati.amd.com/sp/products/catalystcontrolcenter/vpat.html>.
- ARTÉS-CALERO F., ARTÉS-HERNÁNDEZ F. 2004a. Tratamientos postrecolección del tomate fresco. Tendencias e innovaciones, Capítulo 10, pp. 109-120. In: Tomates. Producción y comercio. Ediciones de Horticultura S.L. Reus, España. ISBN 84-87729-48-7.
- ARTÉS-CALERO F., ARTÉS-HERNÁNDEZ F. 2004b. Reducción de daños por el frío en la refrigeración hortofrutícola. Alimentación, Equipos y Tecnología 23(186):56-66.
- ARTIGAS J.M. 2002. Medida de color, pp. 131. In: Fundamentos de colorimetría. Universitat de València, Saragossa, Espanya.
- ASI. 2007. Adobe Systems Incorporated. Adobe presenta dos ediciones de Photoshop CS3. Consultado el 18 de octubre del 2007. Disponible en http://www.adobe.com/la/aboutadobe/pressroom/pr/mar2007/CS3_Photoshop_S.pdf.
- BARRETT D.M., ANTHON G.E. 2008. Color quality of tomato products, pp. 131-139. In: Color quality of fresh and processed foods. American Chemical Society, Washington, D. C., USA.
- BREWER M., RODRIGUEZ G., GONZALO M.J., ANDERSON C., LANG L., SULLIVAN D., DUJMOVIC N., FUJIMURO K., GRAY S., Van Der KNAAP E. 2008. Tomato Analyzer User Manual Version 2.2.0.0. Consultado el 25 de abril del 2010. Disponible en <http://www.oardc.ohio-state.edu/vanderknaap/Tomato%20Analyzer%20User%20Manual%20Version%202.2.0.0.pdf>.
- CLAYBON K.T., BARRINGER S.A. 2002. Consumer acceptability of color in processed tomato products by African-American, Latino and prototypical consumers. Journal of Food Quality 25(6):487-498.
- CMDF. 2010. Centro Municipal de Fotografía. Barra de calibración del monitor. División Comunicación de la Intendencia Municipal de Montevideo, Uruguay. Consultado el 18 de octubre del 2010. Disponible en <http://www.montevideo.gub.uy/fotografia/calibra.htm>.
- COVENIN. 1983. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Tomates. Norma Venezolana COVENIN 165:83. Caracas, Venezuela.
- DARRIGUES A., HALL J., DUJMOVIC N., GRAY S., Van Der KNAAP E., FRANCIS D. 2007. Tomato Analyzer-color test: user manual (v10.2007). Consultado el 25 de abril del 2010. Disponible en <http://www.oardc.ohio-state.edu/vanderknaap/Color%20Test%20User%20Manual.pdf>.
- DARRIGUES A., HALL J., Van Der KNAAP E., FRANCIS D.M., DUJMOVIC N., GRAY S. 2008. Tomato Analyzer-color test: a new tool for efficient digital phenotyping. Journal of the American Society for Horticultural Science 133(4):579-586.
- GÓMEZ P.A., CAMELO A.F. L. 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. Horticultura Brasileira 20(1):38-43.
- GONZALO M.J., BREWER M.T., ANDERSON C., SULLIVAN D., GRAY S., Van Der KNAAP E. 2009. Tomato fruit shape analysis using morphometric and morphology attributes implemented in tomato analyzer software program. Journal of the American Society for Horticultural Science 134(1):77-87.
- GQC. 2010. Graphic Quality Consultancy. Introduction to colour spaces - CIE Lab & LCH. Berkhamsted, Hertfordshire, United Kingdom. Consultado el 10 de setiembre del 2011. Disponible en http://www.colourphil.co.uk/lab_lch_colour_space.html.
- HUNTERLAB. 2006. ColorFlex Tomato Color Meter user's guide. Consultado el 25 de abril del 2010. Disponible en <http://www.hunterlab.com/TrainingSupport/UserManuals/ColorFlexTomatoUserGuide>.
- INTELMANN D., JAROS D., ROHM H. 2005. Identification of color optima of commercial tomato catsup. European Food Research and Technology 221(5):662-666.
- LINDHOUT P. 2005. Genetics and Breeding, pp. 22-23. In: Tomatoes. CABI Publishing, United Kingdom.
- LÓPEZ-CAMELO A.L., GÓMEZ P., ARTÉS F. 2003. Use of a* and b* colour parameters to assess the effect of some growth regulators on carotenoid

- biosynthesis during postharvest tomato ripening. *Acta Horticulturae* 599:305-308.
- LÓPEZ-CAMELO A.F., GÓMEZ P.A. 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira* 22(3):534-537.
- LOUREIRO-LINO A.C., SANCHES J., DAL FABBRO I.M. 2008. Image processing techniques for lemons and tomatoes classification. *Bragantia* 67(3):785-789.
- PADRÓN-PEREIRA C.A. 2009. Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L*a*b*. *Agronomía Costarricense* 33(2):283-301.
- PANASONIC. 2010. Instrucciones de funcionamiento para características avanzadas. Cámara digital. N° de modelo DMC-FS42, DMC-FS4. Consultado el 25 de abril del 2010. Disponible en <http://dlc.panasonic-europe-service.com/EUDocs/GetDoc.aspx?did=172324&fmt=PDF&lang=es&src=3>.
- RIQUELME-BALLESTEROS F. 1995. Valoración del color en los frutos, pp. 593-595. In: *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa, España.
- RODNEY A. 2005. Color management for photographers. *Hands on techniques for Photoshop users*. Elsevier, Inc. - Focal Press, Oxford, United Kingdom. pp. 23.
- SACKS E.J., FRANCIS D.M. 2001. Genetic and environmental variation for Tomato flesh color in a population of modern breeding lines. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126(2):221-226.
- SANCHEZ E., CATALÁ M.S., MORALES M.A., GOMARIZ J., EGEA-SANCHEZ J.M., COSTA J. 2008. Caracteres de calidad de diferentes tipos de tomates murcianos. In: VIII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. 16-20 Septiembre. Bullas, Murcia, España.
- SENG W.C., MIRISAE S.H. 2009. A new method for fruits recognition system. *Malaysian National Computer Confederation Transactions on Information and Communications Technology*. 1(1). Consultado el 16 de junio del 2010. Disponible en: <http://www.mncc.com.my/trans/Woo%20CS%20FruitRecognitionjournal.pdf>.
- SHEWFELT A.L., HALPIN J.E. 1967. The effect of light quality on the rate of tomato color development. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 91:561-565.
- SHEWFELT R.L., THAI C.N., DAVIS J.W. 1988. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. *Journal of Food Science* 53(5):1433-1437.
- TIJSKENS L.M., EVELO R.G. 1994. Modelling color of tomatoes during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* 4:85-98.
- USDA. 1997. United States Department of Agriculture. Agricultural Marketing Service. United States standards for grades of fresh tomatoes. Consultado el 21 de agosto del 2011. Disponible en <http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELP RDC5050331>.
- ZAPATA L., GERARD L., DAVIES C., OLIVA L., SCHVAB M. 2007. Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. *Ciencia, Docencia y Tecnología XVIII*(34):207-226.

Obras nuevas

NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN FORESTAL EN REGIONES TROPICALES **Alvarado A., Raigosa J., (eds). 2012. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.** **San José, Costa Rica. 411 p.**



El documento resume la experiencia sobre el tema de los autores de cada capítulo, sumada a la información disponible sobre nutrición y fertilización de especies forestales tropicales, con énfasis en la América Tropical. Se compiló la bibliografía disponible para 26 especies forestales de importancia económica generada durante el período 1970-2010. Del total de publicaciones consultadas, el 59% fueron generadas en Latinoamérica, principalmente en bosques húmedos y muy húmedos del trópico bajo, con mayor preponderancia en plantaciones de *Eucalyptus* ssp.,

Tectona grandis y *Pinus* spp. La temática del libro aborda la nutrición mineral, las necesidades y usos por las plantas de los elementos químicos básicos y la fertilización por medio del suministro de estos materiales a los árboles como fuentes de nutrimentos.

Resumen del contenido de los capítulos

Capítulos 1 y 2. Introducción y Caracterización de las tierras para uso forestal (Alfredo Alvarado y Bernal Herrera). 30 p.

Se expone el razonamiento que motiva la escogencia del título del libro, nutrición y fertilización forestal, con base en el criterio de manejo de los bosques y plantaciones (cultivo). Se discute la necesidad de escoger las tierras más apropiadas para realizar plantaciones y aprovechamientos forestales en términos económicos, rentables y sostenibles. Se considera que la escogencia del mejor sitio para una especie forestal en particular es el mejor tratamiento de fertilidad de suelo para la misma.

Capítulo 3. Reciclaje de nutrimentos en plantaciones y bosques tropicales (Alfredo Alvarado). 46 p.

La usanza forestal en bosques naturales primarios y secundarios no considera la utilización de fertilizantes, excepto en casos notables que se discuten en el texto, contrario a lo que ocurre en plantaciones forestales de ciclo corto y largo. Sin embargo, los principios de adición, reciclaje y pérdida de nutrimentos en la primera situación, también se aplican al segundo caso. El capítulo incluye la información relevante sobre

aspectos de reciclaje con énfasis en bosques y plantaciones forestales tropicales, que recomiendan al final la reposición de nutrimentos extraídos como corta final u cosecha o como pérdidas causadas por acción antrópica (p.e. exceso de erosión por extracción de madera), con el fin de mantener el potencial nutricional del suelo a largo plazo.

Capítulos 4, 5, 6 y 7. Diagnóstico de la nutrición; Requerimiento, fertilización y manejo de nutrimentos; Características y manejo de los fertilizantes; Manejo de la acidez y el encalado del suelo (Eloy Molina y Alfredo Alvarado). 93 p.

Se discuten los aspectos teóricos del manejo de la nutrición forestal, mediante el diagnóstico (descripción de síntomas de deficiencia foliar, el análisis foliar y de pecíolos y el análisis de suelo), requerimientos de nutrimentos de las plantaciones forestales, información relacionada con las fuentes de los elementos, la solubilidad de los compuestos y su naturaleza química u orgánica (fertilizantes) y el manejo de la acidez de suelos, sea por adaptación de especies forestales a dichas condiciones o por adición de cal, yeso y en menor escala de cenizas producto de las quemadas.

Capítulos 8 a 22. Nutrición y fertilización de 23 especies forestales tropicales (Jaime Raigosa, Alfredo Alvarado, Yorlenny Badilla, Manuel Segura, Álvaro Castillo, Jorge A. Leiva, Jessica Oviedo, Helga Thiele, Rafael Murillo y Jesús Fernández-Moya). 194 p.

Varios especialistas forestales se unen para escribir, en mayor o menor detalle, los principales avances sobre nutrición y fertilización de las especies: *Acacia mangium*, *Alnus acuminata*, *Calophyllum brasiliense*, *Cedrela odorata*, *Pinus caribaea*, *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. eliottii*, *P. taeda*, *Cupressus lusitanica*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus grandis*, *E. deglupta*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. globulus*, *Gmelina arborea*, *Hyeronima alchorneoides*, *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis*, *Terminalia amazonia*, *Vochysia ferruginea*, *V. guatemalensis*,

Bombacopsis quinata y *Casuarina equisetifolia*. Hasta donde fue posible, se incluye información sobre la escogencia de sitio, preparación del terreno para la plantación, requerimientos nutricionales, absorción y reciclaje de nutrimentos, niveles y síntomas de deficiencia foliar, respuesta a la fertilización a nivel de vivero, trasplante y mantenimiento de la plantación, manejo de la acidez del suelo y pérdida de nutrimentos por erosión.

De los editores

ALFREDO ALVARADO HERNÁNDEZ. Nacido en Costa Rica en 1945, el Dr. Alvarado cursó su carrera de Ing. Agr. en la Universidad de Costa Rica-UCR (1970) y posteriormente obtuvo sus grados de M.Sc. (1974) y Ph.D. (1982) en Ciencias del Suelo en la Universidad del Estado de Carolina del Norte. Su carrera profesional, dedicada principalmente a la docencia e investigación universitaria y como consultor, incluye 38 años como profesor en cursos de grado y posgrado en la UCR y otras universidades y la visita a varios países tropicales, permaneciendo como tal por 8 años en la Amazonía Boliviana.

El Dr. Alvarado es autor, coautor o editor de 8 libros, 30 capítulos de libro, 25 artículos en revistas internacionales y 50 en nacionales, y 46 publicaciones en congresos nacionales e internacionales. Es Miembro Fundador Activo de la Academia Nacional de Ciencia de Costa Rica (1995), Profesor Catedrático-Emérito de la Escuela de Agronomía de la Universidad de Costa Rica (2009), Miembro Honorario de la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (2011) y ha sido homenajeado con el Galardón “La Simiente” en el área de Docencia por el Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica (2001) y con una Mención de Honor de la Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo (2004).

Desde 1975 inicia su labor en el campo de suelos forestales, tema que adquiere mayor significancia en su vida profesional a mediados de los 80. En el presente libro, el Dr. Alvarado resume su experiencia profesional y compila gran cantidad de literatura sobre nutrición y fertilización forestal en áreas tropicales, y esa contribución se

ha considerado como un inicio en el desarrollo del conocimiento sobre el tema.

JAIME RAIGOSA ECHEVERRI. Nace en Colombia, se gradúa de Ingeniero Forestal en la Universidad Nacional de Medellín, Colombia (1963). Es nombrado Director de la Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas, Medellín, Colombia para el período 1964-1966. Obtiene el título M.Sc. (1968) en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, en Turrialba, Costa Rica y el de Master of Forest Science (1970) en la Universidad de Yale, New Haven, Connecticut, USA. El M.F.S. Raigosa se vincula al Departamento de Recursos Forestales de la Universidad Nacional de Medellín, Colombia en 1970, donde desarrolla actividades de docencia e investigación y a partir de 1972 es nombrado Jefe de la Sección de Silvicultura y Ecología en la misma universidad. Durante el período 1975-1976 es nombrado Investigador Principal del Proyecto Influencias Genéticas y Ambientales de los Hábitos de Crecimiento de los Pinos del Sur

de los Estados Unidos. Su trayectoria en Costa Rica incluye su vinculación como profesor a la Universidad Nacional de Heredia en 1976 y como asesor de la Oficina de Planificación Nacional durante el período 1978-1982. De 1982-1988 actúa como Director del Proyecto Ciencia y Tecnología CONICIT-AID y CONICIT-BID. A partir de 1988 y hasta 1990, trabaja como Consultor en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA. En el período 1991-1993 es nombrado Asesor de la Rectoría de la UNED y Director de Investigación. Ha realizado consultorías y estudios de factibilidad para organismos nacionales e internacionales. Tiene publicaciones científicas y tecnológicas.

CÓMO ADQUIRIRLO

La distribución del documento está a cargo de la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo y puede adquirirse en su oficina en el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

Precio de venta:

Presentación	En Costa Rica	Para el exterior*
Tapa rústica (suave)	¢17.500	\$35 + \$15 por envío
Tapa fina (dura)	¢22.500	\$45 + \$20 por envío

- * El pago desde el exterior debe hacerse por transferencia bancaria, a la cuenta de la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo del BAC San José, 902083666 a través del CITIBANK N.A., NEW YORK Account: 36026966 (between BAC San José and Citibank) N°. ABA 021000089 Swift CITIUS33 Transfer to: BAC San José (formerly Banco San José, S.A.) Swift BSNJCRSJ



Para más información o solicitudes puede comunicarse a:

Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo
 Telefax: (506) 2225-3500
 Correo electrónico: accs.cia@ucr.ac.cr
 www.suelos.ucr.ac.cr

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 producción del frijol*. CIAT.

Tesis

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

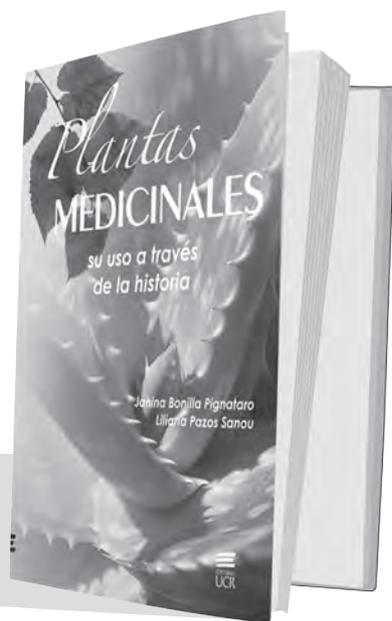
Referencias en Internet

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

Plantas medicinales: su uso a lo largo de la historia

*Liliana Pazos Sanou
Janina Bonilla Pignataro*



1.a ed. 2010, EUCR
17,78 x 25,4 cm
152 pp.
ISBN 978-9968-631-01-3

Una antropóloga y una microbióloga se unieron en una investigación historiográfica para describirnos, dentro del marco de la Farmaco-historia, cómo los seres humanos en el transcurso de los tiempos han descubierto, utilizado y manipulado plantas con fines curativos para su supervivencia.


**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 Nº (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

Números sueltos: Consultar a distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr
Single issues: Ask distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr

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 Saprissa, 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

Esta revista se terminó de imprimir en la Sección
de Impresión del SIEDIN, en agosto de 2012.

Universidad de Costa Rica
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica
IG 0000