

ISSN 0377-9424
Versión digital ISSN 2215-2202

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
COLEGIO DE INGENIEROS AGRÓNOMOS
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

www.cia.ucr.ac.cr
www.mag.go.cr/rev_agr/index.html



Julio - Diciembre 2023

Volumen 47

Número 2

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

DIRECTOR

Nevio Bonilla Morales
Ministerio de Agricultura y Ganadería
San José, Costa Rica.

EDITORA

Silvia Elena Arce Quesada
Escuela de Economía Agrícola y Agronegocios
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

ASISTENTE EDITORIAL

Rosibel Serrano Gómez
Centro de Investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

PORTADA

En relación con el artículo “Caracterización de
levaduras asociadas al moho del pedúnculo de piña
en poscosecha” de Oreamuno-Fonseca y Umaña-
Rojas.

**AGRONOMÍA
COSTARRICENSE**

ahora en línea

Visite la Revista

www.mag.go.cr/rev_agr/index.html

www.cia.ucr.ac.cr

Los miembros del Consejo Editorial y el Consejo Editorial
Asesor Internacional realizan un arbitraje permanente de los
trabajos publicados en la Revista Agronomía Costarricense.

CONSEJO EDITORIAL

Fernando Mojica Betancur
Colegio de Ingenieros Agrónomos, Costa Rica.
Francisco Saborío Pozuelo
Universidad de Costa Rica, Costa Rica
Jorge Alberto Elizondo Salazar
Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
Mario Villatoro Sánchez
Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
Primo Luis Chavarría
Colegio de Ingenieros Agrónomos, Costa Rica

CONSEJO EDITORIAL ASESOR INTERNACIONAL

Aixa Ofelia Rivero Guerra
European Centre for Applied Statistics S. L., España
Alcido Elenor Wander
Embrapa Rice and Beans, Brasil
André Mendes Jorge
Universidade Estadual Paulista – UNESP, Brasil
Beatriz Irene Eibl
Universidad Nacional de Misiones, Argentina
Danilo Pezo
Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE), Perú
Francisco Paulo Chaimsohn
Instituto Agronômico do Paraná, Brasil
Guadalupe Valdovinos Ponce
Colegio de Postgraduados, México
Gustavo J. Lascano
Clemson University, USA
Héctor Horacio Murcia Cabra
Universidad de Santo Tomás (USTA), Colombia
Héctor Mario Andrade Montemayor
Universidad Autónoma de Querétaro, México
Hugo Antonio Tobías Vásquez
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala
Jorge Dionisio Etchevers Barra
Colegio de Posgraduados, México
Jorge Hernán Chiriboga Pareja
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA),
Brasil
José Ezequiel Villarreal Núñez
Universidad de Panamá, Panamá
Laura Berta Reyes Sánchez
Universidad Nacional Autónoma de México, México
Martha Nascimento Castro
Faculdade Araguaia, Brasil
Mónica Matilde Barbazán Pacheco
Universidad de la República, Uruguay
Olegario Muñiz Ugarte
Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura (MINAG), Cuba
Patrice Cannavo
Institut Agro Rennes-Angers, Francia
Raúl E. Jaramillo Velasteguí
International Plant Nutrition Institute, Ecuador
Renato de Mello Prado
Universidade Estadual Paulista–UNESP, Brasil
Rogelio Nogales Vargas-Machuca
Estación Experimental del Zaidín, España

Revista Agronomía Costarricense / Centro de Investigaciones Agronómicas.

Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Teléfono 2511 2080, fax 2234 1627. Correo electrónico: rac.cia@ucr.ac.cr

ISSN 0377-9424

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

COLEGIO DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

Volumen 47

2023

Número 2


EDITORIAL
UCR

REVISORES ESPECIALIZADOS

Revisores Nacionales

Adrian Pinto
 Adriana Murillo
 Alexandra Urbina
 Alfredo Alvarado H.
 Alfredo Bolaños
 Alfredo Durán
 Allan González
 Álvaro Castro
 Álvaro Jiménez C.
 Álvaro Ramírez
 Amelia Paniagua
 Ana Gabriela Pérez
 Andrés Hernández P.
 Anthony Valverde
 Antonio Bogantes
 Argerie Cruz
 Arturo Brenes A.
 Bernal Azofeifa
 Bernal Herrera
 Bernal Rodríguez
 Bernal Valverde
 Bernardo Vargas
 Bryan Alemán
 Carlos Alfaro
 Carlos Alpizar
 Carlos Henríquez
 Carlos Luis Loria
 Carlos Luna T.
 Carlos Méndez
 Carlos Pomareda
 Carlos Ramírez M.
 Carlos Rodríguez V.
 Carmela Velásquez
 Claudia Charpentier
 Claudia Fernández
 Cristina Chinchilla
 Cristina Vargas
 Dagoberto Arias
 Daniel Saborio
 David Mora
 Denis Hine
 Dennis León
 Diego Berrocal
 Diógenes Cubero
 Douglas Marín
 Edgar Aguilar
 Edgar Alvarado
 Edgar Gutiérrez
 Edgar Vidal
 Edgardo Alpizar
 Eduardo Barrantes
 Edwin Esquivel
 Edwin Orozco
 Elias de Melo
 Eloy Molina
 Eric Mora N.
 Eugenio Corea
 Eugenio González
 Federico Albertazzi
 Felipe Arauz C.
 Felipe Arguedas
 Fermín Subirós R.
 Florencia Antillón
 Francisco Mesén
 Francisco Romero
 Francisco Saborio
 Franklin Herrera
 Freddy Soto
 Gabriel Garbanzo
 Geiner Matamoros
 Geovanny Garro

Gerardina Umaña
 Gerardo Ávalos
 Gilbert Barrantes
 Guillermo Araya
 Gustavo Fallas
 Gustavo Quesada
 Héctor Medrano
 Helga Blanco M.
 Hernán Castro E.
 Hugo Aguilar
 Ileana Moreira
 Ismael Hernández
 Johnny Montenegro
 Jorge Camacho
 Jorge Elizondo
 Jorge Leiva
 Jorge Mora B.
 Jorge Sandoval
 Jorge Segura
 José Bejarano
 Jose L. Corrales
 José P. Jiménez
 José Valerín
 Juan Araya
 Juan Carlos Madrigal
 Juan José Romero
 Juan Luis Fallas
 Juan Luis Morales
 Juan Manuel Hernández
 Juan Mora
 Juan R. Navarro
 Julieta Carranza
 Julio Arias
 Julio César Rojas
 Julio Mata
 Julio Rodríguez
 Karolina Villagra
 Kenneth Largaespada
 Kenneth Madriz
 Laura Segura
 Laura Solís
 Leida Castro
 Leslie Medina
 Lidieth Uribe
 Lisela Moreira
 Lolita Durán
 Lorena Flores
 Lorena Uribe
 Luis Barboza
 Luis Brenes Q
 Luis Calvo
 Luis Carrera
 Luis Diego Arroyo
 Luis Vargas
 Luis Villalobos
 Luko Hilje
 Manuel E. Camacho U.
 Manuel Masis
 Marco Adamson
 Marco Lobo
 Marco V. Sáenz
 Marcos Chaves
 María Isabel González
 Maricruz Ramírez
 Mario Araya
 Mario Arias
 Mario Saborio
 Mario Villatoro
 Marta Montero
 Marta Valdéz M.
 Marvin Araya
 Marvin Vargas

Milagro Granados
 Milton Villarreal
 Mónica Blanco
 Natalia Barboza
 Natalia Soto
 Néstor Chaves
 Noé Salazar
 Olman Murillo
 Orlando Carrillo
 Orlando Chinchilla
 Oscar Castro
 Oscar Obando
 Oscar Quesada
 Patricia Quesada
 Patricia Ramírez
 Rafael Mata
 Ramiro Alizaga
 Ramón Mexzón
 Ramón Molina
 Randall Chacón
 Randy Chinchilla
 Raúl Botero
 Rebeca Zamora
 Renato Jiménez
 Ricardo Piedra
 Roberto Azofeifa
 Roberto Camacho
 Roberto Ramírez
 Roberto Villalobos
 Rodolfo Araya
 Rodrigo Jiménez
 Rodrigo Ríos
 Rodrigo Rosales
 Roger Fallas
 Roger Molina Coto
 Roger Muñoz
 Ronald Vargas
 Rose Marie Menacho
 Rubén Calderón
 Rubén Ortiz
 Ruth de la Asunción
 Ruth León G.
 Sergio Abarca
 Susana Cascante
 Siso Acuña
 Víctor Hugo Porras
 Víctor Julio Vargas
 Victoria Arronis
 Victoria García
 Vidal Vega
 Walter Marín M.
 Walter Peraza
 Werner Rodríguez
 Wilbert Phillips
 William Hernández
 William Meléndez
 William Rivera
 William Sánchez
 Wilson Beita
 Yannery Gómez

Revisores Internacionales

Abellino Pitty (Honduras)
 Adriana Escudero (España)
 Adriana Murillo (EE.UU.)
 Ana Scopel (Argentina)
 Andrés Finkler (Brasil)
 Andrés Búcaro (Guatemala)
 Aura Morales (El Salvador)
 Beatriz Eibl (Argentina)
 Bernardo Villegas (Colombia)
 Carolina Zamorano (Colombia)

Cesáreo Rodríguez H. (México)
 Corina Bernigaud (Uruguay)
 Consuelo Estevez (Puerto Rico)
 Daniel Carreira (Argentina)
 Edgar Amezcuita (Colombia)
 Emilio Olivares Sáenz (México)
 Florencia Montagnini (EE.UU.)
 Francisco Coll (Cuba)
 Francisco Ibarra (México)
 Francisco P. Chaimsohn (Brasil)
 Géri E. Meneghello (Brasil)
 Guadalupe Valdovinos-Ponce (México)
 Guillermo Reyes (Nicaragua)
 Héctor Mario Andrade (México)
 Hernán Chiriboga (Ecuador)
 Hugo del Cid H. (Guatemala)
 Ildefonso Pla Sentis (España)
 Jaime Garzón (Colombia)
 Jorge Etchevers (México)
 José A. Ordoñez (Honduras)
 José E. Villarreal (Panamá)
 José L. Barrera Violet (Colombia)
 José M. Tapia (México)
 José Moure (España)
 Juan Carlos Rosas (Honduras)
 Juan F. Gallardo (España)
 Juan Francisco Barrera (México)
 Juan Pedro Agostini (Argentina)
 Julián F. Becerra (Colombia)
 Kellen Gatti (Colombia)
 Lérica Almaguel (Cuba)
 Leonides Castellanos (Colombia)
 Leopoldo Álvarez (Argentina)
 Luis Castresana (España)
 Luis Felipe Lata (Brasil)
 Manuel Reigosa (España)
 Manuel Sandoval (México)
 Marcela Guerrero (Colombia)
 Marta Nascimento (Brasil)
 Mauricio Arango (Colombia)
 Miguel Marchamalo (España)
 Nolver Arias Arias (Colombia)
 Olegario Muñiz Ugarte (Cuba)
 Óscar A. Guzmán P. (Colombia)
 Óscar G. Campos (Guatemala)
 Patrice Cannavo (Francia)
 Ramiro Ramírez P. (Colombia)
 Ramón Rivera (Cuba)
 Raúl Zapata (Colombia)
 Reynaldo Mendoza (Nicaragua)
 Roberto Fernández (Argentina)
 Roberto Ferreira (Brasil)
 Rolando Cifuentes (Guatemala)
 Ronald Ochoa (EE.UU.)
 Rubén Cabanillas Cruz (México)
 Santiago M. Sáenz (Colombia)
 Sergio Hernández (México)
 Sonia Ospina (Colombia)
 Tania Mulkay (Cuba)
 Thomas J. Smyth (EE.UU.)
 Víctor Hugo Porras (Colombia)
 Víctor Ordaz Chaparro (México)
 Wuellins Durango (Ecuador)
 Yisa María Ochoa (México)
 Yolanda Moguel (México)

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA EN LÍNEA

Si desea visitar la Revista Agronomía Costarricense puede hacerlo a través del

Portal de Revistas Académicas de la Universidad de Costa Rica <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost>

Ministerio de Agricultura y Ganadería http://www.mag.go.cr/rev_agr/index.html

Centro de Investigaciones Agronómicas www.cia.ucr.ac.cr

También puede encontrarla en los siguientes índices internacionales:

| | |
|---|---|
|  | LATINDEX (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal) |
|  | REDALYC (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal) |
|  | SciELO (Scientific Electronic Library Online) |
|  | SIDALC (Sistema de Información y Documentación Agropecuaria de las Américas) |
|  | INIS Atomindex (International Nuclear Information System) |
|  | Base AGROC |
|  | DIALNET |
|  | DOAJ (Directory of Open Access Journals) |
|  | AGRIS |
|  | REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico) |
|  | PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas de Ciencias) |
|  | Ulrich's |
|  | OCLC World Cat |
|  | CAB Abstracts |

| | |
|---|---|
|  | COPAC |
|  | ROAD (Directory of Open Access Scholarly Resources) |
|  Food and Agriculture Organization of the United Nations | FAO Online Catalogues |
|  | SHERPA/RoMEO |
|  | Organization for tropical studies |
|  | Gale (Cengage Company) |
|  | DGB UNAM |
|  | CONRICyT (Consortio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica) |
|  | CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) |
|  | LA Referencia (Red de repositorios de acceso abierto a la ciencia) |
|  | Zoological Record |
|  | Academic Search Complete |
|  | MIAR (Matriz de Información para el Análisis de Revistas) |
|  | SABIO |
|  | SUDOC |

CANJES

Universidad de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información
Unidad de Selección y Adquisiciones
-CANJE
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Costa Rica

DIRECCIÓN

REVISTA AGRONOMÍA COSTARRICENSE

Centro de Investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
Teléfono 2511-2080
Fax 2234-1627
Correo electrónico: rac.cia@ucr.ac.cr

CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial Universidad de Costa Rica
administracion.siedin@ucr.ac.cr
www.editorial.ucr.ac.cr
Apartado Postal 11501
2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Costa Rica

Número suelto:

Costa Rica ₡ 3060.00 incluye el 2% de IVA

Suscripción anual:

Costa Rica ₡ 8160.00

América Latina,
Asia y África US\$ 20.40

Resto del mundo US\$ 71.40

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 47

2023

NÚMERO 2

Artículos científicos

Caracterización de levaduras asociadas al moho del pedúnculo de piña en poscosecha 9-21
Patricia Oreamuno-Fonseca y Gerardina Umaña-Rojas

Adición de inóculos microbianos y condiciones optimizadas de elaboración
en un compost comercial 23-46
Fernando Castro-Hernández, Juan Ramón Navarro-Flores y Leida Castro-Barquero

Efecto nutricional foliar de silicio para el cultivo de banano (*Musa spp.*) en Ecuador 47-56
Jean Sanmartín-Galván, Andrea Cuenca-Moreno, Ángel Luna-Romero,
Edison Jaramillo-Aguilar y Diego Villaseñor-Ortiz

Sobrevivencia in vitro de segmentos nodales de *Cordia trichotoma* 57-66
Maura Isabel Díaz-Lezcano, Angel Manuel Duarte-Asilvera, Luis Gonzalez-Segnana y
Mirtha Lucía Vera de Ortiz

Costos del cultivo de árboles maderables en sistemas agroforestales de café en Costa Rica. 67-77
Olman Murillo-Gamboa y Yorlenny Badilla-Valverde

Validación de descriptores para la caracterización morfológica de cinco materiales de cas
[*Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Niedenzu] en Costa Rica 79-94
Jonathan Monge-Solís y Fabián Echeverría-Beirute

Notas técnicas

Efecto de tres implementos de labranza sobre propiedades físicas de un suelo Andisol
en Tierra Blanca, Cartago 95-109
Silvia Marín-Araya y Mario Villatoro-Sánchez

Efecto del uso de una mezcla de compuestos gluconeogénicos en vacas lecheras en transición 111-120
Carlos Rafael Arita-Portillo y Jorge Alberto Elizondo-Salazar

Primer reporte de *Aulacaspis tubercularis* (Hemiptera: Diaspididae) en Costa Rica,
un insecto que afecta al mango (*Mangifera indica*) en entornos urbanos de Alajuela 121-126
Minor Solano-Gutiérrez y Paul Hanson-Snortum

CARACTERIZACIÓN DE LEVADURAS ASOCIADAS AL MOHO DEL PEDÚNCULO DE PIÑA EN POSCOSECHA

Patricia Oreamuno-Fonseca^{1/*}, Gerardina Umaña-Rojas²

Palabras clave: *Ananas comosus* L.; fitopatógenos; morfología; descripción molecular; crecimiento; temperatura.

Keywords: *Ananas comosus* L.; phytopathogens; morphology; molecular description; growth; temperature.

Recibido: 02/02/23

Aceptado: 18/04/23

RESUMEN

Introducción. El moho del pedúnculo de la piña es un complejo de microorganismos, que se compone por varios hongos, bacterias y levaduras, que afectan a la fruta en su etapa poscosecha. **Objetivo.** Caracterizar las levaduras asociadas al moho del pedúnculo de la piña en poscosecha, y evaluar el efecto de diferentes temperaturas sobre el crecimiento de las levaduras durante el almacenamiento. **Materiales y métodos.** Se realizó la caracterización morfológica de 24 aislamientos; posteriormente, se seleccionaron 9 aislamientos representativos para la caracterización molecular. Para evaluar el crecimiento de las levaduras a diferentes temperaturas, se colocaron suspensiones de estas en concentraciones de 10^{-6} unidades formadoras de colonias (UFC) sobre placas Petri con el medio PDA (papa-dextrosa-agar). Las placas se almacenaron en una cámara con temperaturas a 4°C, 8°C, 12°C, 16°C y 20°C, y se contó el número de colonias a los 2, 3, 4 y 5 días, de iniciado el

experimento. **Resultados.** Para la descripción microscópica, las células presentaron formas redondas, ovaladas y cilíndricas. En la descripción macroscópica, las formas de las colonias de las levaduras fueron redondas y/o ovaladas. La consistencia de las colonias de las levaduras no pigmentadas fue mantecosa o cremosa, mientras que en las pigmentadas fueron mucoides. En la descripción molecular, las levaduras pigmentadas se clasificaron en las siguientes especies: *Rhodotorula mucilaginosa*, *R. toruloides*, *R. diobovata*, *Sporidiobolus pararoseus* y *S. carnicolor*, y las levaduras no pigmentadas en *Candidata intermedia*, *Meyerozyma guilliermondii* y *M. caribbica*. Para el ensayo de temperaturas, se observó que conforme la temperatura de almacenamiento disminuyó en 4°C, las colonias de las levaduras tardaron un día más en hacerse visibles. **Conclusión.** Se encontró similitud entre la morfología de los aislamientos, por lo que la caracterización molecular permitió identificar la presencia de especies con potencial de biocontroladores para los patógenos asociados al moho.

* Autora para correspondencia. Correo electrónico: ooreamuno@uned.ac.cr

1 Universidad Estatal a Distancia, Carrera Ingeniería Agronómica, Sabánilla, Costa Rica.

 0000-0002-5560-3947.

2 Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.

 0000-0002-6368-5225.

ABSTRACT

Characterization of yeasts associated with postharvest pineapple peduncle mold.

Introduction. Pineapple peduncle mold is a complex of microorganisms composed of several fungi, bacteria and yeasts, which affect the fruit at the postharvest stage. **Objective.** To characterize the yeasts associated with postharvest pineapple peduncle mold, and to evaluate the effect of different temperatures on yeast growth during storage. **Materials and methods.** Morphological characterization of 24 isolates was carried out, subsequently, 9 representative isolates were selected for molecular characterization. To evaluate yeast growth at different temperatures, yeast suspensions in concentrations of 10^{-6} CFU were placed on Petri dishes with PDA (potato-dextrose-agar) medium. The plates were stored in a chamber with temperature at 4°C, 8°C, 12°C, 16°C and 20°C, and the number of colonies was counted at 2, 3, 4 and 5 days after starting

the experiment. **Results.** For the microscopic description, the yeast cells presented round, oval and cylindrical shapes. In the macroscopic description, the shapes of the yeast colonies were round and/or oval. The consistency of non-pigmented yeast colonies was buttery or creamy, while pigmented yeast were mucoid. For molecular description, pigmented yeasts were classified into the following species: *Rhodotorula mucilaginosa*, *R. toruloides*, *R. diobovata*, *Sporidiobolus pararoseus* and *Sporobolomyces carnicolor*, and non-pigmented yeasts: *Candida intermedia*, *Meyerozyma guilliermondii* and *M. caribbica*. For the temperature test, it was observed that as the storage temperature decreased by 4°C, it took one more day for yeast colonies to become visible. **Conclusion.** Similarities were found between the morphology of the isolates, the molecular characterization allowed identifying the presence of species with potential for biocontrol of pathogens associated with molds.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la piña (*Ananas comosus* L.) con un área de siembra aproximada de 43 000 ha es uno de los principales productos de exportación en Costa Rica, especialmente a mercados en Estados Unidos y la Unión Europea, (CANAPEP 2019). En el 2022, la piña tuvo en el mercado exportador una participación del 17,6% y un valor de \$1 021,3 millones, además el jugo de piña participo con 3,4% (SEPSA 2023).

Las enfermedades poscosecha son uno de los problemas de la industria piñera, debido a que causan en los frutos pudriciones durante el transporte y el almacenamiento, lo cual generan el rechazo de la piña en las plantas empacadoras y el mercado final (Barquero 2010). El moho en el pedúnculo de la piña es un complejo de hongos que generan deterioro en el corte de la fruta, entre las especies identificadas se pueden citar *Penicillium purpureogenum*, *Penicillium*

diversum, y *Talaromyces calidicanus* (Castro y Umaña 2015). Igualmente, se ha reportado un grupo de hongos de micelio blanco (Hgb1) relacionados a este moho, como lo son las especies *P. daleae*, *Xylarai adscendens* y *Daldinia eschscholtzii* (Castro y Umaña 2017).

Adicionalmente, se han identificado bacterias y levaduras que crecen tanto en el pedúnculo como en la cáscara de la fruta. Estos microorganismos se han reportado en crecimiento con mayor frecuencia en los pedúnculos de la piña, con valores entre 0,5 y 4,6 UFC.ml⁻¹ antes del procesamiento comercial y entre 0 y 2,7 UFC.ml⁻¹ después del procesamiento comercial (Castro y Umaña 2019).

Con respecto a las levaduras, estos microorganismos pueden causar problemas poscosecha al afectar la calidad de las frutas, pero algunas especies se han estudiado por su potencial como controladores biológicos de patógenos (Spadaro y Droby 2016). Las levaduras son

hongos eucariotas, ubicuos, que pueden tener interacción del tipo simbiótico, mutualismo o parasitismo (Starmer y Lachance 2011). El crecimiento de estos organismos depende de factores como la temperatura, los nutrientes, el pH, la humedad, el oxígeno, el estrés oxidativo, entre otros (Sui *et al.* 2015).

Algunas levaduras como *Rhodotorula mucilaginosa* y *Candida fukuyameensis* se han estudiado por el potencial como controladores biológicos poscosecha en piña (Torres *et al.* 2006, Lassois *et al.* 2008, Li *et al.* 2011). Las levaduras *Meyerozyma guilliermondii* y *M. caribbica* se han utilizado para el control del moho gris causado por *Botrytis* sp, que se presenta en los frutos de kiwi (Cheng *et al.* 2023, Pan *et al.* 2022, Qiu *et al.* 2022).

En Costa Rica, se reportó la alta frecuencia de *Wickerhamomyces anomalus* en muestras de piñas (Castro y Umaña 2019). Esta levadura tiene la habilidad de colonizar las frutas y suprimir a otros microorganismos, lo que evidencia su papel como un potencial controlador biológico contra patógenos relacionados con el moho poscosecha de la piña (Aloui *et al.* 2015, Platania *et al.* 2012).

Asimismo, el uso de las levaduras *Hanseniaspora uvarum*, *M. guilliermondii* y *Metchnikowia aff. pulcherrima* en mezcla para el combate del moho verde poscosecha en mandarinas demostró un alto control del patógeno *P. digitatum* tanto in vivo como in vitro (Öztekin y Karbancioglu 2023).

También, las levaduras del género *Candida* podrían estar relacionadas con la maduración prematura y fermentación de los frutos de la piña, en conjunto con otras levaduras como *Saccharomyces* sp., y *Kloeckera* sp. y la bacteria *Klebsiella* sp. (Korres *et al.* 2010). También, en frutos y jugos procesados de piña se han identificado *Pichia guilliermondii* y *Hanseniaspora uvarum* asociadas al proceso de fermentación (Chanprasartsuk *et al.* 2010).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar las levaduras asociadas al moho del pedúnculo de la piña (*Ananas comosus* L.) en poscosecha,

y evaluar el efecto de diferentes temperaturas sobre el crecimiento de las levaduras durante el almacenamiento, esto con el fin de conocer si las especies identificadas presentan un papel potencial como agente beneficioso o perjudicial, en la calidad poscosecha de la fruta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los trabajos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de Poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica, en el 2019. Se trabajó con 24 aislamientos de levaduras obtenidos en investigaciones previas, del pedúnculo de la piña (MD-2 “Gold extra sweet”) con moho poscosecha. Las levaduras presentaron coloraciones pigmentadas (rosadas o anaranjadas) y no pigmentadas (blancas o cremas), y fueron recolectadas de fincas comerciales de piña, en los cantones de Río Cuarto, Sarapiquí, Pital y San Carlos. Los códigos utilizados no hacen referencia a ninguna especie en especial. La levadura *Rhodotorula dairenensis* fue identificada molecularmente en investigaciones previas a este trabajo.

Para la valoración macroscópica de los aislamientos, se consideraron los siguientes criterios: el color, la forma (redonda, ovalada, cilíndrica y apiculada), la consistencia (mantecosa, cremosa, mucoide), la textura (lisa o rugosa), la presencia de brillo y el relieve (plano o convexo) de las colonias de las levaduras (Ramírez *et al.* 2019). La consistencia mucoide se refiere a las levaduras con colonias con mayor viscosidad, la consistencia mantecosa se refiere a las levaduras con colonias grasosas, y la cremosa se refiere a colonias en estado semilíquido denso. Para la caracterización microscópica, se evaluaron mediante observaciones al microscopio la forma de las células de las levaduras (redonda, ovalada, cilíndrica, apiculada).

Para la identificación molecular, se seleccionaron 9 aislamientos representativos del total; para esto se utilizó el criterio de seleccionar las levaduras que morfológicamente presentaron

aspectos más diferenciadoras o contrastantes entre sí, como el color, la consistencia, la textura y el relieve presentado por las colonias.

Las levaduras se caracterizaron molecularmente en el Laboratorio de Técnicas Moleculares de la Escuela de Agronomía y de Biotecnología del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA). Para esta caracterización, a las levaduras seleccionadas se les realizó la extracción de ADN mediante el método CTAB descrito por Rogers y Bendich (1988). Posteriormente, la identificación de las especies aisladas se realizó mediante la amplificación por PCR y secuenciación de la región ITS, con los imprimadores ITS-4 (5-TCCCTCCGCTTATTGATATGC-3) e ITS-5 (5-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3). El producto de PCR se envió a secuenciar, en ambas direcciones, a la compañía Macrogen en Corea del Sur. Una vez obtenidas las secuencias, se analizaron con el programa Bioedit y se realizó una búsqueda en Blastsearch, en la base de datos del Banco de Genes del National Center for Biotechnology Information (NCBI).

Para evaluar el crecimiento de las levaduras a diferentes temperaturas de almacenamiento, se realizaron rayados de los microorganismos, que se encontraban almacenados a 4°C, y se colocaron a crecer por 72 horas, en placas Petri con medio PDA, a una temperatura de 22°C. Luego de transcurrido el tiempo, se preparó una suspensión en la cámara de transferencia, donde se tomaron discos de 3 mm de levadura, se colocaron en 10 ml de agua estéril destilada y se agitaron por 10 minutos. A cada suspensión se le midió la densidad óptica (DO600) con un espectrofotómetro, y se realizó un conteo de células con un hemocitómetro o Cámara de Neubauer, para conocer la concentración de células de las levaduras.

A partir de esta suspensión madre, se realizaron diluciones hasta 10^{-6} . De la suspensión de 10^{-6} , se colocaron 100 μ l en placas Petri previamente preparadas con PDA, y se esparció con un asa de vidrio Drigalski. Las placas se almacenaron en una cámara de enfriamiento, a las temperaturas: 4°C, 8°C, 12°C, 16°C, 20°C, y

se evaluó el número de colonias durante 5 días. Para cada ensayo de temperatura, se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con arreglo factorial de tratamientos, con 2 factores, las levaduras y los días de evaluación. Cada tratamiento contó con 10 repeticiones.

Para determinar el efecto de los tratamientos, en el ensayo de temperaturas sobre las variables de respuesta (número de colonias de levaduras), se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas en el tiempo bajo la teoría de los modelos lineales mixtos. Se comprobaron los supuestos del ANOVA con gráficos diagnósticos (cuantiles de los términos de error, gráficos de residuos y gráficos de residuos vs. predichos) y se seleccionó el mejor modelo en función de los criterios de Akaike (AIC) y de información Bayesiano (BIC). En las variables con diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizaron las comparaciones de medias por medio de la prueba de Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($p \leq 0,05$) (Di Rienzo *et al.* 2002), lo que permitió la formación de grupos excluyentes y sin transición entre tratamientos. Los análisis de los ensayos se realizaron con el programa Infostat versión 2020 (Di Rienzo *et al.* 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las levaduras presentaron 2 coloraciones predominantes, 17 pigmentadas (rosadas o anaranjadas), y 7 no pigmentadas (blancas o crema), por lo que estas 2 tonalidades son las más frecuentes en las zonas de donde proceden los aislamientos (Tabla 1 y Figura 1). En Colombia, se ha reportado que las colonias levaduriformes aisladas de la pulpa de la manzana de agua presentaron diferentes colores, entre estos blancas, salmón, coral, rosado, beige y marrón (Trujillo y Echeverry 2015). En otro estudio similar, las levaduras aisladas de la filosfera de la mora presentaron colonias de tonalidades blancas, cremas y rosadas (Uribe 2007). El predominio de la coloración de las levaduras está relacionado con las condiciones climáticas de la zona, en los

climas nublados o con lluvias constantes puede existir una prevalencia de las levaduras no pigmentadas, mientras que en los climas calientes

y con alta radiación solar dominan las levaduras pigmentadas (Uribe 2007).

Tabla 1. Características morfológicas de las colonias de las levaduras aisladas del moho del pedúnculo de la piña.

| | Aislamiento | Color de colonia | Forma de colonia | Consistencia de colonia |
|----|--------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|
| 1 | DM-1B | Crema | Redonda y ovalada | Mantecosa |
| 2 | DM-2B | Crema | Redonda | Mantecosa |
| 3 | DM-3B | Crema | Redonda | Mantecosa |
| 4 | DM-4B | Crema | Redonda | Mantecosa |
| 5 | DM-5B | Crema | Redonda | Mantecosa |
| 6 | NOR-1B | Blanca | Redonda | Cremosa |
| 7 | TRO-1B | Blanca | Redonda | Cremosa |
| 8 | DM-1R | Rosada y anaranjada | Redonda | Mucoide |
| 9 | DM-2R | Anaranjada fuerte | Redonda | Mantecosa |
| 10 | DM-3R | Rosada | Redonda | Mucoide |
| 11 | DM-4R | Rosada y anaranjada | Redonda y ovalada | Mucoide |
| 12 | MC-1R | Rosada y anaranjada | Redonda | Mucoide |
| 13 | MC-2R | Rosada y anaranjada | Redonda | Mucoide |
| 14 | MC-3R | Rosada y anaranjada | Redonda | Mucoide |
| 15 | MC-4R | Rosada | Redonda y ovalada | Mucoide |
| 16 | MC-5R | Rosada | Redonda y ovalada | Mucoide |
| 17 | NOR-1R | Anaranjada fuerte | Redonda | Mucoide |
| 18 | NOR-2R | Anaranjada fuerte | Redonda irregular | Cremosa |
| 19 | TRO-1R | Rosada | Redonda | Mucoide |
| 20 | TRO-2R | Rosada | Redonda | Mucoide |
| 21 | TRO-3R | Rosada y anaranjada | Redonda | Mucoide |
| 22 | TRO-4R | Rosada y anaranjada | Redonda y ovalada | Mucoide |
| 23 | TRO-5R | Rosada | Redonda | Mucoide |
| 24 | <i>Rhodotorula dairenensis</i> | Rosada y anaranjada | Ovalada | Mucoide |

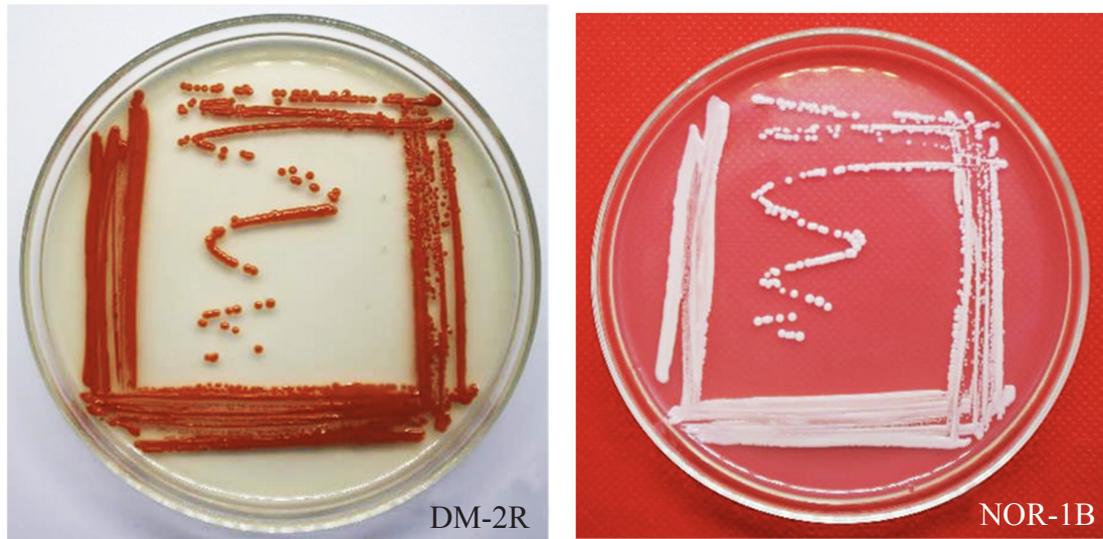


Figura 1. Coloración de las colonias de levaduras aisladas del pedúnculo de la piña. DM-2R: *Rhodotorula mucilaginosa*. NOR-1B: *Meyerozyma guilliermondii*.

Las formas de las colonias de ambos grupos fueron redondas y/o ovaladas. La consistencia de las colonias de las levaduras no pigmentadas fue mantecosa o cremosa, y las pigmentadas fueron mucoides. En la mayoría de los casos, solo la DM-2R fue mantecosa, y la NOR-2R cremosa (Tabla 1). El relieve de las levaduras, en la mayoría fue convexo y fue plano solo para las levaduras no pigmentadas NOR-1B, TRO-1B, y para las pigmentadas NOR-1R y NOR-2R. La textura de las colonias en su mayoría fue lisa, solo la NOR-2R presentó una textura rugosa. Las levaduras no pigmentadas no presentaron brillo, mientras que las pigmentadas si, a excepción de la NOR-2R.

La mayoría de las levaduras pigmentadas, de este trabajo, presentaron una consistencia mucoides, de relieve convexo y con presencia de brillo. La coloración pigmentada se relaciona con las levaduras productoras de carotenoides como *Rhodotorula mucilaginosa*, las cuales se caracterizan por presentar colonias mucoides en tonalidades de salmón y rosa (Guamán y Carvajal 2009). Existen otras especies de levaduras pigmentadas que han sido identificadas con características similares, dentro

de los géneros *Rhodospiridium* y *Sporobolomyces*, lo que evidencia que existe una variabilidad genética entre las especies que presentan estas variables cualitativas (Guamán y Carvajal 2009).

Las levaduras no pigmentadas presentaron colonias de formas redondas, con consistencia mantecosa o cremosa y la mayoría con relieve convexo. Esto coincide con el estudio de levaduras aisladas de plantas de maíz y geranios, en el cual se encontró que las colonias de color blanco presentaron superficie suave, márgenes regulares y consistencia cremosa, además del olor característico (Buck y Burpee 2002).

En las observaciones microscópicas, se encontraron las formas típicas de las células de las levaduras, las redondas, ovaladas y cilíndricas. Uribe (2007) reportó características similares de las levaduras aisladas de la filosfera de la mora. Esto sugiere, la similitud de las células de las levaduras a nivel microscópico, en otra zona geográfica, como este caso de Colombia.

Es evidente que, para este tipo de microorganismos, la caracterización morfológica no

genera la información suficiente para poder identificar las levaduras a nivel de género o especie, por las similitudes fenotípicas que presentan. Por tanto, la identificación molecular es una herramienta valiosa para demostrar la variabilidad genética presente en los aislamientos.

Las levaduras no pigmentadas, se identificaron molecularmente en 3 especies de la división Ascomycota: *Candida intermedia*, *Meyerozyma guilliermondii*, y *M. caribbica* (Tabla 2). En Costa Rica, en un trabajo previo en frutos de piña,

provenientes de las zonas de Puntarenas y Sarapiquí, se reportó la levadura *C. fukuyamaensis* (Castro y Umaña 2019). El género *Candida* ha sido estudiado por su potencial como controlador biológico en diferentes enfermedades poscosecha, por ejemplo, en el cultivo de la manzana de agua (Trujillo y Echeverry 2015). Además, la levadura *C. guilliermondii* aislada de frutos de uchuva, ha sido utilizada como una alternativa para retardar la pudrición en el fruto del banano (Buitrago y Escobar 2009).

Tabla 2. Identificación molecular de las levaduras aisladas del moho del pedúnculo de la piña.

| Aislamiento | Especie | Primers | 16 S (F63/LR3) |
|-------------|--|---------------|----------------------------------|
| 1 DM-3B | <i>Candida intermedia</i> | ITS1-ITS4 EXT | <i>Candida intermedia</i> |
| 2 NOR-1B | <i>Meyerozyma guilliermondii</i> | ITS4-ITS5 | <i>Meyerozyma guilliermondii</i> |
| 3 TRO-1B | <i>Meyerozyma caribbica</i> | ITS4-ITS5 | <i>Meyerozyma caribbica</i> |
| 4 DM-2R | <i>Rhodotorula pacifica</i> <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> | ITS1-ITS4 EXT | <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> |
| 5 MC-1R | <i>Rhodotorula toruloides</i> | ITS4-ITS5 | <i>Rhodotorula toruloides</i> |
| 6 MC-2R | <i>Rhodotorula diobovata</i> | ITS4-ITS5 | <i>Rhodotorula diobovata</i> |
| 7 NOR-1R | <i>Sporobolomyces</i> sp. <i>Sporobolomyces carnicolor</i> | ITS4-ITS5 | <i>Sporidiobolus pararoseus</i> |
| 8 NOR-2R | <i>Sporobolomyces</i> sp. <i>Sporobolomyces carnicolor</i> | ITS4-ITS5 | <i>Sporobolomyces carnicolor</i> |
| 9 TRO-4R | <i>Rhodotorula toruloides</i> | ITS4-ITS5 | <i>Rhodotorula toruloides</i> |

También, se ha estudiado la actividad antagónica de las levaduras *C. inconspicua* y *Pichia kluyveri*, para el control de *Alternaria alternata* en pitahaya amarilla, y la levadura *C. inconspicua* mostró mejor efectividad que *P. kluyveri*. Además, se utilizaron contra *Colletotrichum musae* en banano orgánico.

P. kluyveri demostró una mejor eficacia en reducir la antracnosis que *C. inconspicua* (Vilaplana *et al.* 2020).

Las especies *M. guilliermondii* y *M. caribbica* son ascomicetes muy relacionadas entre sí, que han sido estudiadas por sus atributos

biotecnológicos asociados (Romi *et al.* 2014), así como ser microorganismos con potencial para el control biológico (Bautista *et al.* 2013). La especie *M. caribbica* ha sido exitosa para el control de antracnosis en mango, papaya y aguacate, por medio de la técnica de microencapsulados de microorganismos (Aguirre *et al.* 2022, González *et al.* 2021).

Asimismo, el uso de la aplicación de mezclas de microorganismos ha generado resultados positivos en el control de enfermedades por la sinergia que se deriva, por medio de la combinación de mecanismos presentes como la actividad

antifúngica a través de compuestos orgánicos volátiles, la formación de biopelículas, la inducción de resistencia, competencia por espacio, entre otros (Öztekin y Karbancioglu 2023, Spadaro y Droby 2016).

Las levaduras pigmentadas, se identificaron molecularmente en 5 especies de la división Basidiomycota: *R. mucilaginosa*, *R. toruloides*, *R. diodovata*, *S. carnicolor* y *S. pararoseus* (Tabla 2). Estas levaduras se caracterizan por producir pigmentos carotenoides de colores rosados, que le confieren protección contra los efectos perjudiciales de la radiación UV (Guamán y Carvajal 2009, Moliné *et al.* 2010, Wirth y Goldani 2012). Los pigmentos son producidos, principalmente, durante la fase estacionaria de la curva de crecimiento, momento en que se sintetizan sustancias como metabolitos secundarios volátiles, compuestos aromáticos y quinonas, que pueden tener un efecto antibiótico (Dastager *et al.* 2006).

Rhodotorula ha sido reportada como una levadura biocontroladora de *P. digitatum* en frutos de naranjas (Ahima *et al.* 2019), como antagonista de *B. cinerea* (González *et al.* 2019), de igual forma, ha sido utilizada para controlar el moho gris en fresas, causado por *Rhizopus* (Zhang *et al.* 2014).

El género *Sporobolomyces* se caracteriza por ser polifilético, y los miembros presentan la capacidad de crecer en condiciones aeróbicas y microaerofilicas, además de ser tolerantes a la congelación y descongelación, y menos tolerantes a las temperaturas elevadas y a la desecación (Cobban *et al.* 2016). La especie *S. pararoseus*, se ha estudiado por su capacidad en la producción de carotenoides, durante la fermentación, en la cual, se mostró que la concentración máxima de carotenoides totales se alcanzó después de 102 horas (Serrão *et al.* 2011). Esta especie, se evaluó por su eficacia en el control del moho azul poscosecha en manzanas, causada por *P. expansum*, y se encontró que la incidencia de la enfermedad fue menor en las frutas tratadas con la levadura, en comparación con el tratamiento control. Además, en pruebas in vitro, la germinación de

las esporas y la longitud del tubo germinal de *P. expansum* fueron inhibidas por esta levadura (Zhao *et al.* 2018).

En la caracterización de levaduras carotenogénicas de varias zonas de Ecuador, se identificó molecularmente a las especies *R. toruloides*, *R. diobovata* y *S. carnicolor* (Guamán y Carvajal 2009). En frutos de manzana de agua, se identificaron 20 levaduras que correspondieron a 6 géneros: *Rhodotorula* spp.; *Hanseniaspora* spp.; *Brettanomyces* spp.; *Candida* spp.; *Kloeckera* spp.; *Torulopsis* spp (Trujillo y Echeverry 2015). Ante estos reportes, se denota que existe una diversidad de especies que coinciden con las de esta investigación, lo que sugiere que existe una gran variedad de levaduras desarrollándose tanto en la superficie de las plantas, de las frutas, y están presentes en diferentes especies de plantas.

En el ensayo de temperaturas, para la temperatura de 20°C, el análisis de varianza presentó diferencias significativas, para el número de colonias, entre la interacción de las levaduras y el día de evaluación ($p < 0,0001$). Las levaduras a 20°C crecieron a los 2 días del establecimiento del ensayo (Figuras 2 y 3). Resultados similares encontró Uribe (2007), en la cual se midió el crecimiento de las levaduras a varias temperaturas (5°C, 10°C, 25°C, 30°C, 35°C, 37°C, 40°C, 42°C y 45°C), y se determinó que el mejor rango de crecimiento fue entre 25°C a 37°C, para la mayoría de las levaduras (Uribe 2007). Además, se presentó una relación directamente proporcional entre el crecimiento y la temperatura, hasta los 35°C, luego se observó una disminución del crecimiento en la mayoría de las levaduras (Uribe 2007).

Guamán y Carvajal (2009) reportó que para diferentes especies de levaduras, la temperatura que resultó más favorable para su crecimiento fue 20°C, con respecto a 30°C y 37°C. En la pulpa de la manzana de agua, se determinó que los aislamientos presentaron un mejor desarrollo a la temperatura ambiente entre 24°C a 27°C (Trujillo y Echeverry 2015).

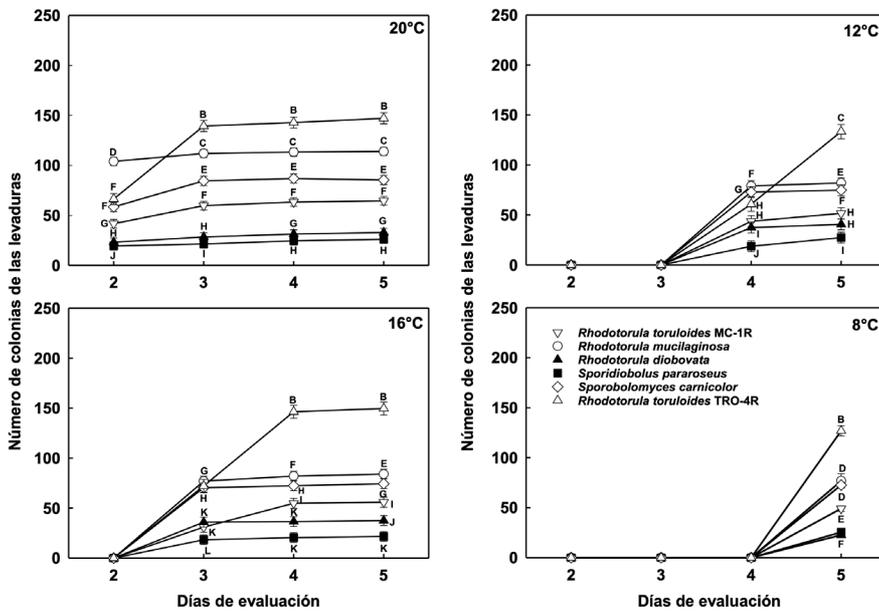


Figura 2. Número de las colonias de las levaduras pigmentadas almacenadas en cámara de refrigeración a 20°C, 16°C, 12°C y 8°C, durante 5 días. Las barras corresponden al error estándar. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, de acuerdo con la prueba DGC ($p > 0,05$).

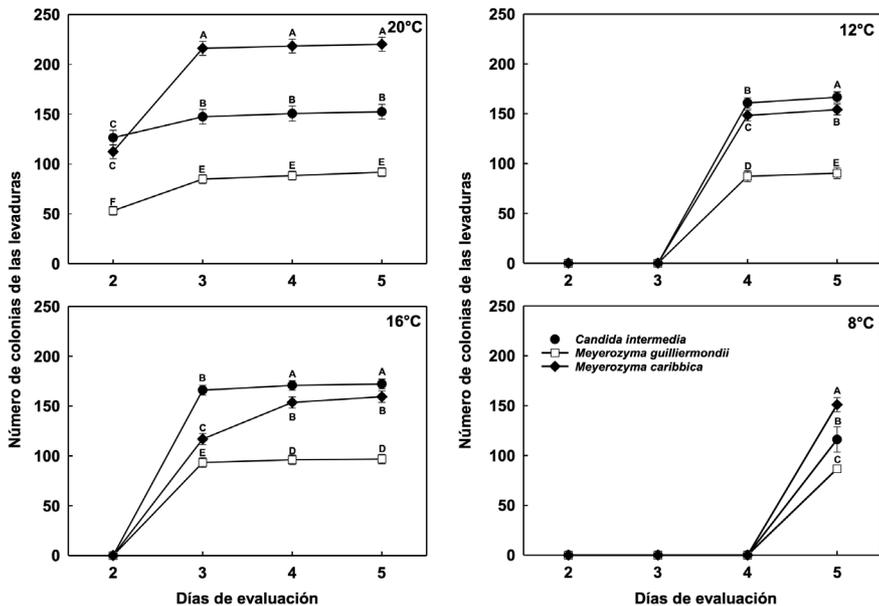


Figura 3. Número de las colonias de las levaduras no pigmentadas almacenadas en cámara de refrigeración a 20°C, 16°C, 12°C y 8°C, durante 5 días. Las barras corresponden al error estándar. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, de acuerdo con la prueba DGC ($p > 0,05$).

Para los 20°C, las levaduras que presentaron mayor número de colonias fueron las no pigmentadas *M. caribbica*, *C. intermedia* y la pigmentada *R. toruloides* (TRO-4R), estas 2 últimas sin presentar diferencias significativas entre sí, a los 5 días de evaluación (Figuras 2 y 3). Las levaduras pigmentadas *S. pararoseus*, *R. diobovata* y *R. toruloides* (MC-1R) presentaron el menor número de colonias, respectivamente, estas 2 últimas sin presentar diferencias significativas entre sí, a los 5 días de evaluación (Figura 2).

Para la temperatura de 16°C, el análisis de varianza presentó diferencias significativas para el número de colonias, entre la interacción de las levaduras y el día de evaluación ($p < 0,0001$). Las levaduras almacenadas a 16°C empezaron a crecer a los 3 días del establecimiento del ensayo (Figuras 2 y 3).

Las levaduras que presentaron mayor número de colonias fueron no pigmentadas *C. intermedia*, *M. caribbica* y pigmentada *R. toruloides* (TRO-4R), estas 2 últimas sin presentar diferencias significativas entre sí, a los 5 días de evaluación. Las de menor número de colonias fueron las pigmentadas *S. pararoseus*, *R. diobovata* y *R. toruloides* (MC-1R), respectivamente, todas presentaron diferencias significativas, en la evaluación del día 5 ($p < 0,0001$) (Figura 2).

Para la temperatura de 12°C, el análisis de varianza presentó diferencias significativas, para el número de colonias, entre la interacción de las levaduras y los 4 y 5 días de evaluación ($p < 0,0001$). Las levaduras almacenadas a 12°C empezaron a crecer a los 4 días del establecimiento del ensayo (Figuras 2 y 3).

Las levaduras que presentaron mayor número de colonias fueron *C. intermedia*, *M. caribbica* y *R. toruloides* (TRO-4R), respectivamente, todas presentaron diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre sí, a los 5 días de evaluación. Las levaduras que presentaron menor número de colonias fueron *S. pararoseus*, *R. diobovata* y *R. toruloides* (MC-1R), respectivamente, todas presentaron diferencias significativas entre sí, al día 5 de evaluación (Figura 2).

Para la temperatura de 8°C, el análisis de varianza presentó diferencias significativas para el número de colonias, entre las levaduras solamente, ya que, las levaduras empezaron a crecer a los 5 días del establecimiento del ensayo (Figuras 2 y 3). Los resultados mostraron que las levaduras almacenadas a 8°C fueron capaces de desarrollar colonias, a partir del día 4 de iniciado el experimento.

A 8°C, las levaduras con mayor cantidad de colonias fueron la *M. caribbica*, *R. toruloides* (TRO-4R) y *C. intermedia*, estas 2 últimas no presentaron diferencias significativas entre sí, en el día 5 de evaluación. Las levaduras que presentaron el menor número de colonias fueron *R. diobovata*, *S. pararoseus* y *R. toruloides* (MC-1R), respectivamente, respectivamente, estas 2 últimas no presentaron diferencias significativas entre sí, al día 5 de evaluación.

Los microorganismos son capaces de resistir los periodos de almacenamiento en frío a los que se somete a las piñas, en su etapa poscosecha. A temperaturas bajas, los microorganismos reducen su metabolismo, y esto retrasa los procesos de infección (Rivera 2018), no obstante, luego al ser sometidos a temperaturas más cálidas los microorganismos activan su crecimiento, y pueden generar lesiones visibles en los frutos.

Las levaduras almacenadas a 4°C no presentaron crecimiento durante los 5 días de almacenamiento. Durante el almacenamiento, se observó que, por cada 4°C de disminución en la temperatura desde los 20°C hasta los 4°C, las colonias de levaduras se mostraron visibles un día más tarde. Las bajas temperaturas afectan el crecimiento de los microorganismos, y este tiende a disminuir y ser más lento, ya que las células pueden experimentar periodos de latencia, y presentar afectaciones en el metabolismo microbiano, ya que la actividad de las enzimas involucradas en el metabolismo celular se encuentra entre 10°C y 50°C (Redón *et al.* 2011).

En el caso de la piña, durante el transporte y la distribución la fruta fue expuesta a temperaturas entre 7°C y 18°C, incluso en algunos casos puede ser sometida a temperaturas ambientales

mayores. Estas condiciones que soporta la piña afectan también a los microorganismos presentes en la fruta, ya que el crecimiento de las levaduras a partir de temperaturas relativamente bajas, resulta negativo desde la perspectiva de la calidad de la piña, ya que si favorece el desarrollo de especies pigmentadas, aunque estas han sido catalogadas como controladores biológicos, afectan la apariencia del pedúnculo de la fruta, debido a las intensas coloraciones. Por otra parte, este efecto podría resultar positivo, en el caso de considerar para estudios a las especies no pigmentadas como *C. intermedia*, *M. caribbica* y *M. guilliermondii*, identificadas molecularmente en este trabajo, a las cuales se les atribuye un gran potencial como biocontroladores para el control de patógenos en enfermedades poscosecha.

AGRADECIMIENTOS

Al personal del Laboratorio de Tecnología Poscosecha del CIA, por la colaboración durante la ejecución de esta investigación. Además, al Laboratorio de Técnicas Moleculares de la Escuela de Agronomía y de Biotecnología del (CIA), por sus aportes en la descripción molecular de las levaduras.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, L; Calderón, M; Lagarón, J; Prieto, C; Ragazzo, J. 2022. Formulation of the biological control yeast *Meyerozyma caribbica* by electrospraying process: effect on postharvest control of anthracnose in mango (*Mangifera indica* L.) and papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of the science of food and agriculture* 102(2):696-706.
- Ahima, J; Zhang, X; Yang, Q; Zhao, L; Tibiru, A; Zhang, H. 2019. Biocontrol activity of *Rhodotorula mucilaginosa* combined with salicylic acid against *Penicillium digitatum* infection in oranges. *Biological Control* 135:23-32.
- Aloui, H; Licciardello, F; Khwaldia, K; Hamdi, M; Restuccia, C. 2015. Physical properties and antifungal activity of bioactive films containing *Wickerhamomyces anomalus* killer yeast and their application for preservation of oranges and control of postharvest green mold caused by *Penicillium digitatum*. *International Journal of Food Microbiology* 200:22-30.
- Barquero, A. 2010. Estudio comparativo de la eficacia de cinco desinfectantes y optimización del mejor de ellos para la etapa de desinfección de piña fresca en la empresa Banacol. *Práctica Dirigida Escuela de Tecnología de Alimentos para optar por el grado de licenciatura en Tecnología de Alimentos*, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 57 p.
- Bautista, P; Calderón, M; Servín, R; Ochoa, N; Ragazzo, J. 2013. Action mechanisms of the yeast *Meyerozyma caribbica* for the control of the phytopathogen *Colletotrichum gloeosporioides* in mangoes. *Biological Control* 65(3):293-301.
- Buck, J; Burpee, L. 2002. The Effects of Fungicides on the Phylloplane Yeast Populations of Creeping Bentgrass. *Canadian Journal of Microbiology* 48(6):522-529.
- Buitrago, J; Escobar, M. 2009. Aplicación de levadura *Candida* spp. como una alternativa viable para la retardación en la pudrición del banano (*Musa acuminata*). Trabajo de grado Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Bogotá, Colombia. 81 p.
- CANAPEP (Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña). 2019. Estadísticas (en línea). Consultado 4 mar. 2020. Disponible en <https://canapep.com/estadisticas/>
- Castro, J; Umaña, G. 2015. Poblaciones e identificación de los hongos causantes de mohos poscosecha en el pedúnculo de la piña, en dos zonas de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 39(3):61-77.
- Castro, J; Umaña, G. 2017. Frecuencia de los hongos asociados al desarrollo de mohos poscosecha en el pedúnculo de la piña en dos zonas de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 41(2):17-25.
- Castro, J; Umaña, G. 2019. Yeasts and bacteria associated with pineapple fruit during postharvest handling. *Acta Horticulturae* 1239:77-84.
- Chanprasartsuk, O; Prakitchaiwattana, C; Sanguandeeekul, R; Fleet, G. 2010. Autochthonous yeasts associated with mature pineapple fruits, freshly crushed juice and their ferments; and the chemical changes during natural fermentation. *Bioresource technology* 101:7500-9.
- Cheng, L; Zhou, L; Li, D; Gao, Z; Teng, J; Nie, X; Guo, F; Wang, C; Wang, X; Li, S; Li, X. 2023. Combining the biocontrol agent *Meyerozyma guilliermondii* with UV-C treatment to manage postharvest gray mold on kiwifruit. *Biological Control* 180:105-198.
- Cobban, A; Edgcomb, V; Burgaud, G; Repeta, D; Leadbetter, E. 2016. Revisiting the pink-red pigmented basidiomycete mirror yeast of the phyllosphere. *Microbiologyopen* 5(5):846-855.
- Dastager, S; Li, W; Dayanand, A; Tang, S; Tian, X; Zhi, X; Hua, L; Jiang, C. 2006. Separation, identification and analysis of pigment (melanin) production in

- Streptomyces. African Journal of Biotechnology 5(8):1131-1134.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2020. InfoStat versión 2020 (en línea). Universidad Nacional de Córdoba. Consultado 30 mar. 2020. Disponible en <http://www.InfoStat.com.ar>
- Di Rienzo, J; Guzmán, A; Casanoves, F. 2002. A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics 7:129-142.
- González, A; Gentina, J; Kong, S; Alvarado, R; Stevenson, J; Briceño, E; Montenegro, O. 2019. Survival of Spray-Dried *Rhodotorula mucilaginosa* Isolated from Natural Microbiota of Murta Berries and Antagonistic Effect on *Botrytis cinerea*. Food Technology & Biotechnology 57(2):222-229.
- González, K; Ragazzo, J; Calderón, M. 2021. Application of stressed and microencapsulated *Meyerozyma caribbica* for the control of *Colletotrichum gloeosporioides* in avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass). Journal of Plant Diseases & Protection 128(5):1243-1251.
- Guamán, C; Carvajal, J. 2009. Caracterización e identificación de aislados de levaduras carotenogénicas de varias zonas naturales del Ecuador. Universitas Scientiarum 14(2-3):187-197.
- Korres, A; Ventura, J; Fernandes, P. 2010. First Report of Bacterium and Yeasts Associated with Pineapple Fruit Collapse in Espírito Santo State, Brazil. Plant Disease 94(12):1509.
- Lassois, L; de Lapeyre, L; Jijakli, M. 2008. Biological control of crown rot of banana with *Pichia anomala* strain K and *Candida oleophila* strain O. Biological Control 45(3):410-418.
- Li, R; Zhang, H; Lui, W; Zheng, X. 2011. Biocontrol of postharvest gray and blue mold decay of apples with *Rhodotorula mucilaginosa* and possible mechanisms of action. International Journal of Food Microbiology 146(2):151-156.
- Moliné, M; Flores, M; Libkind, D; Diéguez, M; Fariás, M; van Broock, M. 2010. Photoprotection by carotenoid pigments in the yeast *Rhodotorula mucilaginosa*: the role of torularhodin. Photochemical y Photobiological Sciences 9(8):1145-1151.
- Öztekin, S; Karbancioglu, F. 2023. Biological control of green mould on mandarin fruit through the combined use of antagonistic yeasts. Biological Control 180:105-186.
- Pan, H; Zhong, C; Wang, Z; Deng, L; Li, W; Zhao, J; Long, C; Li, L. 2022. Biocontrol Ability and Action Mechanism of *Meyerozyma guilliermondii* 37 on Soft Rot Control of Postharvest Kiwifruit. Microorganisms 10(11):2143. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10112143>
- Platania, C; Restuccia, C; Muccilli, S; Cirvilleri, G. 2012. Efficacy of killer yeasts in the biological control of *Penicillium digitatum* on Tarocco orange fruits (*Citrus sinensis*). Food Microbiology 30(1):219-225.
- Qiu, J; Zhao, L; Jiang, S; Abiso, E; Zhang, X; Zhang, H. 2022. Efficacy of *Meyerozyma caribbica* in the biocontrol of blue mold in kiwifruit and mechanisms involved. Biological Control 173:105000. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105000>
- Ramírez, M; Usman, L; Silva, L; Osorio, E. 2019. Dominant yeasts associated to mango (*Mangifera indica*) and rose apple (*Syzygium malaccense*) fruit pulps investigated by culture-based methods. Anais da Academia Brasileira de Ciências 91:e20190052.
- Redón, M; Guillamón, J; Mas, A; Rozes, N. 2011. Effect of growth temperature on yeast lipid composition and alcoholic fermentation at low temperature. Food Research and Technology 232(3):517-527.
- Rivera, G. 2018. Conceptos introductorios a la Fitopatología. 2 ed. Costa Rica, EUNED. 400 p.
- Rogers, S; Bendich, A. 1988. Extraction of DNA from plant tissues (en línea). In Gelvin, S; Schilperoord, R (eds.). Dordrecht, Springer Netherlands. p. 89-99.
- Romi, W; Keisam, S; Ahmed, G; Kumaswamy, J. 2014. Reliable differentiation of *Meyerozyma guilliermondii* from *Meyerozyma caribbica* by internal transcribed spacer restriction fingerprinting. BMC Microbiology 14(1):52.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2023. Desempeño del Sector Agropecuario 2022. Costa Rica. 11 p.
- Serrão, M; Cabral Cence, K; Zeni, J; Tsai, S; Durrer, A; Liva, L; Toniazzo, G; Valduga, E; Treichel, H. 2011. Carotenoids production from a newly isolated *Sporidiobolus pararoseus* strain by submerged fermentation. European Food Research and Technology. 233(1):159-166.
- Spadaro, D; Droby, S. 2016. Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: The importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists. Trends in Food Science & Technology 47:39-49.
- Starmer, W; Lachance, M. 2011. Chapter 6 - Yeast Ecology (en línea). In Kurtzman, C; Fell, J; Boekhout, T (eds.). London, Elsevier. p. 65-83.
- Sui, Y; Wisniewski, M; Droby, S; Liu, J. 2015. Responses of Yeast Biocontrol Agents to Environmental Stress. Applied and Environmental Microbiology 81(9):2968-2975.
- Torres, R; Teixidó, N; Viñas, I; Mari, M; Casalini, L; Giraud, M; Usall, J. 2006. Efficacy of *Candida sake* CPA-1 formulation for controlling *Penicillium expansum* decay on pome fruit from different Mediterranean regions. Journal of Food Protection 69(11):2703-2711.

- Trujillo, L; Echeverry, S. 2015. Aislamiento y caracterización de levaduras presentes en el fruto del *Syzygium malaccense* (L) Merr. y L.M Perry (pomoroso) en la comuna 1 de la ciudad de Neiva- Huila. Revista Ingeniería y Región 13(1):37-45.
- Uribe, L. 2007. Caracterización fisiológica de las levaduras aisladas de la filosfera de mora. Microbiología Industrial. Bogotá, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana. 154 p.
- Vilaplana, R; Cifuentes, C; Vaca, L; Cevallos, J; Valencia, S. 2020. Curative activity of possible biocontrol agents in the postharvest of yellow pitahaya and organic banana. Postharvest Biology and Technology 159(1):111030.
- Wirth, F; Goldani, L. 2012. Epidemiology of *Rhodotorula*: an emerging pathogen. Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases 465717. 7 p. DOI: 10.1155/2012/465717
- Zhang, H; Ge, L; Chen, K; Zhao, L; Zhang, X. 2014. Enhanced biocontrol activity of *Rhodotorula mucilaginosa* cultured in media containing chitosan against postharvest diseases in strawberries: possible mechanisms underlying the effect. Journal of agricultural and food chemistry 62(18):4214-4224.
- Zhao, L; Yiwen, S; Dongbiao, Y; Jun, L; Xiangyu, G; Xiaoyun, Z; Hongyin, Z. 2018. Effects of *Sporidiobolus pararoseus* Y16 on Postharvest Blue Mold Decay and the Defense Response of Apples. Journal of Food Quality 9 p.

ADICIÓN DE INÓCULOS MICROBIANOS Y CONDICIONES OPTIMIZADAS DE ELABORACIÓN EN UN COMPOST COMERCIAL

Fernando Castro-Hernández¹, Juan Ramón Navarro-Flores², Leida Castro-Barquero^{3/}*

Palabras clave: compostaje comercial; microorganismos descomponedores; broza de café; relación C/N; madurez y estabilidad.

Keywords: commercial composting; decomposing microorganisms; coffee residues; C/N ratio; maturity and stability.

Recibido: 16/12/22

Aceptado: 01/03/23

RESUMEN

Introducción. El compostaje transforma materiales orgánicos residuales en un producto con potencial para restituir materia orgánica y nutrientes para la agricultura, mientras se reduce el volumen y peso de estos materiales y su disposición en rellenos sanitarios o como contaminantes de ríos y mantos acuíferos. **Objetivo.** Optimizar la producción comercial de compost, con la mejora de las condiciones del proceso y la adición de inóculos microbianos. **Materiales y métodos.** Sobre un sustrato agroindustrial se optimizaron condiciones del proceso de compostaje, tales como aeración, temperatura, altura de la pila y humedad, y se evaluó la adición de 3 inóculos microbianos degradadores de materia orgánica, para compararlos con un testigo comercial y un testigo absoluto. Se realizaron análisis químicos y microbiológicos, así como

de inocuidad, estabilidad y madurez. En total se evaluaron 17 variables químicas, 7 microbiológicas, 2 de inocuidad y 13 de madurez. Para el análisis y comparación de los tratamientos se empleó un método multicriterio y de esa forma resumir el resultado de las 39 variables estudiadas en un solo valor representativo. **Resultados.** Se establecieron 2 intervalos de confianza, el primero (a) incluye al testigo comercial y al testigo absoluto, con las menores calificaciones de calidad. El segundo (b) abarca a los tratamientos microbiológicos Degradabiol, Bacilos y Agrecicla, con los mayores índices ponderados y las mejores características de calidad. **Conclusión.** La adición de inóculos, así como el manejo de la humedad, temperatura, volteos frecuentes y altura de hileras, permitió obtener mejores características de calidad, en comparación con el compost producido convencionalmente. La relación C/N deficiente de las materias primas iniciales fue un factor que no pudo ser corregido debido al

* Autora para correspondencia. Correo electrónico: leida.castro@ucr.ac.cr

1 Consultor independiente. San José, Costa Rica.  0000-0003-1726-2122.

2 Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, San José, Costa Rica.  0000-0001-9071-0804.

3 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas-Agroalimentarias, San José, Costa Rica.  0000-0002-3788-7173.

tipo de residuos usualmente procesados. Es necesario implementar medidas viables para mejorar esta relación, que generalmente es deficiente en las producciones comerciales de compost.

ABSTRACT

Addition of microbial inoculum and optimized processing conditions in a commercial compost. **Introduction.** Composting transforms residual organic materials into a product with the potential to restore organic matter and nutrients for agriculture, while reducing the volume and weight of these materials and their disposal in landfills or as pollutants in rivers and aquifers. **Objective.** To optimize the commercial production of compost, with the improvement of the process conditions and the addition of microbial inoculum. **Materials and methods.** On an agro-industrial substrate, conditions such as aeration, temperature, pile height and humidity were optimized on the composting process, and the addition of 3 microbial inoculum degrading organic matter was evaluated, in order to compare them with a

commercial and an absolute control. Chemical and microbiological analyzes were carried out, as well as innocuity, stability and maturity. In total, 17 chemical, 7 microbiological, 2 safety and 13 maturity variables were evaluated. For the analysis and comparison of the treatments, a multicriteria method was used to summarize the result of the 39 variables studied in a single representative value. **Results.** Two confidence intervals were established, the first (a) includes the commercial and the absolute control, with the lowest quality scores. The second (b) encompasses the microbiological treatments Degradabiol, Bacilos and Agrecicla, with the highest weighted values, and the best quality characteristics. **Conclusion.** The addition of inoculum, as well as humidity and temperature management, frequent turning, and row height, allowed to obtain better quality characteristics, compared to conventionally produced compost. Poor C/N ratio of initial raw materials was a factor that could not be corrected due to the type of waste usually processed. Viable measures need to be implemented in order to improve this relationship, which is generally deficient in commercial compost productions.

INTRODUCCIÓN

El compost es el producto final de un proceso bio-oxidativo, donde materiales orgánicos sólidos, frecuentemente con altos porcentajes iniciales de humedad, son transformados en fuente de nutrientes y humus, mientras se libera dióxido de carbono y otros gases según las condiciones que definen la eficiencia del proceso. Al inicio del compostaje los materiales más lábiles son degradados por hongos, bacterias y actinomicetos mesófilos, luego los sustratos más complejos son descompuestos por microorganismos termófilos. En la etapa final del proceso o fase de enfriamiento y maduración ocurre la formación de sustancias húmicas (Baltodano 2002, Soto 2003, Garro 2016, Azim *et al.* 2018).

El compostaje presenta ventajas desde el punto de vista ambiental, pues permite reducir el volumen y peso de residuos orgánicos y disminuir la cantidad de desechos que son dispuestos en rellenos sanitarios o en otros lugares donde pueden provocar contaminación, a la vez, se logra convertir los materiales residuales en un producto útil para la agricultura (Salas y Ramírez 2001, Soto 2003, PRESOL 2007, Camacho *et al.* 2014, Sánchez *et al.* 2019). Azim *et al.* (2018) señalan que con la intensificación de la producción agrícola existe una pérdida considerable de nutrimentos como N, P y K, cuando los residuos orgánicos no son apropiadamente manejados y dispuestos y proponen el compostaje como una alternativa para tratar tales residuos y restituir

materia orgánica a los suelos en la forma de enmiendas orgánicas.

El compost es uno de los abonos orgánicos más comunes, al añadirlo se reportan beneficios como la mejora de la fertilidad química y la disponibilidad de nutrientes, aumento de la materia orgánica, incremento de las poblaciones de microorganismos benéficos, regulación del pH, mejora de la estructura debido a una mayor agregación y aumento de la porosidad, así como una mejor retención del agua y reducción de la erosión del suelo (Durán y Henríquez 2007, Castro *et al.* 2009, Castro *et al.* 2011, Acuña 2015).

Debido a que los microorganismos llevan a cabo la degradación de los sustratos orgánicos, es importante mantener condiciones propicias para el establecimiento y desarrollo de poblaciones naturales o adicionadas, que permiten con ello, que el tiempo de compostaje sea menor y el compost terminado tenga mejores características de calidad física, química y biológica, así como de madurez y/o estabilidad (Baltodano 2002, Uribe 2003, Acuña 2015, Azim *et al.* 2018, Sánchez *et al.* 2019).

Para asegurar condiciones óptimas en la producción de abonos orgánicos de calidad se requieren métodos adecuados para evaluar sus características, en este sentido, son el conjunto de propiedades químicas, físicas y microbiológicas las que determinarán la calidad final y el potencial de uso de estos abonos en cultivos agrícolas (Salas y Ramírez 2001, Durán y Henríquez 2007, Garro 2016).

Factores relacionados con la optimización del proceso de compostaje. En el proceso de elaboración de abonos orgánicos ocurren cambios fisicoquímicos y biológicos en los materiales orgánicos, influenciados por la constitución y características de los sustratos y las prácticas de manejo en su elaboración. Estas condiciones deben ser favorables para el establecimiento y nutrición de los microorganismos asociados, así como para brindar las condiciones energéticas requeridas, con el fin de optimizar el proceso (Baltodano 2002, Soto 2003, Acuña 2015, Garro 2016).

Los procesos de mineralización y humificación de los sustratos orgánicos, mediados siempre por microorganismos, determinarán posteriormente la presencia y disponibilidad de nutrientes en los abonos orgánicos terminados; estos procesos están afectados por factores como la cantidad y diversidad de microorganismos presentes y su actividad, por la humedad, temperatura, así como por la calidad y cantidad de los materiales incorporados (Muñoz 2003, Castro *et al.* 2009).

En general las condiciones que propician el desarrollo de los microorganismos aeróbicos se relacionan con la presencia de oxígeno, la adecuada humedad y el pH, la superficie de contacto o tamaño de partículas y la disponibilidad de nutrientes, así como con las características de la materia prima, la relación C/N y un apropiado manejo de la temperatura en el proceso de compostaje (Baltodano 2002, Garro 2016).

Una óptima relación C:N ofrece un sustrato energético propicio para el desarrollo de poblaciones microbianas y los procesos complejos de descomposición que estos llevan a cabo. La relación C:N hace referencia a las proporciones de C y N que existen en los materiales iniciales y en el compost terminado. Según Rynk (1992) una relación C:N aceptable para iniciar un proceso se encuentra entre 20:1 y 40:1, mientras Garro (2016) hace referencia a que una relación C:N inicial óptima debe estar entre 25:1 y 35:1.

Es importante mantener la presencia de oxígeno durante el proceso de compostaje, sobre todo en las etapas iniciales, cuando existe gran actividad de microorganismos que lo requieren (Azim *et al.* 2018). Cuando predominan condiciones de anaerobiosis los microorganismos presentan metabolismos menos eficientes y llevan a cabo procesos de descomposición más lentos. Adicionalmente las condiciones anaeróbicas producen olores desagradables por la producción de ácidos grasos volátiles durante la degradación de azúcares simples, por la generación de amoníaco y sulfitos en los procesos de descomposición de proteínas y por la existencia de compuestos gaseosos fosforados como fosfina

(PH₃), trihidruro de fósforo e hidruro de fósforo (Restrepo y Hensel 2013). Es posible prevenir la generación de malos olores y la pérdida gaseosa de nutrientes, con oxigenación durante el compostaje (Soto 2003, Soto y Meléndez 2003).

La altura de los montículos de compost puede afectar la disponibilidad y distribución del oxígeno y además se relaciona con la temperatura y la humedad. En general se recomienda mantener hileras con alturas aproximadas de un metro, con un programa de volteos frecuente y consideran los parámetros de presencia de oxígeno, así como de temperatura (Baltodano 2002, Garro 2016).

Una forma de establecer la frecuencia de volteos es mediante la medición de la temperatura, como indicador de la actividad microbiológica. Se recomienda voltear los montículos de compost cuando sea igual a 60°C, sin superar los 65°C (Baltodano 2002). Esto para evitar una afectación de las poblaciones de microorganismos, debido a una eventual exposición a altas temperaturas y una posible merma de la calidad del compost (Baltodano 2002, Soto y Meléndez 2003, Uribe 2003, Tognetti *et al.* 2005, Azim *et al.* 2018).

El control de la humedad es también determinante para la elaboración de compost. Debe proveerse suficiente agua para permitir la actividad microbiana, sin propiciar condiciones anaeróbicas o lavado de nutrientes. El rango óptimo de humedad en el proceso está entre 40 y 65% (Guerrero 2005, Tognetti *et al.* 2005, Garro 2016). Los volteos frecuentes pueden ayudar a corregir o distribuir la humedad durante el proceso de fabricación de abono (Baltodano 2002).

Evaluación de la calidad del compost. El proceso de compostaje puede tomar de 22 días a 4 meses, según el tipo de materia prima, su tamaño o granulometría, las condiciones de humedad, de temperatura, la frecuencia de los volteos, de las aplicaciones de microorganismos cuando sea el caso y en general según las prácticas de manejo. Algunas de las características de un compost terminado son, un color café oscuro a negruzco con un olor a “tierra de bosque”, no se pueden

identificar los residuos o materia prima que lo originaron, no hay presencia de insectos adultos, ni larvas y la temperatura debe ser similar a la ambiental en igualdad de condiciones (Acuña 2015, Azim *et al.* 2018, Sánchez *et al.* 2019). Al final del compostaje en la fase maduración, hay formación de sustancias producto de procesos de descomposición y síntesis, reconocidas convencionalmente como húmicas (Baltodano 2002, Meléndez 2003, Soto 2003, Garro 2016, Azim *et al.* 2018). En este sentido, las sustancias húmicas y los procesos asociados de humificación han sido un tema de intensa investigación. A pesar de ello, el conocimiento sobre la formación natural de las sustancias húmicas es aún limitado y cada vez más revelador (Buscot y Varma 2005, Lehmann y Kleber 2015). Para Buscot y Varma (2005) en términos microbianos y enzimáticos, la descomposición es un proceso complejo de bucle recursivo donde el sustrato selecciona la comunidad microbiana, que produce enzimas que degradan y modifican el sustrato, que a su vez impulsa sucesión comunitaria.

Para el compost obtenido como producto final, es importante considerar la ejecución de análisis pertinentes, respecto a la presencia de elementos y sus concentraciones, determinar y cuantificar las poblaciones de microorganismos de interés, evaluar la madurez, así como inocuidad del producto, todo esto relacionado con el beneficio que pueda representar en la agricultura el empleo del abono orgánico obtenido (Uribe 2003, Durán y Henríquez 2007, Acuña 2015).

Un compost maduro debe poseer una relación C:N superior a 10 y en general inferior a 20 para ser considerado comercialmente aceptable (Soto y Meléndez 2003, Soto 2003, Okumoto 2003, Muñoz 2003, Uribe 2003, Uribe *et al.* 2014). El término estable hace referencia a un compost que no experimenta descomposición rápida, donde hay disminución de la actividad microbiológica y en el cual los nutrientes son relativamente disponibles (Uribe 2003, Sánchez *et al.* 2019).

Sánchez *et al.* (2019) relacionan la madurez de un compost con la ausencia o grado de

descomposición de compuestos fitotóxicos y contaminantes, además con la existencia de sustancias promotoras de germinación y crecimiento de plantas. El análisis que evalúa la fitotoxicidad o la promoción de un compost mide, ya sea, la germinación de semillas y/o la elongación de raíces o el crecimiento de plantas en compost solos o en mezcla con suelo y compara los resultados con un tratamiento control (Soto y Meléndez 2003, Uribe 2003).

En relación con las poblaciones microbianas, Lal (2016) hace referencia a que una mayor biodiversidad de microorganismos en los suelos se traduce en una mayor capacidad para la supresión de organismos no deseados. Por ello, los abonos orgánicos maduros, al ser aplicados como enmiendas a los suelos, tienen la capacidad de mejorar la sanidad de los cultivos. En este sentido, Castro *et al.* (2011) reportan una disminución de las poblaciones del nematodo endoparásito *Meloidogyne incognita* luego de haber añadido enmiendas orgánicas a plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*); también Castro *et al.* (2020) mencionan que el abono orgánico mejoró el rendimiento de plantas de mostaza (*Brassica rapa* sp. *pekinensis*) y su respuesta a la afectación por la enfermedad conocida como hernia de las crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae*. Por su parte Artavia *et al.* (2010) demostraron que abonos orgánicos de tipo compost y vermicompost poseen una capacidad supresora para *Pythium myriotylum*. Esta capacidad supresora depende de las materias primas, el tipo de procesamiento, grado de madurez y de la cantidad aplicada de estos abonos (Uribe *et al.* 2014). En este sentido Hoitink *et al.* (1997) destacan que el ambiente y condiciones del proceso de compostaje afectan el potencial de biocontrol de organismos patógenos y de supresión de enfermedades, dado que compost inmaduros más bien pueden servir de alimento a organismos considerados patógenos (que también pueden ser saprófitos) y provocar problemas de enfermedades en cultivos agrícolas. No obstante, Bonanomi *et al.* (2007) indican que abonos orgánicos muy maduros o estables pierden sus propiedades

inhibitorias de enfermedades al disminuir la actividad y diversidad de los microorganismos.

Por otro lado, un análisis químico completo permite conocer los contenidos totales de los elementos Ca, Mg, K, P, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B, N y C; el valor de pH, la conductividad eléctrica (CE), el % de MO y la relación C:N existentes en las materias primas o el abono evaluado (Soto y Meléndez 2003, Durán y Henríquez 2007). Hace 2 décadas en Latinoamérica se utilizó la medición de contenidos de elementos como factor principal para establecer la calidad de abonos orgánicos (Soto y Meléndez 2003). Recientemente Azim *et al.* (2018) y Sánchez *et al.* (2019) proponen una combinación de evaluaciones de diferentes criterios para una mejor estimación de la madurez y/o estabilidad y la calidad en abonos. Los mismos autores mencionan diferentes parámetros que pueden emplearse como referencia del grado de biodegradación de materiales orgánicos, como temperatura, relación C/N, actividad microbiana, el índice de germinación, la CIC, pH, contenido de sales, presencia de nitratos y amonio, entre otros.

Por otra parte, Uribe (2003) señala que los contenidos de *Salmonella*, *Escherichia coli* y coliformes fecales son los principales análisis de tipo microbiológico que se realizan para evaluar la inocuidad de los abonos orgánicos. Adicionalmente existen otros análisis para la determinación de potenciales microorganismos patógenos de plantas (Uribe 2003, Uribe y Castro 2008).

El objetivo de la presente investigación fue optimizar la calidad de la producción de abono orgánico tipo compost fabricado comercialmente, por medio de la mejora de las condiciones de elaboración y la adición de diferentes fuentes de inóculo microbiano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso experimental se realizó en Costa Rica bajo el esquema de mejora continua de la empresa Abonos Vivos S. A., productora de compost desde hace más de una década, localizada en Ochomogo, del distrito San Nicolás

del cantón de Cartago y la provincia del mismo nombre, a una altitud de 1580 msnm, con una precipitación en el rango 1500-2000 mm y una temperatura media entre 16-18°C.

Inicialmente se procedió a determinar aspectos técnicos deficientes en los procedimientos de la empresa, mediante la observación directa, la revisión de registros y manuales de procedimientos (Abonos vivos 2019) y entrevistas informales a los empleados a cargo de las funciones. Posteriormente se plantearon propuestas técnicas de mejora con base en condiciones reportadas como óptimas en la literatura.

Disposición del ensayo experimental.

Se utilizaron las materias primas usualmente disponibles en la empresa, las cuales fueron mezcladas para conformar un sustrato básico a partir del cual se construyeron hileras experimentales según los tratamientos evaluados. Para las hileras experimentales se procuró un manejo con condiciones óptimas, además se adicionaron diferentes fuentes de inóculo microbiano. A los abonos orgánicos resultantes de este ensayo se les realizaron análisis químicos, microbiológicos, de estabilidad y madurez, los cuales fueron también comparados con análisis similares realizados al abono comercial de la empresa (testigo comercial).

El sustrato básico consistió en 85% de broza de café húmeda proveniente de distintos beneficios, además se utilizaron 7,5% de residuos sólidos del procesamiento de pipa verde (*Cocos nucifera* L.) y 7,5% de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales agroindustriales, con base en su volumen y de acuerdo con las cantidades de materias primas disponibles.

En el plantel de la empresa se destinó un espacio de terreno a cielo abierto de 2000 m² para la disposición del ensayo. Se evaluaron 4 tratamientos con diferentes fuentes de inóculo de microorganismos degradadores de materia orgánica, dosificados según las respectivas recomendaciones técnicas. Adicionalmente, se manejó un tratamiento sin adición de inóculo como testigo absoluto. Cada tratamiento consistió en una única hilera de sustrato básico con 45,6 m³ de

volumen inicial, con medidas de 25 m de largo, 2,5 m de ancho y 1,2 m de altura.

Los tratamientos evaluados consistieron en el sustrato básico en condiciones optimizadas de manejo con: 1. Un inóculo microbiano elaborado en la propia empresa a base del producto comercial Serenade de Bayer (con *Bacillus subtilis*, cepa QST 713), según receta y dosis empleada normalmente en la empresa, con un total de 3 aplicaciones de 200 L cada una respectivamente en las semanas 1, 3 y 8 del proceso, tratamiento denominado Bacilos. 2. Un inóculo microbiano proveniente del producto comercial Degradabiol (biodegradador con cepas *Bacillus* CIA 200-201-202, *Streptomyces* CIA 110-101, *Saccharomyces* CIA 2008 y *Trichoderma* CIA 100-102) registrado y elaborado por la Universidad de Costa Rica y según dosis recomendada por el proveedor del producto (27 L de producto comercial repartido en 3 aplicaciones respectivamente en las semanas 1, 3 y 7 del proceso de compostaje), denominado Degradabiol. 3. Un inóculo microbiano proveniente del producto comercial Agrecicla (descomponedor biológico con *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Saccharomyces* y *Streptomyces*) según dosis recomendada por el proveedor del producto (2 L de producto comercial repartido en 8 aplicaciones semanales durante las primeras 8 semanas del proceso de compostaje), denominado Agrecicla. 4. Condiciones optimizadas de manejo sin inóculo (testigo absoluto). 5. El abono terminado producto de la línea de producción comercial convencional fue considerado como un testigo comercial de tipo relativo, para comparar diferencias de calidad de los tratamientos con la tecnología tradicional de producción de la empresa.

Los tratamientos evaluados permanecieron 16 semanas en campo abierto; posteriormente, cuando las temperaturas estuvieron por debajo de 40°C, se trasladó una tercera parte del volumen remanente de cada uno de los tratamientos respectivos a una galera techada para una fase final de curado y secado, por un periodo aproximado de 8 semanas.

En los tratamientos 1-4 la altura de hileras fue ajustada a 120 cm de acuerdo con los

alcances de los equipos de la empresa, con la intención de mejorar la disponibilidad y distribución del oxígeno y la humedad, además para facilitar el manejo y lograr una mejor regulación de la temperatura en las hileras (Baltodano 2002, Garro 2016).

Para la línea de producción del testigo comercial se tomaron muestras para análisis químicos y microbiológicos; los resultados obtenidos de los análisis del testigo comercial fueron comparados con los realizados a los otros tratamientos evaluados.

Análisis químicos. Se tomaron muestras para análisis químicos (pH, CE, % MO, Ca, Mg, K, P, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B, N, C), en el Laboratorio de Suelos y Foliarens del Centro de Investigaciones Agronómicas (LSF-CIA) de la Universidad de Costa Rica.

Para determinar el porcentaje de % MO se empleó la técnica de oxidación con dicromato de K, referida por Henríquez y Cabalceta (1999). Los porcentajes de C y N totales se determinaron con un autoanalizador por combustión seca y a partir de los resultados fueron calculadas las relaciones C:N respectivas.

Luego de una digestión húmeda del abono en HNO₃, se determinaron las concentraciones totales de elementos Ca, Mg, K, P y elementos menores con espectrometría de emisión atómica acoplada a plasma (ICP-AES), según reporta el LSF-CIA en los resultados de laboratorio respectivos.

Análisis microbiológicos, de estabilidad y madurez. Al final del proceso de elaboración de compost, se realizaron análisis microbiológicos y se determinaron las poblaciones de hongos, levaduras, actinomicetes, bacterias, lactobacilos, además recuento de fijadores de nitrógeno (FN), de solubilizadores de fósforo (SP) y de inocuidad (presencia de *Salmonella* y *Escherichia coli*). La estimación de microorganismos se realizó mediante la técnica de diluciones seriadas y aislamientos microbiológicos y conteos de las unidades formadoras de colonias (UFC) o número más probable (NMP) en los medios específicos (Uribe 2000, Uribe 2003, Uribe y Castro 2008).

Para realizar el análisis de las poblaciones de microorganismos los valores obtenidos fueron transformados con Log₁₀ UFC. Se determinó la calidad de los abonos mediante la realización de análisis de estabilidad, al evaluar la cantidad de CO₂ producida por unidad de tiempo (tasa respiratoria). También se hicieron análisis de madurez o fitotoxicidad que midieron los porcentajes de germinación de semillas en el compost, además en mezclas del compost respectivo con diferentes cantidades de suelo adicionado, para evaluar posibles variaciones de germinación que puedan atribuirse a fitotoxicidad o promoción del crecimiento. Los análisis microbiológicos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigaciones Agronómicas (LMA-CIA) de la Universidad de Costa Rica.

Cada muestra consistió en un 1 kg de material tomado luego de un volteo de la hilera respectiva, para homogenizar los materiales. Cada muestra se constituyó a partir de 15 submuestras recolectadas de forma aleatoria y tomadas a 30 cm de profundidad, a partir de la superficie y hacia el centro de la hilera. Se tomaron 3 muestras por cada uno de los tratamientos.

Para el testigo comercial se tomaron 3 muestras para los análisis químicos y microbiológicos respectivos, constituidas a partir de 15 submuestras recolectadas en forma aleatoria en las hileras del abono comercial de la empresa.

Análisis físicos complementarios. La temperatura (T) de las hileras se midió a los 60 cm de profundidad con un termómetro de la marca Tel-Tru,. Para ello se tomaron 3 mediciones por hilera de forma diaria, en la etapa termófila. La medición de T se utilizó como indicador par el volteo; de forma que cuando la temperatura era de 60°C, sin superar los 65°C, se procedió con el volteo. Para ello se utilizó una máquina volteadora de compost unida a un tractor. Durante la fase mesófila, cuando disminuyeron las temperaturas por debajo de 40°C, las hileras se voltearon al menos una vez por semana para propiciar el ingreso de oxígeno.

Para la medición de los porcentajes de humedad se tomaron 3 muestras por tratamiento

con intervalos de 1 semana; para este efecto se tomó y pesó cada muestra fresca de cada uno de los tratamientos y se procedió luego a secarla en un horno a 80°C; el porcentaje de humedad se calculó mediante la fórmula: %H= (masa del agua/masa del material fresco) x100. Los resultados obtenidos se utilizaron para mantener la humedad de los tratamientos dentro del ámbito 40-65% el cual es considerado como óptimo (Rynk 1992, Guerrero 2005, Tognetti *et al.* 2005).

El peso inicial de los materiales disponibles en las hileras fue calculado a partir de la relación peso-volumen, donde cada metro cúbico de material inicial fresco representa aproximadamente una tonelada de peso. El peso final se calculó con muestras de 1 L, a las cuales se les midió el peso respectivo con una balanza y posteriormente fueron promediadas. Por su parte el peso seco de los materiales disponibles en las hileras se estimó sustrayendo el porcentaje de humedad del peso total calculado para cada tratamiento.

Luego de una etapa final de curado y secado, cuando los tratamientos se consideraron como abono terminado, con % de humedad en el ámbito 30-44% y luego del último volteo del material, se procedió a cernir los abonos resultantes. Inicialmente se tomó un volumen conocido representativo por tratamiento (1,7 m³ que corresponde con el volumen de la pala del tractor cargador empleado), para pasarlo a través de una zaranda gruesa, con aberturas cuadradas de 12,25 cm². Posteriormente, el cernido más fino obtenido con la zaranda gruesa fue tamizado nuevamente con una zaranda con aberturas de 5,25 cm² de área de celda.

Para los materiales más finos obtenidos en estos cernidos se registraron los volúmenes y las cantidades de sacos resultantes con sus pesos. El peso inicial para los volúmenes pasados por la zaranda gruesa (1,7 m³) fue calculado a partir de la relación peso-volumen, para lo cual se tomaron muestras de menor volumen (1 L) a las cuales se les determinó el peso respectivo con una balanza y posteriormente fueron promediadas.

Por su parte el peso seco final de los materiales cernidos se estimó sustrayendo el porcentaje de humedad del peso total calculado respectivamente para cada tratamiento.

Análisis estadístico. Para comparar las propiedades químicas, microbiológicas, de estabilidad y madurez de los abonos orgánicos obtenidos con los tratamientos evaluados, así como los resultados de los análisis del testigo comercial, se empleó un método multicriterio, para resumir el resultado de todas las variables estudiadas en un solo valor representativo (Gerez y Grijalva 1976, Azorin y Cuadras 1990, Cayuela 2010, Garbanzo y Navarro 2015).

En total se evaluaron 17 variables químicas, 7 microbiológicas, 2 de inocuidad y 13 de madurez, para un total de 39 variables. Con el método multicriterio utilizado se trasladan todas las variables referidas a calificaciones según la fórmula desarrollada a partir del sistema de toma de decisiones descrito por Gerez y Grijalva (1976), en la forma de una ecuación multicriterio: $I.P. = ((\sum V_i * X_j * Y_t) / \text{Max.}) * 100$. Donde: I.P. = Índice ponderado de todas las variables; V_i = Valor asignado a la variable (ponderación); X_j = Calificación dentro de la variable (valor de posición); Y_t = Calificación del capítulo al cual pertenece la variable; Max. = Es la máxima calificación que puede obtener un registro. Los valores V_i , X_j y Y_t fueron asignados subjetivamente con base en la importancia relativa de cada una de las variables evaluadas en relación con la calidad del compost, con un marco de referencia fundamentado en revisiones de literatura.

A cada una de las variables se le asignó un valor de ponderación (V_i) de 1 a 5, de acuerdo con la importancia que cada variable tuviera en el contexto del ensayo según el marco de referencia utilizado, se consideró 5 como el valor de mayor importancia. Para cada una de las variables se asignaron además valores de posición (X_j) relacionados con el recorrido entre valores mínimo y máximo (dividido en 3 intervalos) dados para cada variable y de acuerdo con los resultados obtenidos. A su vez las variables fueron agrupadas en 4 capítulos (variables químicas,

microbiológicas, de inocuidad y madurez) según su naturaleza y se asignó un valor de ponderación adicional para cada uno de los capítulos (Yt). Se calculó entonces un índice ponderado (I.P.) para cada muestra y posteriormente se obtuvo un I.P. promedio para cada uno de los tratamientos, los cuales permitieron la comparación entre tratamientos, a manera de comparación de porcentajes.

Con los datos de los I.P. se estimó un error proveniente de diferencias entre réplicas, el cual permitió establecer una calificación para los diferentes tratamientos con fines ilustrativos. Con las réplicas se estimó una desviación estándar que admitió el establecimiento de intervalos de confianza cuyos traslapes se emplearon para asignar calificaciones en forma de letra, con homologación del análisis de la diferencia mínima significativa (dms).

Algunas variables que presentaron comportamientos destacables se aislaron de su aporte al modelo multicriterio y se evaluaron con recursos gráficos por medio de comparaciones directas de promedios para fines ilustrativos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron aspectos técnicos deficientes en el proceso comercial relacionados con: altura excesiva de las hileras de compostaje (más de 2 m); ausencia de manejo para propiciar una humedad adecuada y constante; una frecuencia reducida y arbitraria de los volteos; falta de regulación de la temperatura; y empleo de relaciones C/N inadecuadas para iniciar procesos de compostaje. Para realizar el ensayo planteado se propuso, según el marco de referencia teórico, utilizar una altura de 1,20 cm, se tomó en cuenta la altura indicada en la literatura, así como las posibilidades instrumentales de la fabricación comercial, además se mantuvo un manejo de la humedad durante el proceso dentro del ámbito 40-65% y se llevó un programa de volteos frecuentes para propiciar tanto oxigenación como regulación de la temperatura, y como indicador del volteo, una T de 60°C (Baltodano 2002,

Okumoto 2003, Soto y Meléndez 2003, Tognetti *et al.* 2005, Garro 2016). En cuanto a la relación C/N, los materiales utilizados por la empresa, principalmente broza de café, no permitieron ajustar esta relación a una considerada como óptima, de manera tal fue necesario iniciar el proceso de compostaje a partir de un sustrato básico con una relación de 16,1, muy similar al utilizado comercialmente de 15,6.

Evaluación de la calidad del abono orgánico elaborado. Todas las variables químicas evaluadas (Tabla 1) fueron comparadas entre los tratamientos y el testigo comercial con el análisis multicriterio, se destacan aquí algunas por considerarlas relevantes.

Tabla 1. Valores de estabilidad obtenidos al final del proceso de compostaje correspondiente para cada tratamiento.

| Tratamiento | Valor promedio de Estabilidad (mg C-CO ₂ .gSVd ⁻¹) | Clasificación |
|-------------------|---|---------------|
| Testigo comercial | 2,9 | Estable |
| Testigo absoluto | 0,3 | Muy Estable |
| Bacilos | 1,0 | Muy Estable |
| Agrecicla | 1,1 | Muy Estable |
| Degradabiol | 2,7 | Estable |

Respecto al C (Figuras 1 y 2) el testigo comercial fue el tratamiento que evidenció la mayor merma con 61,64%, sin embargo, todos los tratamientos mostraron mermas en sus contenidos de carbono mayores al 50%. El testigo absoluto mostró el menor % de merma de los contenidos de C, con 51,91%, mientras los otros tratamientos se mantienen en una franja intermedia con valores muy similares de 54,80%, 55,20% y 54,77% respectivamente para los tratamientos Bacilos, Agrecicla y Degradabiol (Figura 2).

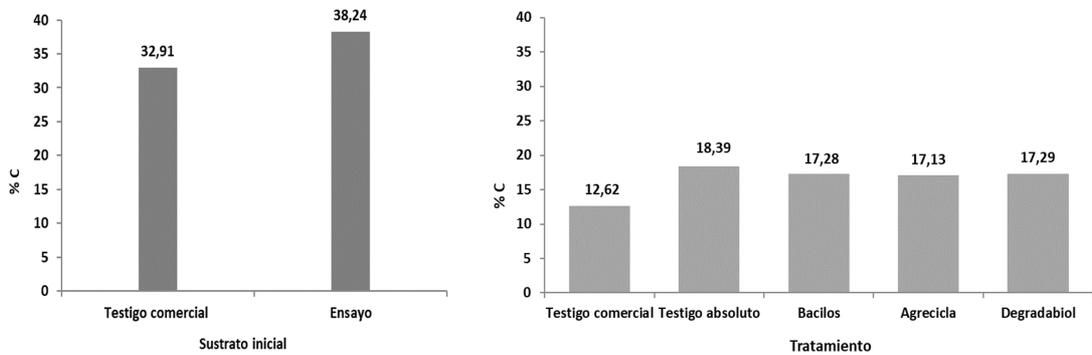


Figura 1. Contenido de carbono (%) reportado al inicio del respectivo proceso de compostaje (izquierda) y los reportados al final del proceso, por cada tratamiento (derecha).

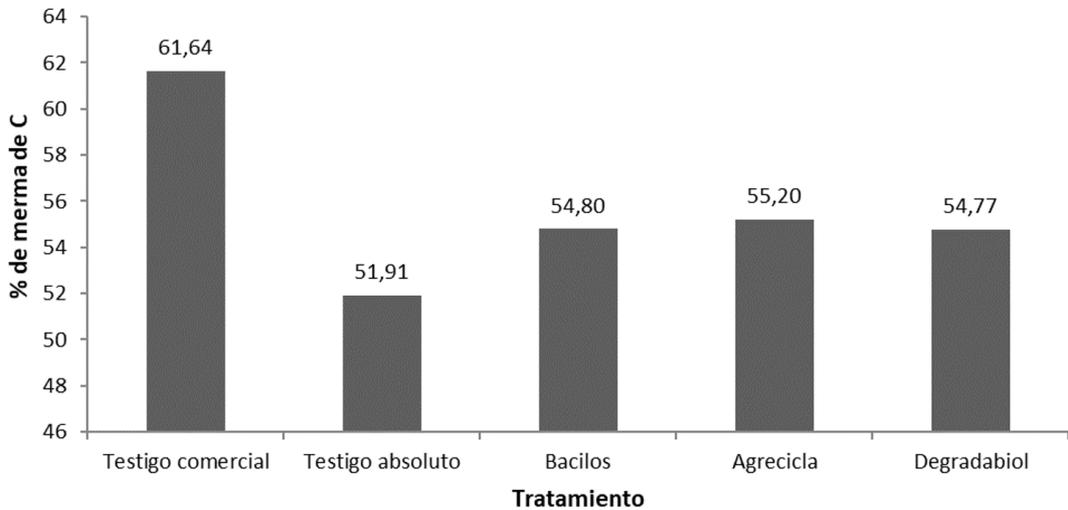


Figura 2. Porcentajes de merma de carbono reportados al final del proceso de compostaje correspondientes a cada tratamiento.

La mayor merma de C obtenida en el testigo comercial puede tener relación con la falta de adecuada oxigenación durante el proceso de compostaje, al no haber volteos lo suficientemente frecuentes y más bien propiciarse condiciones reductoras. En un ambiente anaeróbico, el C en

la forma de CO_2 , es usado como aceptor de electrones por microorganismos específicos (metanógenos), que liberaron CH_4 como subproducto, constituyéndose en una salida gaseosa de C, con efecto invernadero (FAO 2017).

Respecto al N (Figuras 3 y 4) se mantuvo la misma tendencia mostrada con el C, el testigo comercial presentó la mayor merma de nitrógeno (40,62%), los tratamientos Bacilos, Agrecicla y Degradabiol mostraron valores en una franja intermedia con valores 27,87%, 28,57% y 27,87%

respectivamente, mientras la menor merma de los contenidos de N se encontró en el testigo absoluto con 24,93% (Figura 4).

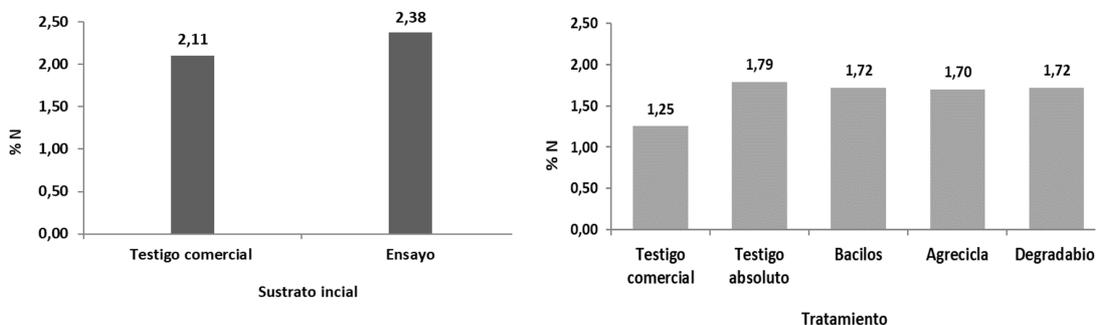


Figura 3. Concentración de nitrógeno (%) reportada al inicio del proceso de compostaje (izquierda) y al final del proceso, por cada tratamiento (derecha).

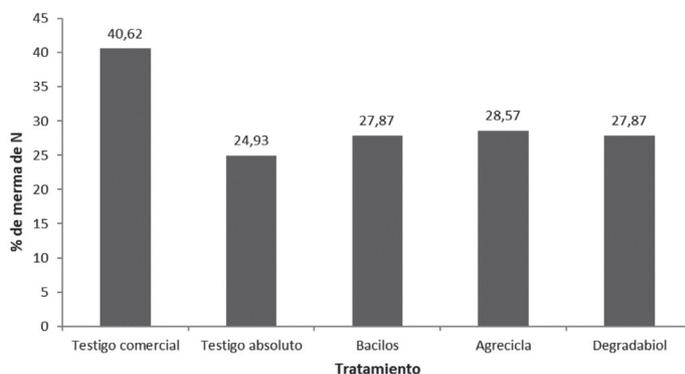


Figura 4. Porcentajes de merma de nitrógeno reportados al final del proceso de compostaje correspondientes a cada tratamiento.

Las mermas encontradas se pueden relacionar con la actividad oxidativa de los microorganismos que llevan a cabo transformaciones de sustancias mediante C, N y otros elementos (Soto 2003, Buscot y Varma 2005). En el compostaje hay liberación de gases como CO_2 y NH_3 , así

como compuestos relacionados. Estas salidas, aunque ocurren naturalmente durante el proceso de compostaje, son más significativas cuando no existe el volteo frecuente para propiciar oxigenación, mejorar la distribución de humedad y la regulación de T en las hileras (Soto y Meléndez

2003, Meléndez 2003, Soto 2003, Baltodano 2002, Rynk 1992). En este caso en el manejo del testigo comercial no se realizaron suficientes volteos, ni tampoco hubo otras formas de oxigenación ni de regulación de la humedad.

Por su parte las relaciones C:N finales evaluadas para los abonos de todos los tratamientos y el testigo comercial promediaron 10:1 en todos los casos (Testigo comercial 10,1:1; Testigo absoluto 10,3:1; Bacilos 10,1:1; Agrecicla 10,0:1; Degradabiol 10,1:1). Cabe destacar que ningún tratamiento presentó diferencia significativa en la relación C:N final.

Según Garro (2016) la relación C:N óptima para el producto final de un proceso de compostaje está entre 10-15:1, debido a su aporte energético. Lal (2016) hace referencia a que una relación C:N en el caso de un abono terminado, cercana a 15:1, muestra mayor beneficio, ya que aporta más contenido energético para la actividad de los microorganismos. Las bajas relaciones C:N obtenidas se deben en parte a la también baja relación C:N con la cual se iniciaron los respectivos tratamientos (16,1:1), no obstante, la relación C:N óptima para iniciar un proceso de compostaje se encuentra

entre 20:1 y 40:1 (Rynk 1992); es sabido que relaciones C:N muy bajas conllevan a pérdidas de N debido a la falta de estructuras de C que puedan retenerlo (FAO 2017, Soto 2003, Baltodano 2002, Santos *et al.* 2017).

Al final del proceso de compostaje los tratamientos con mayores contenidos de fósforo (P) fueron los adicionados con inóculos microbianos: Degradabiol, Bacilos y Agrecicla, correspondientes a 0,46; 0,41 y 0,40 de % masa (Figura 5). Por su parte, el testigo absoluto y el comercial mostraron comparativamente menores contenidos finales de P (0,33 y 0,39 de % masa respectivamente), los cuales son además muy similares a los contenidos iniciales de fósforo en estos tratamientos (Figuras 5). Aunque la incertidumbre del análisis no permite establecer diferencias más concluyentes, la tendencia de aumento en las concentraciones de fósforo en los tratamientos con adición de inóculo sugiere que la actividad de los microorganismos adicionados pudo incrementar la concentración final de este elemento, al modificar los sustratos mediante complejos procesos de descomposición como los señalados por Buscot y Varma (2005).

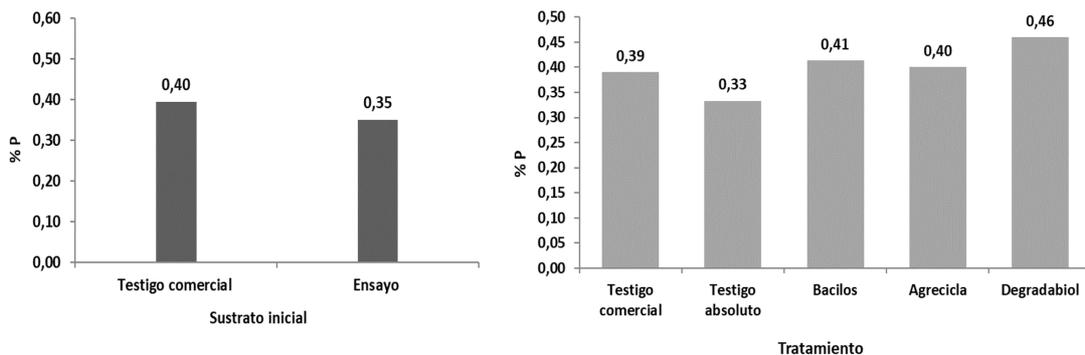


Figura 5. Concentración de fósforo reportado al inicio del respectivo proceso de compostaje (izquierda) y los reportados al final del proceso, por cada tratamiento (derecha).

Adicionalmente, en todos los casos se presentó aumento en la suma de bases (calcio, magnesio y potasio) al comparar los valores iniciales con los finales del proceso de compostaje, tanto para el testigo comercial como para los tratamientos evaluados (Figuras 6 y 7); no obstante, en el testigo comercial y el testigo absoluto se reportan menores aumentos en sus contenidos de sumas de bases en comparación con los tratamientos con inóculos microbianos.

El testigo comercial y el testigo absoluto presentan los menores contenidos de suma de bases (Ca, Mg y K) al final del proceso de compostaje con 3,80 y 3,91 de % masa respectivamente, mientras que el tratamiento Agrecicla muestra el mayor contenido de suma de bases con 5,07% masa. El tratamiento Bacilos aparece en segundo lugar con sumas de bases 4,87 y Degradabiol presenta 4,31% masa en la suma final de bases (Figuras 7).

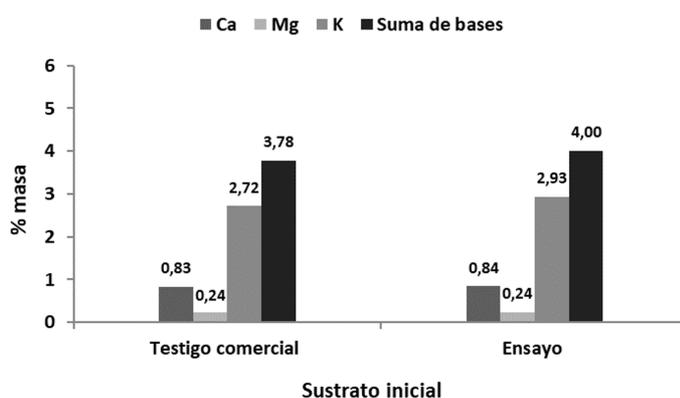


Figura 6. Contenidos de calcio, magnesio, potasio y de suma de bases reportados al inicio del respectivo proceso de compostaje.

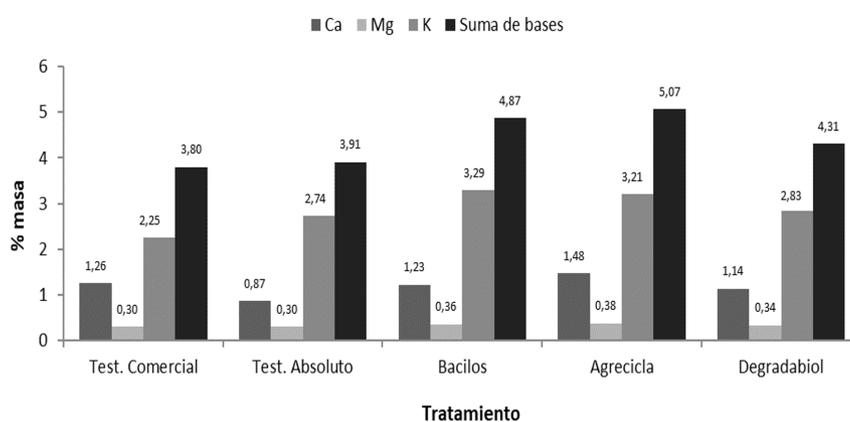


Figura 7. Contenidos de calcio, magnesio, potasio y de suma de bases reportados al final del proceso de compostaje correspondiente a cada tratamiento.

En general, los aumentos observados en las concentraciones de bases tienen relación con las condiciones de descomposición del material orgánico (Meléndez 2003, Muñoz 2003, Castro *et al.* 2009). En los tratamientos con adición de inóculo se presentaron mayores concentraciones finales de sumas de bases, lo cual sugiere un cambio en la composición relativa de los sustratos originales y la síntesis de nuevos compuestos como producto de los procesos de descomposición y síntesis del material (Buscot y Varma 2005, Santos *et al.* 2017).

Las concentraciones de elementos menores como (Cu, Mn, Fe, Zn y B), al final de proceso de compostaje, tanto para el testigo comercial como en los tratamientos evaluados, mostraron valores considerados altos para abonos orgánicos. Ansorena (2011) y Torres *et al.* (2016a) refieren para abonos orgánicos sólidos las concentraciones consideradas óptimas dentro de los ámbitos 1-4 mg.L⁻¹, 2-30 mg.L⁻¹, 10-40 mg.L⁻¹, y 1-10 mg.L⁻¹, respectivamente para los microelementos cobre, manganeso, hierro y zinc. Se hace además referencia a que concentraciones de microelementos muy por encima de ámbitos considerados óptimos pueden provocar toxicidades para el crecimiento de plantas al momento de aplicar tales abonos a suelos agrícolas (Michaud *et al.* 2008, Ansorena 2011, Binner y Schenk 2013, Hernández *et al.* 2013, Garro 2016, Torres *et al.* 2016a). En la presente investigación los valores encontrados en mg.kg⁻¹ para

Cu estuvieron entre los 90 y 154, para Mn entre 796 y 1320, para Fe entre 33399 y 51415 y para Zn entre 84 y 134.

Por su parte, los valores promedio de CE obtenidos en los tratamientos son mayores a 8 mS.cm⁻¹ (con excepción del testigo absoluto que mostró un promedio de 4 mS.cm⁻¹). Barral *et al.* (2014) y Torres *et al.* (2016b) refieren que valores de CE mayores a 2 mS.cm⁻¹ pueden indicar salinidad en abonos orgánicos. En adición para todos los abonos finales, los promedios de pH medidos (en agua) fueron básicos con valores en el ámbito 9-10.

Respecto a los análisis microbiológicos en todos los tratamientos se detectaron poblaciones de actinomicetes, bacterias y hongos, así como los grupos funcionales fijadores de nitrógeno (FN) y solubilizadores de fósforo (SP). El tratamiento con el inóculo Bacilos presentó la menor cantidad de actinomicetos con un promedio de 6,6 (Log10) UFC.g⁻¹ (Figura 8). Por su parte el tratamiento Degradabiol muestra la mayor cantidad de hongos totales con un promedio de 5,7 (Log10) UFC.g⁻¹. En general se observa que los tratamientos con adición de inóculo microbiano presentan mayores poblaciones de hongos totales, en comparación con el testigo absoluto y el testigo comercial (Figura 8). Es importante mencionar que los hongos presentan un papel destacado en los procesos de humificación (Tortosa *et al.* 2020).

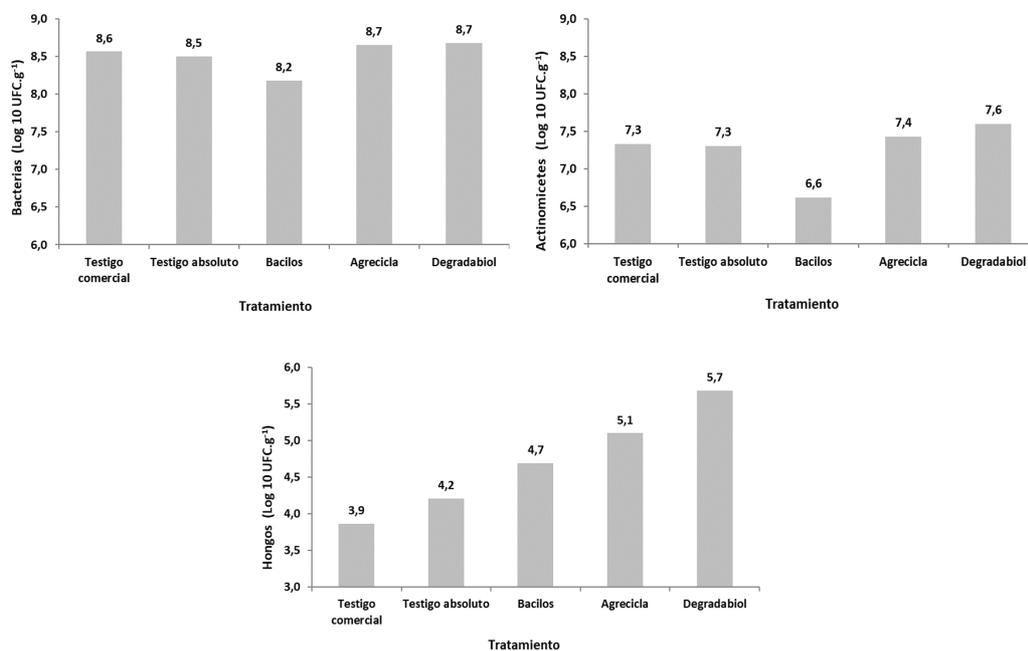


Figura 8. Poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos reportadas al final del proceso de compostaje correspondiente a cada tratamiento.

Todos los tratamientos evaluados mostraron poblaciones de microorganismos FN similares en un ámbito 8,2 – 8,7 (Log₁₀) UFC.g⁻¹ (Figura 9). Con respecto a los SP, el testigo comercial y el testigo absoluto presentaron los valores menores con 3,8 y 4,7 (Log₁₀) UFC.g⁻¹ respectivamente. Las mayores poblaciones de SP se encontraron

en los tratamientos adicionados con los inóculos Bacilos, Agrecicla y Degradabiol con promedios de 5,4; 5,3 y 5,2 (Log₁₀) UFC.g⁻¹ respectivamente (Figura 9), este comportamiento coincide con el observado al determinar las concentraciones de P en los diferentes tratamientos (Figura 5).

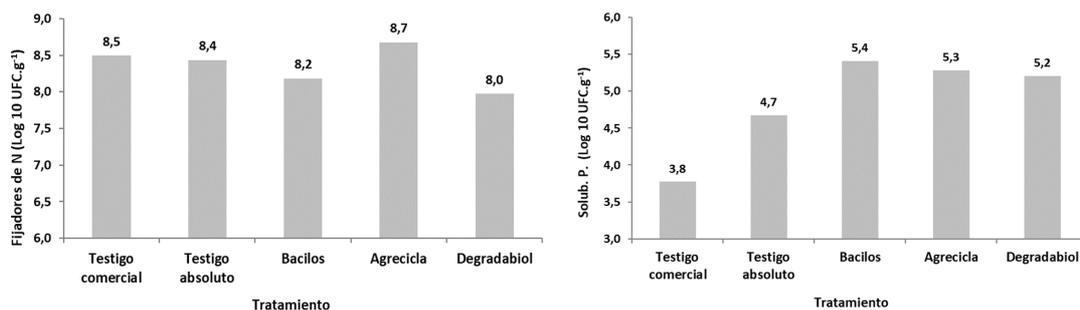


Figura 9. Poblaciones de microorganismos fijadores de N (izquierda) y solubilizadores de P (derecha) reportadas al final del proceso de compostaje correspondiente a cada tratamiento.

Los tratamientos Agrecicla, Bacilos y el testigo absoluto resultaron muy estables con tasas de respiración menores a 2,0 mg C-CO₂.gSVd⁻¹, mientras que el tratamiento degradabiol y el testigo comercial se clasificaron como estables (Tabla 1) con valores promedio 2,7 y 2,9 mg CO₂.g⁻¹ SV t en su tasa de respiración (Thompson y Leege 1998). Al considerar las tasas de respiración para los abonos con clasificación de estables (Degradabiol y testigo comercial) se considera que en estos hay mayor actividad de microorganismos si se comparan con los considerados muy estables (Sánchez *et al.* 2019). En cualquier caso, es recomendable ajustar la estabilidad y/o madurez de los abonos orgánicos a las necesidades específicas, según se trate de suelos antes de la siembra, semilleros, cultivos en etapas iniciales o más avanzadas de desarrollo, entre otras condiciones.

Por otra parte, los porcentajes de germinación más altos en general se obtuvieron para las mezclas 25% abono:75% suelo (25:75) y 50% abono:50% suelo (50:50), con valores por encima

de 90% tanto para el testigo comercial como para los demás tratamientos evaluados en tales mezclas (Figura 10). Los inferiores porcentajes de germinación en la mezcla 75:25 en comparación con los resultados de las mezclas 25:75 y 50:50, así como los más bajos o nulos porcentajes de germinación en la mezcla 100:0, se pueden relacionar con la presencia en los abonos de sustancias en concentraciones fitotóxicas o inhibitorias de la germinación (Soto y Meléndez 2003, Uribe 2003, Sánchez *et al.* 2019), también con los altos contenidos de elementos menores (Fe, Cu, Zn, Mn y B) que pueden dar toxicidad para la germinación de plantas (Michaud *et al.* 2008, Binner y Schenk 2013, Hernández *et al.* 2013, Garro 2016, Torres *et al.* 2016a) y además con los valores promedio de conductividad eléctrica (CE) mayores a 8 mS.cm⁻¹ obtenidos en los tratamientos (con excepción del testigo absoluto que mostró un promedio de 4 mS.cm⁻¹) los cuales pueden asociarse con salinidad del abono (Barral *et al.* 2014, Torres *et al.* 2016b).

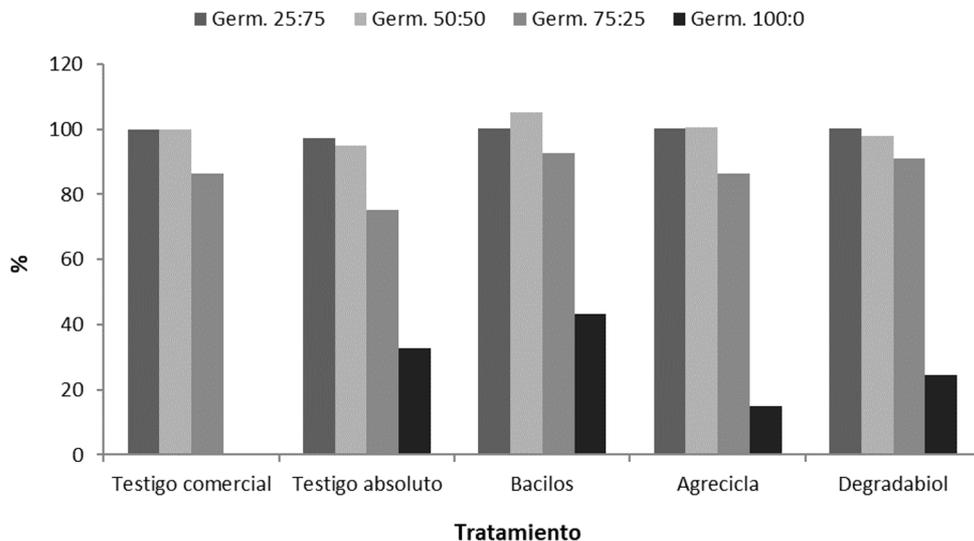


Figura 10. Porcentajes de germinación obtenidos para los abonos compost resultantes de cada tratamiento, respectivamente en mezclas 25% abono:75% suelo (25:75), 50% abono:50% suelo (50:50), 75% abono:25% suelo (75:25) y 100% abono:0% suelo (100:0).

Análisis físicos complementarios. Temperatura. Durante 22 semanas se hicieron mediciones periódicas de temperatura en las hileras de compostaje de los tratamientos respectivos. La temperatura mostró un comportamiento descendente en todos los tratamientos (Figura 11). Durante la semana inicial del ensayo los tratamientos arrancaron con temperaturas en el rango 48-60°C propias de una etapa termofílica; las elevadas temperaturas de inicio se deben a que las materias primas que llegan a la empresa ya

llevan varios días de almacenamiento y traslados, de forma que en general han iniciado la etapa termofílica. En las semanas consecutivas se observa una tendencia de progresiva disminución en la temperatura; así a partir de la semana 15 todos los tratamientos mostraron temperaturas por debajo 40°C, mientras que para las semanas 21 y 22 se observaron temperaturas por debajo de 30°C, las cuales se relacionaron con una mayor estabilidad o madurez de los materiales.

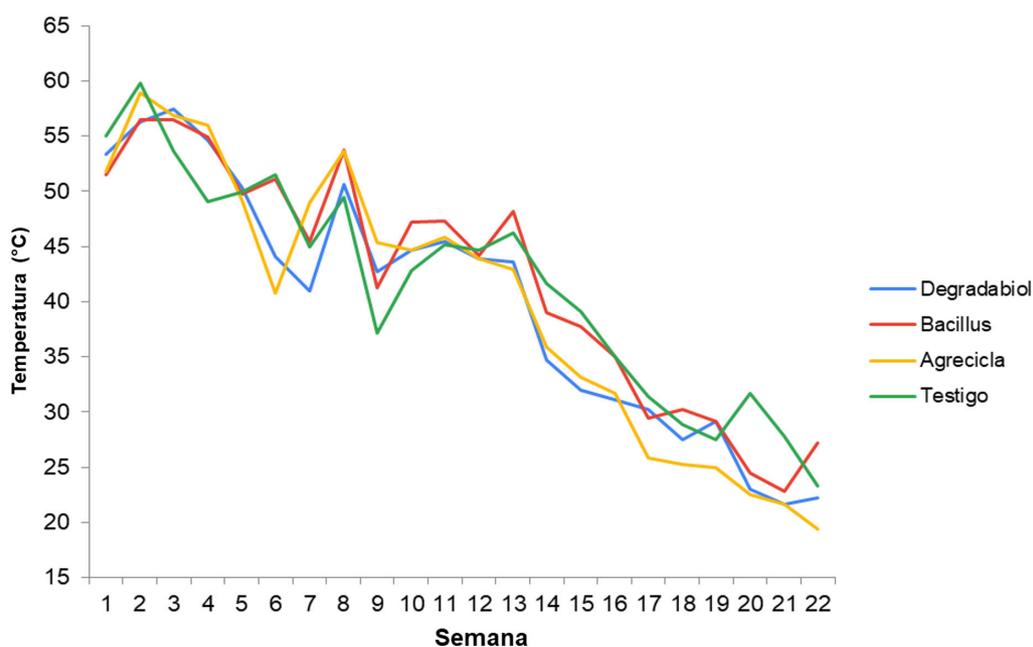


Figura 11. Comportamiento de la temperatura en hileras de compostaje durante 22 semanas de procesamiento.

Cambios de volumen y peso seco. En el periodo en el que los tratamientos permanecieron en campo abierto (16 semanas), en general hubo una reducción en el volumen de las hileras de aproximadamente 65-70% en todos los tratamientos (Figura 12). Todos los tratamientos mostraron pérdidas de peso seco mayores a 33% (Figura 13). El tratamiento Degradabiol presentó el mayor cambio con una pérdida de 50% en

su peso seco, mientras que el testigo absoluto mostró la menor pérdida con 34% de disminución de peso seco (Figuras 12). Cabe destacar que en los tratamientos con adición de inóculo (Degradabiol, Agrecicla y Bacilos) hubo una mayor disminución de peso seco en comparación con el testigo absoluto, posiblemente en relación con una mayor actividad microbiana. Además, la merma en el volumen y peso seco de

las hileras de compostaje está relacionada con los cambios de humedad, así como con las disminuciones de carbono y nitrógeno, entre otros

procesos complejos que toman lugar durante el compostaje (Soto 2003, Soto y Meléndez 2003, Buscot y Varma 2005).

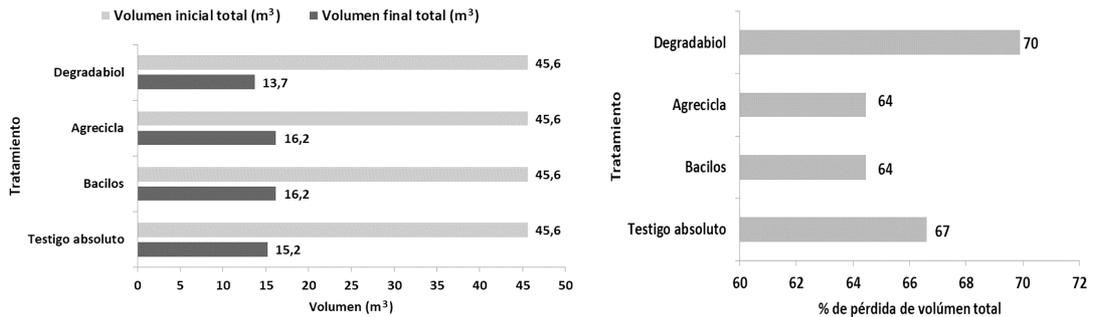


Figura 12. Cambios de volumen en los tratamientos de compostaje (izquierda) y % de pérdida de volumen (derecha) al cabo de 16 semanas del proceso de compostaje a campo abierto.

Rendimiento en el cernido. Un compost con un tamaño de partícula más fino tiene mayor posibilidad de comercializarse con mejores precios, pues además de ser útil como abono o mejorador de suelos, puede también utilizarse como parte de la mezcla en sustratos para preparación de almácigos o de plantas ornamentales y zonas verdes (Soto y Meléndez 2003). Por este motivo el cribado del compost es una práctica comercial común. El tratamiento Degradabiol (Tabla 2)

presentó mayor cantidad de material fino, con un 65% del peso seco de la muestra inicial en la zaranda gruesa y en el segundo caso con un 43% del peso seco de la muestra inicial, en la zaranda fina. La granulometría obtenida en los materiales está relacionada con la actividad biológica; en aquellos materiales con menores tamaños de partículas se asume una mayor actividad y por tanto una mayor participación de las partículas iniciales del sustrato.

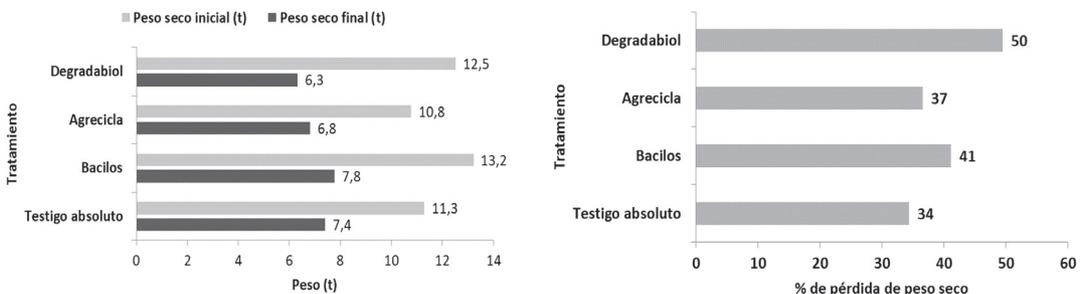


Figura 13. Cambios en el peso seco de los tratamientos de compostaje (izquierda) y % de disminución del peso seco (derecha) al cabo de 16 semanas de proceso de compostaje a campo abierto.

Tabla 2. Pesos obtenidos con el cernido de abonos compost a través de 2 tipos de zarandas.

| | Testigo ensayo | Bacilos | Agrecicla | Degradabiol | |
|--|---|---------|-----------|-------------|---------|
| Muestra inicial | Volumen inicial (m ³) | 1,70 | 1,70 | 1,70 | |
| | Peso inicial total (kg) | 949,17 | 1055,42 | 1027,08 | 1048,33 |
| | % Humedad | 44,00 | 39,00 | 30,00 | 33,00 |
| | Peso seco inicial (kg) | 531,53 | 643,80 | 718,96 | 702,38 |
| Zaranda gruesa (12,25 cm ²) | Peso seco total cernido en zaranda 12,25 cm ² (kg) | 531,53 | 643,80 | 718,96 | 702,38 |
| | Peso seco de cernido fino(kg) | 269,85 | 248,25 | 400,20 | 455,11 |
| | % Cernido fino de muestra inicial | 50,77 | 38,56 | 55,66 | 64,79 |
| | Peso seco de cernido grueso (kg) | 261,68 | 395,56 | 318,76 | 247,28 |
| | % Cernido grueso de muestra inicial | 49,23 | 61,44 | 44,34 | 35,21 |
| Zaranda fina (5,25 cm ²) | Peso seco total cernido en zaranda 5,25 cm ² (kg) | 269,85 | 248,25 | 400,20 | 455,11 |
| | Peso seco de cernido fino(kg) | 165,97 | 103,26 | 231,22 | 305,02 |
| | % Cernido fino de muestra inicial | 31,22 | 16,04 | 32,16 | 43,43 |
| | Peso seco de cernido grueso (kg) | 103,88 | 144,99 | 168,98 | 150,08 |
| | % Cernido grueso de muestra inicial | 19,54 | 22,52 | 23,50 | 21,37 |

Análisis multicriterio. Las 39 variables evaluadas referidas fueron comparadas entre los tratamientos evaluados y el testigo comercial con un análisis multicriterio, los valores de ponderación V_i y Y_t asociados y valores de posición X_j se muestran en las Tablas 3 y 4. El análisis multicriterio permitió resumir el comportamiento

de cada tratamiento en un valor o calificación de tipo porcentaje (índice ponderado). En este caso, los porcentajes más altos representan los tratamientos que tienen el mejor conjunto de características de calidad según los resultados obtenidos (Figura 14).

Tabla 3. Total de variables agrupadas en sus correspondientes capítulos, con sus valores de ponderación V_i y Y_t asociados, las cuales se evaluaron con un análisis multicriterio para muestras de compost.

| Capítulo variables químicas ($Y_t=10$) | V_i | Capítulo variables microbiológicas ($Y_t=10$) | V_i | Capítulo variables de madurez ($Y_t=10$) | V_i |
|---|-------|---|-------|--|-------|
| Nitrógeno (% masa) | 5 | Solubilizadores de fósforo (UFC.g ⁻¹) | 5 | Estabilidad (mg C-CO ₂ .gSV ⁻¹) | 4 |
| Fósforo (% masa) | 5 | Fijadores de nitrógeno (UFC.g ⁻¹) | 5 | Germinación en mezcla 25:75 (%) | 3 |
| Calcio (% masa) | 4 | Actinomicetes (UFC.g ⁻¹) | 4 | Germinación en mezcla 50:50 (%) | 3 |
| Magnesio (% masa) | 4 | Bacterias (UFC.ml ⁻¹) | 4 | Germinación en mezcla 75:25 (%) | 3 |
| Potasio (% masa) | 4 | Hongos (UFC.g ⁻¹) | 4 | Germinación en mezcla 100:0 (%) | 3 |
| Suma de bases (% masa) | 4 | Levaduras (UFC.g ⁻¹) | 3 | Longitud aérea en mezcla 25:75 (cm) | 3 |
| Azufre (% masa) | 3 | Lactobacilos (UFC.ml ⁻¹) | 3 | Longitud aérea en mezcla 50:50 (cm) | 3 |
| Hierro (mg.kg ⁻¹) | 3 | | | Longitud aérea en mezcla (cm) | 3 |
| Cobre (mg.kg ⁻¹) | 3 | | | Longitud aérea en mezcla 100:0 (cm) | 3 |
| Zinc (mg.kg ⁻¹) | 3 | | | Longitud radícula en mezcla 25:75 (cm) | 3 |
| Manganeso (mg.kg ⁻¹) | 3 | Capítulo variables de inocuidad ($Y_t=6$) | V_i | Longitud radícula en mezcla 50:50 (cm) | 3 |
| Boro (mg.kg ⁻¹) | 3 | | | Longitud radícula en mezcla 75:25 (cm) | 3 |
| Humedad (%) | 1 | <i>Escherichia coli</i> (UFC.g ⁻¹) | 4 | Longitud radícula en mezcla 100:0 (cm) | 3 |
| pH (en agua) | 2 | <i>Salmonella</i> (NMP) | 4 | | |
| Conductividad eléctrica (mS.cm ⁻¹) | 3 | | | | |
| Contenido de carbono (%) | 5 | | | | |
| Relación carbono:nitrógeno | 3 | | | | |

Los más altos contenidos de bases, así como de N, P, S, se asociaron con calificaciones más altas dentro del capítulo de variables químicas. En el caso de los elementos menores (Fe, Cu, Zn, Mn y B), estos en general se encontraron en concentraciones consideradas altas y pueden relacionarse con posibles problemas de toxicidad para el desarrollo de las plantas (Michaud *et al.* 2008, Ansorena 2011, Binner y Schenk 2013, Hernández *et al.* 2013, Garro 2016, Torres *et al.* 2016a). En consecuencia, dentro del análisis multicriterio se optó por asignar calificaciones más altas a los abonos que presentaron menores contenidos de elementos menores. Garro (2016) incluso recomienda evitar aplicar abonos orgánicos con contenidos altos de elementos menores, o al menos reducir las cantidades aplicadas,

con la intención de prevenir toxicidades. Los tratamientos con mayores contenidos de los referidos elementos menores tienen entonces menor puntaje dentro de la ponderación del análisis multicriterio.

De manera similar, los menores valores promedio de CE obtenidos en los tratamientos se asociaron a mejores puntajes, en vista que los valores por encima de 2 mS.cm⁻¹ se pueden relacionar con salinidad del abono (Barral *et al.* 2014, Torres *et al.* 2016b). En el caso del pH debido a que en todos los casos se obtuvieron valores de pH básicos, se asignaron calificaciones más altas a los tratamientos que presentaron valores de pH más cercanos a la neutralidad.

Dentro del capítulo de variables microbiológicas, las mayores poblaciones de

microorganismos (hongos, levaduras, actinomicetes, bacterias, lactobacilos, FN y SP) se asociaron con mayores calificaciones dentro del análisis. De forma inversa y bajo el criterio de

inocuidad, la ausencia de *Salmonella* y *Escherichia coli*, o los más bajos contenidos de estos, se relacionaron con mejores calificaciones en el análisis.

Tabla 4. Total de variables con sus valores de posición X_j asociados según la ubicación dentro del intervalo de valores mínimo y máximo por cada variable, las cuales se evaluaron con un análisis multicriterio para muestras de compost.

| Variable | Valor X_j intervalo menor | Valor X_j intervalo medio | Valor X_j intervalo mayor |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| N, P, Ca, Mg, K, S, suma de bases (% masa) | 3 | 4 | 5 |
| Hierro, Co, Zn Mg, B (mg.kg ⁻¹) | 5 | 4 | 3 |
| Humedad (%) | 4 | 5 | 3 |
| pH (en agua) | 5 | 4 | 3 |
| Conductividad eléctrica (mS/cm) | 5 | 4 | 3 |
| Contenido de carbono (%) | 3 | 4 | 5 |
| Relación carbono:nitrógeno | 3 | 4 | 5 |
| Solubilizadores de fósforo; Fijadores de nitrógeno Actinomicetes, Bacterias, Hongos, Levaduras Lactobacilos (UFC.g ⁻¹) | 3 | 4 | 5 |
| <i>Escherichia coli</i> (UFC.g ⁻¹); <i>Salmonella</i> (NMP) | 5 | 4 | 3 |
| Estabilidad (mg C-CO ₂ .gSVd ⁻¹) | 3 | 4 | 5 |
| Germinación en mezcla 25:75, 50:50, 75:25, 100:0 (%) | 3 | 4 | 5 |
| Longitud aérea en mezcla 25:75, 50:50, 100:0 (cm) | 3 | 4 | 5 |
| Longitud radícula en mezcla 25:75, 50:50, 75:25, 100:0 (cm) | 3 | 4 | 5 |

En relación con la estabilidad de los abonos, se otorgaron calificaciones más altas a los valores resultantes de medición de la estabilidad en el ámbito 2-8 (mg C-CO₂.gSVd⁻¹) clasificados como estables (Thompson y Leege 1998), pues se considera que en este ámbito ocurre una mayor actividad de microorganismos en comparación con los clasificados como muy estables (Bonanomi *et al.* 2007, Sánchez *et al.* 2019). Aquellos con tasas de respiración por debajo de 2 mg C-CO₂.gSVd⁻¹ son clasificados como muy estables y en

ellos comparativamente se presenta menor actividad microbiológica, de forma que estos últimos se asociaron a menores calificaciones dentro del análisis multicriterio.

A su vez, al considerar las pruebas de germinación realizadas, los mayores porcentajes así como las mayores longitudes de radícula y parte aérea, se relacionaron consecuentemente con calificaciones más altas dentro del análisis multicriterio.

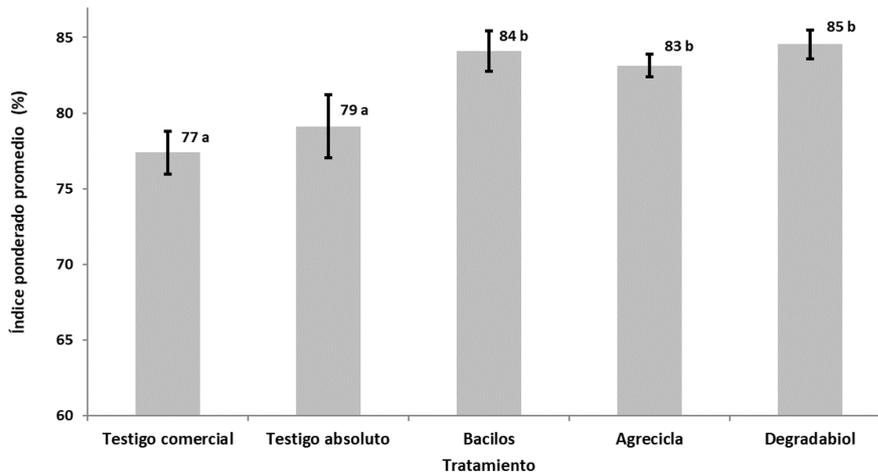


Figura 14. Resultados de análisis multicriterio para la comparación de 5 tratamientos para la elaboración de abonos tipo compost.

El análisis multicriterio permitió estimar 2 intervalos de confianza, designados con las letras a y b (Figura 14). El primer intervalo de confianza (a) incluye al testigo comercial y al testigo absoluto, los cuales obtienen las menores calificaciones de calidad con respectivamente 77% y 79%. Por otra parte, el segundo intervalo (b) abarca los tratamientos Degradabiol, Bacilos y Agrecicla, los cuales obtienen los mayores índices ponderados con 85%, 84% y 83% respectivamente. Estos últimos representan los abonos que muestran mejores características de calidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis multicriterio mostró que las adiciones de microorganismos, en conjunto con un manejo adecuado de los procesos de compostaje, con prácticas como controles de humedad, T y volteos frecuentes, con una altura de hileras de 120 cm, permiten obtener mejores características de calidad, en comparación con el testigo

absoluto y con el testigo comercial. El testigo comercial y el tratamiento bacilos fueron inoculados con el mismo inóculo microbiano, por lo que se puede concluir que la adición del inóculo sin un proceso optimizado de elaboración (testigo comercial) presenta menor beneficio en cuanto a la calidad en la producción del compost.

Se destaca la importancia de mejorar la relación C:N inicial en el proceso de compostaje, por medio de prácticas afines a este objetivo. Se recomienda evaluar la práctica de incorporación de pajas secas producidas en el sitio de operación, para impedir las pérdidas relacionadas con una inadecuada relación C/N. Santos *et al.* (2017) indican que este tipo de residuos puede equilibrar la relación C/N al aportar carbono extra, además de impedir la pérdida de N.

Un adecuado proceso de compostaje junto con la introducción de inóculos microbianos representa una opción para optimizar el manejo de residuos orgánicos y producir abonos orgánicos de calidad para el uso agrícola.

LITERATURA CITADA

- Abonos Vivos S.A. 2019. Manual de procedimientos. Código AV-OC-001, versión 4. 43 p.
- Acuña, O. 2015. Elaboración de abonos orgánicos en Costa Rica. Nota técnica No. 1. San José, Costa Rica, CIA. UCR. 7 p.
- Ansorena, J. 2011. El compost de bioresiduos en la legislación española. *Residuos* 21(122):66-71.
- Artavia, S; Uribe, L; Saborío, F; Arauz, L; Castro, L. 2010. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la supresión de *Pythium myriotylum* en plantas de tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium*). *Agronomía Costarricense* 34(1):17-29.
- Azim, K; Soudi, B; Boukhari, S; Perissol, C; Roussos, S; Thami Alami, I. 2018. Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*. 8:141-158.
- Azorin, F; Cuadras, C. 1990. Sobre la conveniencia de utilizar el término análisis multivalente. *Estadística Española* 32(124):451-454.
- Baldodano, P. 2002. Determinación de la calidad microbiológica del abono orgánico bocashi durante el proceso de fabricación y almacenamiento. Informe final de práctica dirigida de graduación de grado de licenciatura. San José, Costa Rica, Facultad de Microbiología, UCR. 45 p.
- Barral, M; Díaz, M; Devesa, R; Paradelo, R. 2014. Avances en la investigación sobre compost: materias primas, procesos, calidad y usos. Santiago de Compostela, España, Andavira. p. 365-374.
- Binner, I; Schenk, M. 2013. Manganese in substrate clays - harmful for plants? *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 176(5):809-817.
- Bonanomi, G; Antignani, V; Pane, C; Scala, F. 2007. Suppression of soil borne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology* 89(3):311-324.
- Buscot, F; Varma, A. 2005. Microorganisms in Soils: roles in genesis and functions. *Soil Biology*, vol. 3. Berlin, Germany, Springer. 444 p.
- Camacho, A; Martínez, L; Ramírez, H; Valenzuela, R; Valdés, M. 2014. Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Terra Latinoamericana*, 32(4):291-300.
- Castro, A; Henríquez, C; Bertsh, F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 33(1):31-43.
- Castro, L; Flores, L; Uribe, L. 2011. Efecto del vermicompost y quitina sobre el control de *Meloidogyne incognita* en tomate a nivel de invernadero. *Agronomía Costarricense* 35(2):21-32.
- Castro, L; Martínez, V; Castro, O; Blanco, M. 2020. Abono orgánico, microorganismos de montaña (MM) y fertilizante para el control biológico de la hernia de las crucíferas (*Plasmodiophora brassicae* wor.) en el cultivo de mostaza china (*Brassica rapa* sp. pekinensis var. Taranko F1). *Agronomía Costarricense* 44(2):31-49.
- Cayuela, L. 2010. Análisis multivariante. EcoLab. Centro Andaluz de Medio Ambiente, España, Universidad de Granada. p. 154-179.
- Durán, L; Henríquez, C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1):41-51.
- FAO. 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. 77 p.
- Garbanzo, J; Navarro, J. 2015. Análisis multicriterio de variables químicas, físicas y biológicas en 10 mezclas de sustratos hortícolas en Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes* 26(33):71-81.
- Garro, J. 2016. El suelo y los abonos orgánicos. San José, Costa Rica, INTA. 106 p.
- Gerez, V; Grijalva, M. 1976. El enfoque de sistemas. México, Limusa. 580 p.
- Guerrero, R. 2005. Vermicomposting gets high marks in the tropics. *BioCycle* 46(8):60.
- Henríquez, C; Cabalceta, G. 1999. Guía para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, Costa Rica, ACCS. 111 p.
- Hernández, O; Hernández, A; Rivera, C; Arras, A; Ojeda, D. 2013. Calidad nutricional de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana* 31(1):35-46.
- Hoitink, H; Stone, A; Han, D. 1997. Supresión de enfermedades de plantas mediante compost. *Agronomía Costarricense* 21(1):25-33.
- Lal, R. 2016. Soil health and carbon management. *Food and Energy Security* 5(4):212-222.
- Lehmann, J; Kleber, M. 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature* 528:60-68.
- Meléndez, G. 2003. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. Memorias, Taller de Abonos Orgánicos. San José, Costa Rica, CIA, UCR. 25 p.
- Michaud, A; Chappellaz, C; Hinsinger, P. 2008. Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum* durum L.). *Plant Soil* 310:151-165.
- Muñoz, Cl. 2003. Mineralización de nitrógeno y carbono de compost de residuos del beneficiado del café. Memorias, Taller de Abonos Orgánicos. San José, Costa Rica, CIA, UCR. 23 p.
- Okumoto, S. 2003. Uso de inoculante microbiano para la elaboración de abono orgánico. Memorias, Taller de Abonos Orgánicos. San José, Costa Rica, CIA, UCR. 10 p.
- PRESOL (Plan de residuos sólidos). 2007. Diagnóstico y áreas prioritarias. Programa Cyma Competitividad y Medio Ambiente. San José, Costa Rica. 224 p.

- Restrepo, J; Hensel, J. 2013. El A,B,C de la agricultura orgánica, fosfitos y panes de piedra. Santiago de Cali, Colombia, Feriva S.A. 396 p.
- Rynk, R. 1992. On farm composting handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. New York, USA, Cooperative Extension. 186 p.
- Salas, E; Ramírez, C. 2001. Bioensayo microbiano para estimar los nutrientes disponibles en los abonos orgánicos: calibración en el campo. *Agronomía Costarricense* 25(2):11-23.
- Sánchez, R; Hernández, O; Jiménez, J; Ojeda, D; Guerrero, V; Parra, R. 2019. Modelos de predicción del índice de madurez de abonos orgánicos producidos con tres procesos de transformación. *Tec. Econ. Agrar.* 115(3):198-212.
- Santos, C; Fonseca, J; Aires, A; Coutinho, J; Trindade, H. 2017. Effect of different rates of spent coffee grounds (SCG) on composting process, gaseous emissions, and quality of end-product. *Waste Management* 59:37-47.
- Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. Memorias, Taller de Abonos Orgánicos. San José, Costa Rica, CIA, UCR. 27 p.
- Soto, G; Meléndez, G. 2003. Compost: ¿Abono o enmienda? Cómo medir la calidad de un compost? Memorias, Taller de Abonos Orgánicos. San José, Costa Rica, CIA, UCR. 15 p.
- Thompson, W; Leege, P. 1998. Test methods for the examination of composting and compost. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29:1388-1389.
- Tognetti, C; Laos, F; Mazzarino, M; Hernández, M. 2005. Composting vs vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Science & Utilization* 13(1):6-13.
- Torres, D; Mendoza, B; Marco, L; Gómez, C. 2016a. Calidad de abonos orgánicos empleados en la depresión de Quíbor-Venezuela bajo ambientes protegidos. *CiencTecn UTEQ* 9(2):1-10.
- Torres, D; Mendoza, B; Merco, L; Gómez, C. 2016b. Riesgos de salinización y sodificación por el uso de abonos orgánicos en la depresión de Quíbor-Venezuela. *Multiciencias* 16(2):133-142.
- Tortosa, G; Torralbo, F; Maza-Márquez, P; Aranda, E; Calvo C; González-Murua, C; Bedmara, E. 2020. Assessment of the diversity and abundance of the total and active fungal population and its correlation with humification during two-phase olive mill waste (“alperujo”) composting. *Bioresource Technology* 295:122267.
- Uribe, L; Castro, L; Arauz, F; Henríquez, C; Blanco, M. 2014. Pudrición basal causada por *Phytophthora capsici* en plantas de Chile tratadas con vermicompost. *Agronomía Mesoamericana* 25(2):243-253.
- Uribe, L; Castro, L. 2008. Calidad biológica e inocuidad de abonos orgánicos. San José, Costa Rica, CONICIT-CIA. 3 p.
- Uribe, L. 2000. Indicadores microbiológicos para determinar la calidad de suelos. Mimeografiado. San José, Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. 17 p.
- Uribe, L. 2003. Inocuidad de abonos orgánicos. Memorias, Taller de abonos orgánicos. San José, Costa Rica, CIA-UCR. 16 p.
- Uribe, L. 2003a. Calidad microbiológica e inocuidad de abonos orgánicos. In ed. Meléndez, G. Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. San José, Costa Rica, CIA-UCR. p. 165-184.
- Vásquez, M; Bernard, M. 1988. Técnicas del análisis estadístico multivariado: objetivo y aplicación. *Revista Cubana Psicología* 5(1):65-73.

EFFECTO NUTRICIONAL FOLIAR DE SILICIO PARA EL CULTIVO DE BANANO (*Musa spp.*) EN ECUADOR

Jean Sanmartín-Galván^{1/*}, Andrea Cuenca-Moreno², Ángel Luna-Romero³,
Edison Jaramillo-Aguilar⁴, Diego Villaseñor-Ortiz⁵

Palabras clave: ácido monosilícico; cavendish; *Musa spp*; nutrición.

Keywords: monosilicic acid; cavendish; *Musa spp*; nutrition.

Recibido: 06/03/23

Aceptado: 19/05/23

RESUMEN

Introducción. El silicio en banano (*Musa spp.*) y su nivel crítico al ser aplicado de forma foliar es poco conocido. Por ello, en la presente investigación se propuso como hipótesis que la aplicación foliar de dosis frecuente de ácido monosilícico (SiOH_4) incrementa el contenido nutricional del silicio en el cultivo. **Objetivo.** Evaluar la respuesta del cultivo de banano a dosis crecientes de Si, para determinar el efecto nutricional foliar en las condiciones específicas de la provincia de El Oro. **Materiales y métodos.** Los ensayos fueron implementados en campo en un diseño experimental en bloques

completamente aleatorio, donde se aplicaron dosis crecientes de Si (0; 250; 500 y 750 cm^3 . ha^{-1}), para evaluar su efecto en el nivel de Si foliar, clorofila y raíces, a partir de análisis foliares y de raíces. Se realizaron análisis de regresión y se obtuvieron los respectivos modelos de relación entre las dosis de Si aplicadas con el nivel de Si foliar en banano y clorofila. **Resultados.** Se obtuvo que un modelo de regresión lineal (R^2 : 0,43) que podría ayudar a predecir el nivel crítico de Si foliar en banano. **Conclusiones.** Se encontró mediante la aplicación de una ecuación lineal que entre mayor sea la dosis de Si aplicada (750 cm^3) se lograra un mayor nivel de Si foliar (0,41%) en plantas de banano.

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: jsanmarti4@utmachala.edu.ec

1 Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Semillero Estudiantil de Investigación en Fitotecnia (SINFIT) - Campus Santa Inés, Machala, Ecuador.  0000-0002-1237-9527.

2 Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Semillero Estudiantil de Investigación en Fitotecnia (SINFIT) - Campus Santa Inés, Machala, Ecuador.  0000-0002-5271-692X.

3 Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Semillero Estudiantil de Investigación en Fitotecnia (SINFIT) - Campus Santa Inés, Machala, Ecuador.  0000-0002-4311-9445.

4 Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Semillero Estudiantil de Investigación en Fitotecnia (SINFIT) - Campus Santa Inés, Machala, Ecuador.  0000-0002-8241-9598.

5 Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Semillero Estudiantil de Investigación en Fitotecnia (SINFIT) - Campus Santa Inés, Machala, Ecuador.  0000-0001-5646-4451.

ABSTRACT

Foliar nutritional effect of silicon for banana (*Musa* spp.) Crop in Ecuador.

Introduction. Silicon in banana (*Musa* spp.) and its critical level when applied by foliar application is little known. For this reason, in the present investigation we proposed as a hypothesis that the foliar application of frequent doses of monosilicic acid (SiOH_4) increases the nutritional content of silicon in the crop. **Objective.** Evaluate the response of the banana crop to increasing doses of Si, to determine the foliar nutritional effect in the specific conditions of the province of El Oro. **Materials and methods.** The trials

were implemented in the field in a completely randomized experimental design in blocks, where increasing doses of Si were applied (0; 250; 500 and 750 $\text{cm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), to evaluate its effect on the level of foliar Si, chlorophyll and roots, from leaf and root analyses. Regression analyzes were carried out and the respective relationship models between the doses of Si applied with the level of foliar Si in banana and chlorophyll were obtained. **Results.** A linear regression (R^2 : 0.43) model was obtained that could help predict the critical level of foliar Si in banana. **Conclusions.** It was found through the application of a linear equation that the higher the dose of Si applied (750 cm^3) the higher the level of Si foliar (0.41%) in banana plants was achieved.

INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa* spp.) es un cultivo de gran valor económico y social en muchas partes del mundo, ya que no solo es una importante fuente de nutrientes y energía, sino que también contribuye a la sostenibilidad económica y social de algunas comunidades del mundo (Petsakos *et al.* 2019). El comercio del banano es una fuente significativa de ingresos para la economía ecuatoriana y es una importante fuente de empleo en el país. El sector bananero emplea a unas 200 000 personas de manera directa y a más de un millón de personas de manera indirecta, según datos de la Asociación de Exportadores de Banano de Ecuador (AEBE) (Vásquez Orozco 2017). Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el 2020 Ecuador exportó 6,1 millones de toneladas de banano, lo que representa aproximadamente el 32% de la producción mundial (Chamba *et al.* 2021).

El silicio (Si) es un elemento común en rocas y suelos, aunque no es esencial para las plantas, la mayoría de los cultivos acumulan una cantidad significativa (Tubaña y Heckman 2015). Investigaciones indican que el uso del Si en la agricultura puede mejorar la productividad de los

cultivos, la asimilación de nutrientes esenciales, y aumentar la tolerancia a diversos tipos de estrés causados por factores abióticos y bióticos (Amin *et al.* 2018, Tubaña *et al.* 2016). Además, el uso de Si en la agricultura puede aumentar el rendimiento, reducir el estrés abiótico por salinidad, aumentar la resistencia a la sequía y reducir los efectos tóxicos de los metales pesados (Liu *et al.* 2020). Resaltar el uso de silicatos naturales como fertilizantes aumentan el potencial de mitigar el agotamiento de los nutrientes del suelo y, como consecuencia, es una alternativa al uso extensivo de fertilizantes fitosanitarios y fertilizantes ricos en Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K); de esta forma se lograría mantener una agricultura sostenible (Guntzer *et al.* 2012).

La absorción de Si por parte de las plantas se produce principalmente en forma de ácido silícico (H_4SiO_4) o ácido monosilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$ soluble en agua, que sigue pasivamente el flujo de agua desde la superficie de la raíz (Henriet *et al.* 2006). El Si en el suelo se encuentra en una forma inerte y se absorbe en forma soluble como $\text{Si}(\text{OH})_4$, lo que depende tanto de las raíces como de la composición química del suelo (Bakhat *et al.* 2018). Adicionalmente, la presencia de más Si en las raíces, brotes y hojas de las plantas las hace más resistentes a los ataques de plagas y

umenta la tolerancia a la sequía, puesto que forma una gruesa capa bajo la epidermis, esta capa de Si reduce la capacidad de las hojas para asimilar las plagas y la pérdida de agua durante la transpiración de la planta (Greger *et al.* 2018).

La presencia de Si puede tener varias funciones beneficiosas, tales como la reducción de la toxicidad de los minerales, la mejora de las propiedades mecánicas de los tejidos vegetales y el aumento de la resistencia a diversos estreses abióticos y bióticos (Lopes da Silva *et al.* 2021). Además, la aplicación de Si puede atenuar la deficiencia de Calcio (Ca) en el cultivo de col (*Brassica oleracea* L.) y la deficiencia de K en plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cuando se aplica vía foliar (Bhat *et al.* 2019, dos Santos *et al.* 2021). Estos efectos beneficiosos se deben a la presencia de fitolitos en los cultivos expuestos a varios tipos de estrés ambiental (Guntzer *et al.* 2012).

Para llevar a cabo un diagnóstico foliar, es necesario conocer los niveles de nutrientes estándar requeridos por el cultivo, los cuales se encuentran en el rango crítico (SR), que puede estar asociado con el 90 al 100% de la producción máxima (Ulrich 1952). La mayoría de los estudios realizados en el mundo sobre el cultivo de banano mediante diferentes dosis de nutrientes han evaluado sus efectos en la producción, rendimiento y fitosanidad de la planta. Sin embargo, la información al respecto de Si es realmente muy escasa, lo que hace imposible conocer los niveles críticos o adecuados de este nutriente para banano.

Estudios realizados por Castellanos González *et al.* (2015) en gramíneas, determinaron que el Si actúa de manera indirecta sobre la resistencia a plagas, mitiga la susceptibilidad de la planta y genera así la mejor asimilación de nutrientes. Según investigaciones de Camacho *et al.* (2013) sobre el efecto del Si aplicado de forma foliar en el cultivo de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), encontraron que existe relación directa sobre el Si y su incidencia en el incremento de N y K; con tendencia de disminución del sodio (Na). Investigaciones realizadas por de Souza

Ferraz *et al.* (2014) en el cultivo de algodón, establecen que la aplicación de Si aumentó la tasa de asimilación de CO₂ y la eficiencia cuántica del fotosistema II.

En vista de los antecedentes mencionados, se ha formulado la hipótesis de que la aplicación frecuente de dosis de Si foliar aumentará el contenido nutricional de Si en los cultivos. El objetivo de este experimento es evaluar la respuesta del cultivo de banano a dosis crecientes de Si, para determinar el efecto nutricional foliar en las condiciones específicas de la provincia de El Oro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características del área experimental. El experimento se realizó entre junio de 2022 a enero de 2023 en la granja experimental del campus Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala, provincia de El Oro, Ecuador (3° 17' 22" S, 79° 54' 43" W). El clima de la región corresponde al de sabana tropical (AW), con una estación seca de mayo a diciembre y una estación lluviosa de enero a abril (Morán-Tejeda *et al.* 2016). La temperatura media anual de la zona oscila entre 25 y 30°C (Pourrut *et al.* 1995). Las características del suelo de la zona pertenecen al subgrupo de Aquic Dystrudepts (Soil Survey Staff 2014). El cultivar del sitio utilizado fue el triploide *Musa* AAA, cv. "Williams", del subgrupo Cavendish ("Williams Cavendish").

Diseño experimental. El experimento correspondió a un diseño de bloques completos al azar (DBCA). Para el establecimiento del diseño: se ubicaron los bloques de manera perpendicular al gradiente de variabilidad de la zona (fertilidad del suelo); se dividió los bloques en función del número de tratamientos y se los asignó de forma completamente al azar en las unidades experimentales (UE), de forma independiente. Se consideró una franja alrededor del entorno experimental para contrarrestar el efecto de los bordes.

El factor de estudio fue las dosis creciente y distinta de ácido monosilícico Si(OH)₄. Se

establecieron 4 tratamientos y 4 repeticiones. Las dosis evaluadas fueron: 0; 250; 500 y 750 $\text{cm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en referencia a las dosis aplicadas dentro del mercado. Se aplicaron las dosis con una frecuencia mensual. Se seleccionaron de 3 a 5 unidades muestrales (UM), que consistieron en plantas (hijas) de un metro de altura y con una de sus hojas funcionales en estado de F10 (primera hoja funcional de 10 cm de ancho), por cada tratamiento (Soto Ballestero 2014).

Manejo del ensayo. Las dosis de Si se aplicaron mediante un vehículo aéreo no tripulado (VANT-Dron) de fumigación agrícola. Se continuo con la planificación nutricional anual del entorno experimental, que consistió en una fertilización edáfica y foliar en toda la zona experimental de manera homogénea en todos los tratamientos. Las plantas recibieron dosis estándar de: 50 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 en forma de superfosfato triple (46% de P_2O_5); 64 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de CaO (23% CaO) y 60 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de SO_4 en forma de sulfato cálcico (18% SO_4) (Villaseñor-Ortiz *et al.* 2022). Durante el ensayo se aplicaron todas las prácticas agronómicas que requiere el cultivo como el deshierbe, control de malezas, apuntalamiento, enfunde, deshoje fitosanitario, riegos y limpieza de canales de drenaje; según las recomendaciones de Galán Saúco *et al.* (2010).

Muestreo foliar y de raíces. Se recolectaron muestras foliares de 3 a 5 plantas centrales en cada UE. La recolección de las hojas se realizó al momento de la emergencia de la inflorescencia con el procedimiento propuesto por Martin-Prevel (1987) mediante el método MEIR se colectó de la tercera hoja (desde el ápice) de una planta adulta que, en el punto de emisión de inflorescencia, una porción central de 10 cm x 10 cm en cada lado de la vena central. En las 2 porciones se evaluó el nivel de clorofila con el dispositivo de medición portátil Minolta SPAD-502 Plus, con el cual se realizaron 3 tomas en ambos lados de hoja de la nervadura central, y se registró el dato promedio calculado por el mismo equipo en unidades de $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$.

El tejido foliar muestreado en las parcelas experimentales se descontaminó con agua

desionizada, luego con una solución detergente (0,1%), después con una solución de ácido clorhídrico (0,3%) y de nuevo con agua desionizada. Posteriormente, el tejido se secó en una estufa de circulación forzada a temperaturas entre 60 y 70°C hasta peso constante y finalmente se molió. En laboratorio, se utilizó el método propuesto por Bryson *et al.* (2014) para la preparación de la muestra, que consistió en la incineración seca de la muestra y posterior dilución en agua. Se realizaron los análisis químicos correspondientes para determinar el nivel de Si según el método EPA 7010 que utiliza la técnica de espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito.

El muestreo de raíces consistió en la recolección de muestras de 3 plantas de cada UE, las muestras fueron tomadas, mediante el criterio de selección de plantas en reciente emergencia de inflorescencia, que poseyeran una planta hija de sucesión de al menos 1 m de altura. Posteriormente, frente a la planta hija seleccionada, se excavó en el suelo un hoyo de 30 cm de longitud por 15 cm de ancho y 30 cm de profundidad (volumen 13 500 cm^3 de suelo), se recolectaron todas las raíces extraídas en esa porción de suelo, luego se colocaron las raíces en bolsas plásticas, debidamente identificadas y se enviaron al laboratorio, el cual empleo el método establecido por Taylor y Loegering (1953), modificado por Araya Vargas (2002) para el análisis de raíces.

Procedimiento estadístico. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) factorial intergrupos. Para la verificación de supuestos de distribución normal y de homogeneidad de varianzas, se empleó las pruebas de Shapiro-Wilk y de Levene, respectivamente. Como método de separación de medias para las comparaciones múltiples entre los grupos, se aplicaron pruebas de rangos múltiples post hoc de Duncan. Se generaron modelos de regresión polinomial. El nivel de significancia ($p < 0,05$) fue implementado para todas las pruebas y regresiones estadísticas. Se manejo el programa SPSS Statistic 26 desarrollado por IBM (1968) para el análisis de datos.

Para medir la relación entre los 4 tratamientos de Si aplicados de forma foliar, con los

niveles de Si obtenidos después de la evaluación en laboratorio y los niveles de clorofila, medidos con el instrumento SPAD, se realizaron mediante análisis de regresión y se obtuvieron los respectivos modelos de relación entre las dosis de Si aplicadas con el nivel de Si foliar en banano y clorofila. El valor del nivel crítico (NC) o contenido adecuado de Si foliar, se evaluó a partir de la asignación de valor nulo al nivel de Si foliar para la ecuación producto de la regresión entre Si foliar y tratamientos (Melo *et al.* 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se muestran los análisis de varianza de la aplicación de los tratamientos de Si foliar sobre niveles de clorofila y silicio foliar. Los niveles de Si foliar más altos (0,41 y 0,38%) se presentaron en las aplicaciones de dosis de 500 y 750 $\text{cm}^3.\text{ha}^{-1}$ respectivamente (Tabla 1). La dosis de Si de 500 $\text{cm}^3.\text{ha}^{-1}$ generó la media más alta de Si foliar, que presenta diferencias estadísticas significativas (p valor = 0,007) al compararla con las demás dosis.

Tabla 1. Niveles de clorofila y silicio foliar en función de la aplicación de distintas dosis de silicio en plantas de banano ‘Williams Cavendish’. Machala, provincia del El Oro, Ecuador, 2023.

| Dosis de silicio ($\text{cm}^3.\text{ha}^{-1}$) | SPAD ($\mu\text{g}.\text{cm}^{-2}$) | Si-f (%) |
|---|---------------------------------------|---------------------------|
| 0 | 51,52 ^b ± 5,35 | 0,22 ^c ± 0,09 |
| 250 | 52,45 ^b ± 5,02 | 0,26 ^{bc} ± 0,04 |
| 500 | 56,16 ^a ± 3,40 | 0,41 ^a ± 0,10 |
| 750 | 53,04 ^b ± 5,39 | 0,38 ^{ab} ± 0,09 |
| p valor | 0,007 | 0,016 |

^a diferencias significativas por medio de las pruebas post-hoc de Duncan al 5% de probabilidad. SPAD = Nivel de clorofila ($\mu\text{g}.\text{cm}^{-2}$). Si-f = Silicio foliar (%).

Los resultados que se obtuvieron de clorofila (Tabla 1) determinaron que la aplicación de una dosis de Si de 500 $\text{cm}^3.\text{ha}^{-1}$ generó la media más alta de clorofila (56,16 $\mu\text{g}.\text{cm}^{-2}$) diferenciándose significativamente del resto de dosis que registraron valores inferiores a la media general (53,33 $\mu\text{g}.\text{cm}^{-2}$). En la Tabla 2, se muestran los modelos de regresión polinomial entre los tratamientos de Si foliar y los niveles de clorofila. Estos modelos no fueron significativos.

Tabla 2. Relación entre la variable independiente (dosis de silicio), la variable dependiente (nivel de clorofila) y el respectivo nivel crítico de la tercera hoja de las plantas de banano ‘Williams Cavendish’. Machala, provincia de El Oro, Ecuador, 2023.

| SPAD ($\mu\text{g}.\text{cm}^{-2}$) | Ecuación | R ² | y max ^{NC} (SPAD en $\mu\text{g}.\text{cm}^{-2}$) | x max (Dosis de Si en $\text{cm}^3.\text{ha}^{-1}$) |
|---------------------------------------|---|--------------------|--|---|
| Lineal ¹ | SPAD = 52,19125 + 0,0027Si | 0,04 ^{ns} | 54,22 | 750 |
| Cuadrática ² | SPAD = 51,035 + 0,017x - 0,000019Si ² | 0,11 ^{ns} | 54,84 | 447,37 |
| Cubica ³ | SPAD = 51,515 - 0,014Si + 0,000097Si ² - 0,00000010Si ³ | 0,18 ^{ns} | 56,54 | 563,91 |

^{ns} = No existe significancia estadística. ¹ = Modelo de regresión lineal. ² = Modelo de regresión cuadrática. ³ = Modelo de regresión cubica. ^{NC} = Valores del nivel crítico o contenido adecuado, extraídos asignando valor nulo a los niveles de clorofila. SPAD = Nivel de clorofila ($\mu\text{g}.\text{cm}^{-2}$).

Resultados obtenidos por Abdelaal *et al.* (2020) en el cultivo de pimiento dulce, demostraron que mediante la aplicación foliar de Si se produce mejoras en la concentración de clorofila y nutrientes minerales, el estado hídrico y el rendimiento de frutos de las plantas de pimiento dulce. También estudios realizados en maíz por Liu *et al.* (2020) comprobaron que la aplicación de Si mitiga la disminución del contenido de clorofila causada por microelementos tóxicos. En banano, resultados de Moyano Del Pozo (2016) demuestran un efecto positivo en cuanto a la aplicación de Si, ya que incrementa el contenido de clorofila, incidiendo de manera positiva sobre el desarrollo fisiológico, mejor asimilación de

nutrientes presentes en la planta y el control de plagas y enfermedades.

En la Tabla 3, se muestran los análisis de varianza de la aplicación de los tratamientos de Si foliar en el porcentaje de raíces vivas y la masa total de raíces promedio. La aplicación de las diferentes dosis de Si no demostraron un efecto sobre el porcentaje de raíces vivas y la masa total de raíces promedio. Sin embargo, pese a que la aplicación de Si no demuestra un efecto sobre estas variables, en promedio, el porcentaje de raíces vivas (77,20%) en la aplicación de la dosis de 500 cm³.ha⁻¹ se encontraron en un rango normal (70-85%) según parámetros preestablecidos por laboratorio (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de raíces vivas y masa total de raíces promedio en función de la aplicación de distintas dosis de silicio en plantas de banano 'Williams Cavendish'. Machala, provincia del El Oro, Ecuador, 2023.

| Dosis de silicio (cm ³ .ha ⁻¹) | Bloq. | Pt. | RV (%) | Interpretación de rangos de RV (%) | MTRP (g) |
|---|-------|-----|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 0 | 1 | 1 | 74,03 | 70 – 85 (Normal) | 77,00 |
| | 2 | 2 | 65,75 | < 70 (Deficiente) | 36,50 |
| | 3 | 3 | 29,85 | < 70 (Deficiente) | 22,33 |
| | 4 | 1 | 58,82 | < 70 (Deficiente) | 51,00 |
| $\bar{x} \pm \sigma$ | | | 57,11 ^{ns} ± 19,21 | < 70 (Deficiente) | 46,71 ^{ns} ± 23,34 |
| 250 | 1 | 2 | 69,70 | < 70 (Deficiente) | 49,50 |
| | 2 | 3 | 60,26 | < 70 (Deficiente) | 26,00 |
| | 3 | 2 | 77,50 | 70 – 85 (Normal) | 40,00 |
| | 4 | 2 | 26,32 | < 70 (Deficiente) | 9,50 |
| $\bar{x} \pm \sigma$ | | | 58,45 ^{ns} ± 22,55 | < 70 (Deficiente) | 31,25 ^{ns} ± 17,42 |
| 500 | 1 | 1 | 90,00 | > 85 (Bueno) | 10,00 |
| | 2 | 3 | 68,75 | < 70 (Deficiente) | 42,67 |
| | 3 | 4 | 58,74 | < 70 (Deficiente) | 67,25 |
| | 4 | 1 | 91,30 | > 85 (Bueno) | 23,00 |
| $\bar{x} \pm \sigma$ | | | 77,20 ^{ns} ± 16,07 | 70 – 85 (Normal) | 35,73 ^{ns} ± 24,94 |
| 750 | 1 | 1 | 43,33 | < 70 (Deficiente) | 30,00 |
| | 2 | 3 | 70,80 | 70 – 85 (Normal) | 37,67 |
| | 3 | 3 | 58,59 | < 70 (Deficiente) | 42,67 |
| | 4 | 1 | 76,74 | 70 – 85 (Normal) | 43,00 |
| $\bar{x} \pm \sigma$ | | | 62,37 ^{ns} ± 14,77 | < 70 (Deficiente) | 38,33 ^{ns} ± 6,07 |
| p valor | | | 0,510 ^{ns} | | 0,781 ^{ns} |

ns = Determina que no existe diferencias significativas entre los grupos. MTRP = Masa total de raíces promedio. RV = Raíces vivas. Bloq. = Número de bloques. Pt = Número de plantas muestreadas.

Estos resultados difieren con obtenidos por Lopes da Silva *et al.* (2021) en el cultivo de col, donde al añadir Si en solución nutritiva bajo invernadero, se incrementa el contenido de materia seca de las raíces. Matichenkov y Calvert (2002) en el cultivo de caña de azúcar, explican que la presencia del Si aplicado de forma edáfica en campo o invernadero mejora el desarrollo y aumenta la masa radicular en un 50 y 200%, lo cual difiere con los resultados obtenidos en la presente investigación principalmente por la forma de aplicación, ya que la capacidad de traslocación de los nutrientes a la raíz mediante una dosificación foliar es menor en comparación con una aplicación edáfica directa de Si.

En la Tabla 4, se muestran los modelos de regresión polinomial entre los tratamientos de Si foliar y los niveles de Si identificados

en laboratorio. La ecuación lineal estableció un nivel de Si foliar (0,41%) a una dosis máxima de Si (750 cm³.ha⁻¹) con un coeficiente de determinación R² (0,43) altamente significativo, que indica una correlación moderada entre las variables (Tabla 4). Al ser una ecuación lineal positiva, su tendencia explica que a la aplicación de una mayor dosis de Si, se obtendrán un mayor % de Si foliar (Figura 1). Posiblemente por la falta de aplicación de una dosis adicional Si en el ensayo, el resto de los modelos de regresión no resultaron significativos. Sin embargo, se puede observar que, a diferencia de la ecuación lineal, esta ecuación cubica predice: un mayor nivel de Si foliar (0,45%) a una menor aplicación de dosis de Si (614,70 cm³.ha⁻¹) y un mayor coeficiente de determinación R² (0,55) que indica una correlación fuerte entre las variables (Tabla 4).

Tabla 4. Relación entre la variable independiente (dosis de silicio), la variable dependiente (niveles de silicio foliar) y el respectivo nivel crítico de la tercera hoja de las plantas de banano 'Williams Cavendish'. Machala, provincia de El Oro, Ecuador, 2023.

| Si-f (%) | Ecuación | R ² | y maxNC (Si-f en %) | x max (Dosis de Si en cm ³ . ha ⁻¹) |
|-------------------------|--|--------------------|------------------------|---|
| Lineal ¹ | Si-f = 0,22 + 0,00025Si | 0,43** | 0,41 | Si = 750 |
| Cuadrática ² | Si-f = 0,20 + 0,00049Si - 0,00000032Si ² | 0,46 ^{ns} | 0,39 | Si = 768,65 |
| Cubica ³ | Si-f = 0,22 - 0,00042Si + 0,0000032Si ² - 0,0000000031Si ³ | 0,55 ^{ns} | 0,45 | Si = 614,70 |

^{ns} = No existe significancia estadística. ** = Altamente significativo al 1 % de probabilidad. ¹ = Modelo de regresión lineal. ² = Modelo de regresión cuadrática. ³ = Modelo de regresión cubica. ^{NC} = Valores del nivel crítico o contenido adecuado, extraídos asignando valor nulo a los niveles de silicio foliar. Si-f = Porcentaje de silicio foliar (%).

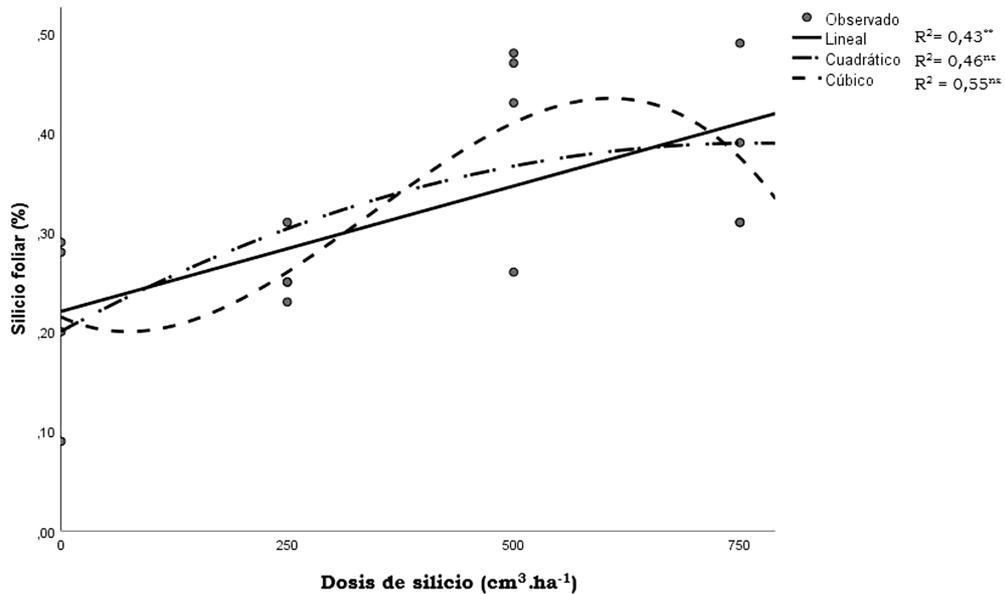


Figura 1. Correlación polinómica entre la variable independiente (dosis de silicio) y la variable dependiente (niveles de silicio foliar) en plantas de banano 'Williams Cavendish'. Machala, provincia del El Oro, Ecuador, 2023.

Pocos estudios han determinado un nivel crítico de Si foliar en distintos cultivos. En plántulas de café en almácigo, Caicedo y Chavarriaga (2008) determinaron una gran concentración de Si foliar (0,52%) que se provoca al aplicar 6 g de silicio. Pese a esto, no se determina específicamente aquel contenido adecuado que se genera a partir de una dosificación de este nutriente. En banano, la información es escasa de nivel crítico foliar y poco precisa al momento de emplear alguna fuente de Si como nutrición complementaria del cultivo; lo que justifica la relevancia de estos resultados para futuras investigaciones.

CONCLUSIONES

Se concluye que la aplicación foliar con Si (dosis al $500 \text{ cm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) mejoró el nivel de

clorofila y el estado nutricional del cultivar de banano 'Williams Cavendish' cultivado en Ecuador. Mediante una ecuación lineal propuesta, se encontró que entre mayor sea la dosis de Si aplicada (750 cm^3) se lograra un mayor nivel de Si foliar (0,41%). En futuras investigaciones es importante demostrar la incidencia del Si en el incremento de otros elementos importantes que interfieren en la nutrición foliar del banano, para el establecimiento de un contenido adecuado de Si foliar a nivel nutricional.

AGRADECIMIENTOS

A Yara Ecuador Cia. Ltda. como principal financista del presente proyecto de investigación en colaboración con la Universidad Técnica de Machala (UTMACH).

LITERATURA CITADA

- Abdelaal, KA; Mazrou, YS; Hafez, YM. 2020. Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. *Plants* 9(6):733.
- Amin, M; Ahmad, R; Ali, A; Hussain, I; Mahmood, R; Aslam, M; Lee, DJ. 2018. Influence of Silicon Fertilization on Maize Performance Under Limited Water Supply. *Silicon* 10(2):177-183.
- Araya-Vargas, M. 2002. Metodología utilizada en el laboratorio de nematología de CORBANA SA para la extracción de nematodos de las raíces de banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*). *CORBANA (Costa Rica)* 28:97-109.
- Bakhat, HF; Bibi, N; Zia, Z; Abbas, S; Hammad, HM; Fahad, S; Ashraf, MR; Shah, GM; Rabbani, F; Saeed, S. 2018. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. *Crop Protection* 104:21-34.
- Bhat, JA; Shivraj, SM; Singh, P; Navadagi, DB; Tripathi, DK; Dash, PK; Solanke, AU; Sonah, H; Deshmukh, R. 2019. Role of Silicon in Mitigation of Heavy Metal Stresses in Crop Plants. *Plants* 8(3):71.
- Bryson, GM; Mills, HA; Sasseville, DN; Jones, JB; Barker, AV. 2014. *Plant analysis handbook III: A guide to sampling, preparation, analysis, interpretation and use of results of agronomic and horticultural crop plant tissue*. Athens, GA., Micro-Macro Publishing, Incorporated. Inc. 571 p.
- Caicedo, L; Chavarriaga, W. 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía Colombiana* 15(1):3-4.
- Camacho, OA; Subirachs, JMC; Dittel, SS; Pérez, RH. 2013. Aumento del potencial productivo en caña de azúcar por aplicación de armurox® como fuente de silicio biodisponible. México. Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA):43-54.
- Castellanos González, L; de Mello Prado, R; Silva Campos, CN. 2015. El Silicio en la resistencia de los cultivos. *Cultivos Tropicales* 36:16-24.
- Chamba, LMA; Montoya, ANC; Granda, ADCV; Quezada, TXS. 2021. Evolución en las exportaciones de banano e impacto del desarrollo económico, provincia de El Oro 2011-2020, pre-pandemia, pandemia; aplicando series de tiempo. *Polo del Conocimiento* 6(8):257-277.
- de Souza Ferraz, RL; de Macêdo Beltrão, NE; de Melo, AS; Magalhães, ID; Fernandes, PD; do Socorro Rocha, M. 2014. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silicio foliar. *Semina: Ciências Agrárias* 35(2):735-748.
- dos Santos Sarah, MM; de Mello Prado, R; de Souza Júnior, JP; Teixeira, GCM; dos Santos Duarte, JC; de Medeiros, RLS. 2021. Silicon supplied via foliar application and root to attenuate potassium deficiency in common bean plants. *Scientific Reports* 11(1):1-13.
- Galán Saúco, V; Robinson, JC; Tomer, E; Daniells, JW. 2010. Current situation and challenges of cultivating banana and other tropical fruits in the subtropics. *In VI International Symposium on Banana: XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People* 928(1):19-30.
- Greger, M; Landberg, T; Vaculík, M. 2018. Silicon Influences Soil Availability and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species. *Plants* 7(2):41.
- Guntzer, F; Keller, C; Meunier, JD. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32(1):201-213.
- Henriet, C; Draye, X; Oppitz, I; Swennen, R; Delvaux, B. 2006. Effects, distribution and uptake of silicon in banana (*Musa spp.*) under controlled conditions. *Plant and Soil* 287(1-2):359-374.
- IBM. 1968. *IBM SPSS Statistics*. (programa informático). New York, United States of America.
- Lopes da Silva, DL; de Mello Prado, R; Tenesaca, LFL; da Silva, JLF; Mattiuz, BH. 2021. Silicon attenuates calcium deficiency by increasing ascorbic acid content, growth and quality of cabbage leaves. *Scientific reports* 11(1):1770.
- Liu, X; Yin, L; Deng, X; Gong, D; Du, S; Wang, S; Zhang, Z. 2020. Combined application of silicon and nitric oxide jointly alleviated cadmium accumulation and toxicity in maize. *Journal of Hazardous Materials* 395:122679.
- Martin-Prével, P. 1987. *Banana*. *In Martin-Prevel P; Gagnard J; Gautier P (eds). Plant analysis as a guide to the requirements of temperate and tropical crops*. USA: Lavoisier Publishers Inc. p. 637-670.
- Matichenkov, VV; Calvert, DV. 2002. Silicon as a beneficial element for sugarcane. *Journal American Society of Sugarcane Technologists* 22(2):21-30.
- Melo, GW; Rozane, DE; Brunetto, G. 2017. Identification of the critical levels, sufficiency ranges and potential response to nutrient fertilization in vineyards by the DRIS method. *In VIII International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops. Acta Horticulturae* 1217(55):423-430.
- Morán-Tejeda, E; Bazo, J; López-Moreno, JI; Aguilar, E; Azorín-Molina, C; Sanchez-Lorenzo, A; Martínez, R; Nieto, JJ; Mejía, R; Martín Hernández, N; Vicente-Serrano, SM. 2016. Climate trends and variability in Ecuador (1966–2011). *International Journal of Climatology* 36(11):3839-3855.
- Moyano Del Pozo, BE. 2016. Establecimiento de la línea base de productos formulados con silicio y estudio de los efectos sobre parámetros de desarrollo y

- sanitarios de plantas de banano cavendish (aaa), variedad Williams. Tesis Lic. Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral. 136 p.
- Petsakos, A; Prager, SD; Gonzalez, CE; Gama, AC; Sulser, TB; Gbegbelegbe, S; Kikulwe, EM; Hareau, G. 2019. Understanding the consequences of changes in the production frontiers for roots, tubers and bananas. *Global Food Security* 20:180-188.
- Pourrut, P; Gómez, G; Bermeo, A; Segovia, A. 1995. Factores condicionantes de los regímenes climáticos e hidrológicos. In Pourrut, P (ed.). *El Agua en el Ecuador*. Quito, Ecuador, Corporación Editora Nacional. p. 7-12.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 14th ed. Washington, U.S.A., USDA-NRCS.
- Soto Ballesteros, M. 2014. *Bananos I: conceptos básicos* (N°. F01/7273). Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 338 p.
- Taylor, AL; Loegering, WQ. 1953. Nematodes associated with root lesions in abacá. *Turrialba* 3(1/2):8-13.
- Tubaña, BS; Babu, T; Datnoff, LE. 2016. A Review of Silicon in Soils and Plants and Its Role in US Agriculture. *Soil Science* 181(9/10):393-411.
- Tubaña, BS; Heckman, JR. 2015. Silicon in soils and plants. *Silicon and plant diseases* 7-51.
- Ulrich, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 3(1):207-228.
- Vásquez Orozco, R. 2017. El impacto del comercio del Banano en el desarrollo del Ecuador. *Revista Afese* 53:167-182.
- Villaseñor-Ortiz, D; De Mello Prado, R; Luna-Romero, E; Jaramillo-Aguilar, E; Agurto-Rodríguez, L. 2022. Critical nitrogen and potassium levels and sufficiency ranges for banana cultivation in Ecuador. *Fruits* 77(1):1-8.

SOBREVIVENCIA IN VITRO DE SEGMENTOS NODALES DE *Cordia trichotoma*

Maura Isabel Díaz-Lezcano^{1/*}, Angel Manuel Duarte-Asilvera², Luis Gonzalez-Segnana³,
Mirtha Lucía Vera de Ortiz⁴

Palabras clave: contaminación microbiana; oxidación fenólica; peterevy; segmentos nodales; sobrevivencia.

Keywords: microbial contamination; phenolic oxidation; peterevy; nodal segments; survival.

Recibido: 05/01/23

Aceptado: 16/03/23

RESUMEN

Introducción. El presente trabajo se llevó a cabo para evaluar segmentos de *Cordia trichotoma* en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. **Objetivo.** Evaluar la sobrevivencia de segmentos nodales de *Cordia trichotoma* (peterevy) cultivados in vitro. **Materiales y métodos.** Fueron sembrados 80 segmentos nodales en medio Murashige y Skoog (MS) y medio de cultivo MS+CA 2 ml.l⁻¹, distribuidos en unidades experimentales constituidas por 5 segmentos nodales por unidad experimental, expuestos a 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno. El diseño experimental utilizado fue

completamente al azar y las variables evaluadas fueron la contaminación microbiana y oxidación fenólica para determinar la sobrevivencia de los segmentos. El análisis estadístico consistió en ANAVA con un nivel de significancia del 5% y la prueba de Chi cuadrado para el análisis de fidelidad. **Resultados.** Se registró una contaminación microbiana de hasta 20% de segmentos nodales, en tanto que la oxidación fenólica se mantuvo en un rango de 40 a 45%, como la mayor limitante. **Conclusión.** 30 días posteriores a la siembra, la sobrevivencia de los segmentos nodales fue entre 35 a 55%, se verificó que los segmentos con brotes y los segmentos indiferentes de brotación estaban libres de contaminación microbiana y oxidación fenólica, aunque no registraron diferencias estadísticas significativas.

* Autora para correspondencia. Correo electrónico: maura.diaz@agr.una.py

1 Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Paraguay.
 0000-0003-4629-8255.

2 Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Paraguay.
 0000-0002-5723-7864.

3 Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Paraguay.

 0000-0003-2545-1820.

4 Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Paraguay.

 0000-0002-4381-2610.

ABSTRACT

In vitro survival of nodal segments of *Cordia trichotoma*. **Introduction.** The present work was carried out to evaluate segments of *Cordia trichotoma* in the Biotechnology Laboratory of the Agrarian Sciences Faculty of the National University of Asunción, Paraguay. **Objective.** To evaluate the survival of nodal segments of *Cordia trichotoma* (peterevy) cultivated in vitro. **Materials and methods.** 80 nodal segments were planted in Murashige and Skoog (MS) medium and MS+CA 2 ml.l⁻¹ culture medium, distributed in experimental units consisting of 5 nodal segments per experimental unit, exposed to 4 treatments with

4 replicates each. A completely randomized experimental design was used and in order to determine the survival of the segments microbial contamination and phenolic oxidation were evaluated. Statistical analysis consisted of ANOVA with a 5% significance level and the Chi-square test for fidelity analysis. **Results.** A microbial contamination of up to 20% of nodal segments was recorded, while phenolic oxidation remained in a range of 40 to 45%, as the greatest limitation. **Conclusion.** 30 days after sowing, the survival of nodal segments was between 35 to 55%, it was verified that segments with shoots and indifferent sprouting segments were free of microbial contamination and phenolic oxidation, although no significant differences were found.

INTRODUCCIÓN

Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. ex Steudel, conocido en Paraguay como peterevy, es un árbol de la familia Boraginaceae. Esta importante especie pertenece al estrato superior del bosque; posee un fuste recto muy característico aún en plantaciones abiertas, presenta autopoda natural y cuenta con una pequeña y densa copa. Fructifica de julio a septiembre; coloniza rozados (producto de incendios), chacras y sobre todo claros de la selva. Es una especie higrófila y heliófila que necesita aperturas en el dosel para su regeneración natural. Sus semillas pierden rápidamente su poder germinativo (López *et al.* 2002).

Esta especie posee una madera altamente valorada en el mercado nacional e internacional. Es utilizada en la fabricación de muebles finos, ebanistería en general, puertas, marcos, ventanas, revestimientos de interiores y exteriores de casas (Ortega *et al.* 1989), también es empleada en la industria del bobinado, la fabricación de chapas decorativas y pisos parquet (Nuñez *et al.* 2008).

Se destaca por ser una especie melífera (Ortega *et al.* 1989) y de tener cualidades

ornamentales por lo que se utiliza en jardinería, además es adecuada para la reforestación en la recuperación de áreas degradadas (Lorenzi 2008).

Naturalmente la propagación de *C. trichotoma* se produce de forma a partir de semillas (Carvalho 2003) pero presenta algunos inconvenientes, por un lado, se encuentran catalogadas como semillas recalcitrantes (Eibl *et al.* 1994 y Carvalho 2003), disminuyendo su poder germinativo a los 60 días (Marchetti 1984), además de presentar una germinación lenta y despereja (Mendonca *et al.* 2001) lo que dificulta su propagación masiva. Por ello surge como alternativa la micropropagación de las partes vegetativas de las plantas de interés para evitar la variabilidad genética que se tendría con la propagación sexual, además de los problemas de germinación mencionados.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la sobrevivencia de segmentos nodales de *Cordia trichotoma* (peterevy) cultivados in vitro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de

Asunción, ubicada en el Campus de la Ciudad de San Lorenzo, a 10,5 km de la Ciudad de Asunción, Paraguay.

Las plantas madre de peterevy (*Cordia trichotoma*) donadoras de los segmentos nodales utilizados en el ensayo de micropropagación fueron producidos en el vivero de la Carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción con georreferencia 25°20'07.04" S 57°30'54.30" O.

Estas plantas fueron sometidas a un tratamiento de desinfección con la aplicación de fungicida Carbendazim 50%, 5 ml.l⁻¹, e insecticida D.D.V.P. (2,2 dicloro dimetil fosfato) 100%, 1,5 ml.l⁻¹, en combinación con una fertilización foliar (Nitrógeno 8 ppm, Fosforo 15 ppm, Potasio 10 ppm), 10 ml.l⁻¹, para estimular la producción de brotes nuevos que sean libres de microorganismos contaminantes.

Para el ensayo fueron utilizados los segmentos nodales, constituidos por porciones de ramas jóvenes que contienen yemas terminales o laterales, con el objetivo de colocarlas en condiciones adecuadas para que produzcan raíces adventicias y brotes de hojas.

Fueron sembrados 80 segmentos nodales de peterevy. Cada unidad experimental estuvo constituida por 5 segmentos nodales y se evaluaron los porcentajes de contaminación, oxidación y sobrevivencia.

La desinfección de los segmentos nodales se realizó en una cámara de flujo laminar, en condiciones de asepsia, mediante alcohol etílico (C₂H₅OH) al 70% durante 3 minutos, hipoclorito de sodio (NaClO) en concentraciones de 15% y 20% durante 10 minutos, y finalmente enjuagadas con agua destilada estéril 3 veces.

Los segmentos nodales fueron sembrados en tubos de ensayo que contenían medio MS (Murashige y Skoog 1962). Se colocó 1 segmento nodal de 2,5 cm por tubo de ensayo; con un total de 5 individuos, con 4 repeticiones cada tratamiento. Luego de la siembra los tubos de ensayos fueron mantenidos a temperatura constante de 25°C y en condiciones de oscuridad durante los primeros 7 días posteriores a la siembra; una vez

concluida la etapa de oscuridad, los tubos fueron trasladados a una sala de germinación con un fotoperiodo de 16 horas.

El diseño del experimento fue completamente al azar, a partir de 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno. Cada tratamiento estuvo constituido por 5 explantes. Los individuos fueron sometidos a la desinfección en las siguientes concentraciones de NaClO, las cuales están consignadas en la Tabla 1. Así también, los segmentos nodales fueron sembrados en 2 medios de cultivo.

Tabla 1. Tratamientos empleados, tipos de medios y desinfección con NaClO.

| Tratamientos | Medio de cultivo | NaClO (%) |
|--------------|--|-----------|
| T1 | Murashige & Skoog | 15 |
| T2 | Murashige & Skoog + Carbón Activado (2 g.l ⁻¹) | 15 |
| T3 | Murashige & Skoog | 20 |
| T4 | Murashige & Skoog + Carbón Activado (2 g.l ⁻¹) | 20 |

La recolección de datos se realizó a los 7, 15, 22 y 30 días posteriores a la siembra de los segmentos nodales. Las variables estudiadas, contaminación microbiana, oxidación fenólica y sobrevivencia, fueron sometidas a un análisis de Varianza (ANAVA). Para el análisis de fidelidad de los datos los resultados fueron sometidos a la prueba de Chi Cuadrada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contaminación microbiana. El tratamiento constituido por fungicida Carbendazim (50%) e insecticida D.D.V.P. (100%) logró mantener las plantas madre de *C. trichotoma* libres de síntomas de microorganismos contaminantes.

Díaz Lezcano *et al.* (2021) manifiestan la necesidad de tratamientos sanitarios a las plantas madre, por lo que afirman que la aplicación de

Oxicloruro de cobre (3 g.l^{-1}) y Ditiocarbamato (2 g.l^{-1}) mantuvo el 100% de los ejemplares de *Handroanthus heptaphyllus*, utilizados posteriormente en la micropropagación de sus segmentos nodales, libres de sintomatología de contaminación microbiana. Asimismo, Niella *et al.* (2014) recomiendan aplicaciones líquidas de 3 g.l^{-1} de Zineb® como fungicida a las plantas madre de *C. trichotoma* a ser propagadas agámicamente.

A los 30 días de siembra de los explantes de *C. trichotoma* desinfectados con hipoclorito de sodio (15%) y sembrados en medio de cultivo MS

(T1) no presentaron indicios de contaminación microbiana. Los explantes sembrados en medio de cultivo MS+CA (2 g.l^{-1}) (T2) y desinfectados con NaClO (15%) presentaron 30% de contaminación por microorganismos. Por su parte, los segmentos nodales sembrados en medio de cultivo MS desinfectados con NaClO (20%) el tratamiento (T3), registró 25% de contaminación microbiana. En el T4, medio de cultivo MS+CA2 (g.l^{-1}), los segmentos nodales desinfectados con NaClO (20%) presentaron 20% de contaminación por microorganismos patógenos (Figura 1).

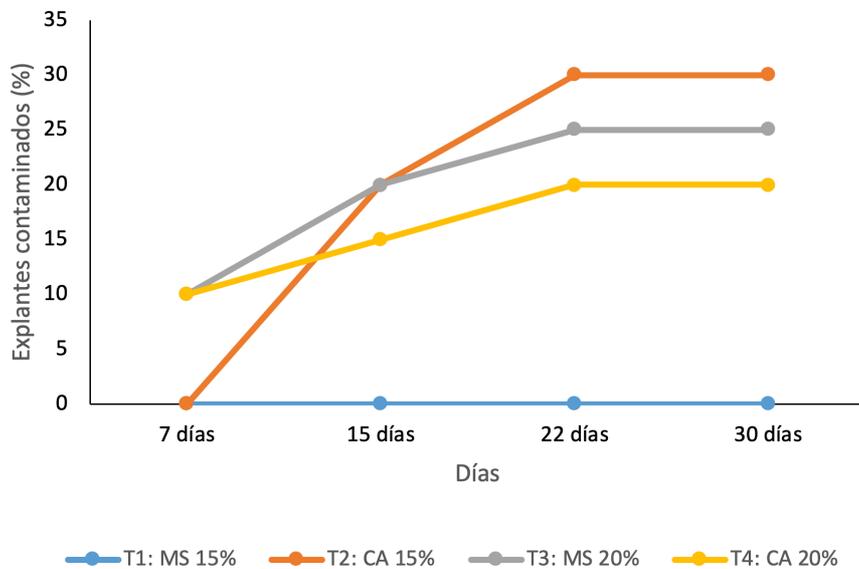


Figura 1. Porcentaje de segmentos de *Cordia trichotoma* contaminados por microorganismos durante 30 días de evaluación.

El análisis de varianza y la prueba de Chi cuadrada revelan que no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos de desinfección a los cuales fueron sometidos los explantes de *C. trichotoma*.

Otras investigaciones obtuvieron favorables resultados con menores concentraciones de NaClO y menor tiempo, las cuales se describen a

continuación. Ayala Jacobo (2012) con *Amburana cearensis* obtuvo un promedio de 19% de contaminación a los 30 días de la siembra de segmentos nodales sometidos a una desinfección en etanol de 96° (70%) durante 3 minutos y luego con hipoclorito de sodio (10%) durante 5 minutos, un aspecto importante de resaltar fue que los plantines de *Amburana cearensis*, utilizados como plantas

madre, fueron pulverizados con fungicida Oxicob (Oxicloruro de cobre al 85%) (3,50 g.l⁻¹) cada 15 días antes de retirar los segmentos de los mismos. Con la misma concentración y tiempo de sumersión en NaClO, Mongelós Franco *et al.* (2020) registraron 100% de sobrevivencia de explantes y ausencia de contaminación microbiana en el tratamiento con NaClO (10%) durante 5 minutos de establecimiento in vitro de meristema apical de *Musa sp.* A diferencia de estas 2 especies, *Amburana cearensis* y *Musa sp.*, las cuales son glabras, la especie en estudio en esta investigación, *C. trichotoma*, es pubescente hecho que pudo contribuir en la mayor superficie de contacto para la contaminación microbiana por lo que requirió tanto una mayor concentración de NaClO como tiempo de exposición en el desinfectante.

Por su parte, Zichner Zorz (2012) en cultivo in vitro de segmentos nodales de *Eucalyptus grandis* obtuvo 25% de contaminación por agentes patógenos a los 30 días de la siembra. Las plantas madre proveedoras de los segmentos fueron tratadas previamente al cultivo in vitro con una solución antibiótica de amplio espectro, combinación de Tetraciclina (250 mg) y Bencilamina (50 mg) a una concentración de 1,2 g.l⁻¹, posteriormente al tratamiento de asepsia constituido por etanol 96°

(70%) durante 1 minuto y luego con hipoclorito de sodio (10%) durante 5 minutos. En este contexto, los resultados obtenidos en la presente investigación apuntan a la utilización de mayores concentraciones y tiempo de asepsia en los tratamientos de desinfección de especies forestales.

El tratamiento de plantas madre es recomendado por Velazco *et al.* (2010) quienes aseguran que es posible la desinfección de segmentos nodales de *C. trichotoma*, con el uso de brotes jóvenes recolectados apenas hayan alcanzado los 5 cm de longitud y el empleo de un protocolo de desinfección que utiliza, etanol, tween 20, fungicidas, antibióticos, cloruro de mercurio y cloruro de calcio.

Oxidación fenólica. A los 30 días posteriores a la siembra de los explantes se registró la oxidación fenólica de 60% en el T1. A su vez, el T2 registró 45%, en el T3 y el T4 se observaron 50% de oxidación fenólica cada una (Figura 2). Estos resultados señalan el alto riesgo de oxidación fenólica en los explantes de *C. trichotoma*, el cual no pudo ser controlado con la adición de carbón activado (CA) al medio de cultivo MS, que constituyó la mayor limitación en la propagación in vitro de *C. trichotoma* en el presente estudio.

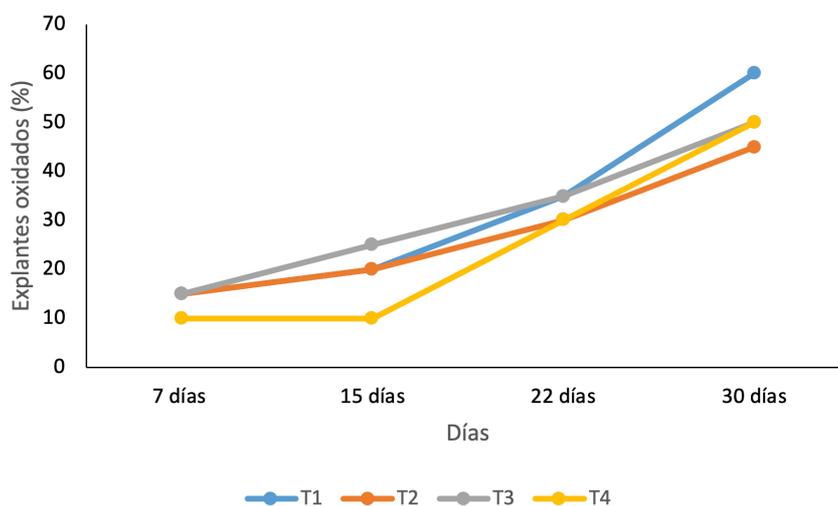


Figura 2. Porcentaje de oxidación fenólica de segmentos nodales de *Cordia trichotoma* durante 30 días de evaluación.

Los análisis estadísticos demostraron que no existen diferencias significativas entre los tratamientos para prevenir la oxidación fenólica de los segmentos nodales de *C. trichotoma*.

Conclusiones similares destacan otras investigaciones, tales como, Díaz Lezcano (2010) en segmentos nodales de *Tabebuia heptaphylla* (sinonimia de *Handroanthus heptaphyllus*), lapa-cho de flores blancas, a los 30 días de siembra, que reportaron un 40% de oxidación con la desinfección con NaClO (5%) y 48% de los explantes con NaClO (10%), ambas concentraciones durante 10 minutos, y posteriormente sembrados en medio de cultivo MS sin la adición de carbón activado (CA), así como tampoco Ayala Jacobo (2012), quien trabajó con *Amburana cearensis* registró un promedio de 10% de oxidación a los 30 días de evaluación, donde los explantes fueron sometidos a una desinfección con hipoclorito de sodio (10%) durante 5 minutos.

Sin embargo, otros autores refieren que la adición de carbón activado en concentraciones de entre 2 y 3 g.l⁻¹ favorecen al control de la oxidación fenólica, como Herbele (2010) manifiesta que al multiplicar microcepas de *C. trichotoma* mantenidas in vitro, sembradas en medio de cultivo Woody Plant Medium (WPM) con adición de 1,5 g.l⁻¹ de carbón activado favoreció la formación y crecimiento de brotes.

Fiori *et al.* (2016) pudieron observar que la dosis de CA (2 g.l⁻¹) logró suprimir la oxidación en explantes de *Acrocomia aculeata* en 2 periodos de incubación lo cual posibilitó de esa manera, la obtención y desarrollo de la totalidad de los embriones cultivados durante al primer cultivo y luego del subcultivo. Asimismo, Díaz Lezcano *et al.* (2021) mencionan que resultó efectivo el

tratamiento de prevención de oxidación 2 g.l⁻¹ de carbón activado al medio de cultivo pues controló hasta el 100% de necrosis de segmentos nodales de *Handroanthus heptaphyllus*.

En tanto que, Zichner Zorz *et al.* (2014) sostienen que el Carbón Activado 3 g.l⁻¹ controló 100% la oxidación de los tejidos de los explantes de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden cultivados in vitro. Ensayos realizados por Díaz Lezcano *et al.* (2021) demostraron diferencias significativas en el control de la oxidación de *Handroanthus heptaphyllus* de flores blancas, con la concentración de 3 g.l⁻¹ de carbón activado el tratamiento más efectivo.

Por su parte, Díaz Lezcano *et al.* (2016) afirman que en la fase de establecimiento del cultivo in vitro de *Musa* spp. no existieron diferencias estadísticas significativas entre las concentraciones de 2 y 3 g.l⁻¹ carbón activado en cuanto a la oxidación, resultado que está en la fase de establecimiento en 9,37% y en el primer subcultivo de 8,85%.

Sobrevivencia. Para evaluar la sobrevivencia se consideraron los segmentos nodales que presentaron indicios de brotación y los indiferentes que no brotaron (segmentos libres de contaminación microbiana y oxidación fenólica), por lo que, a los 30 días posteriores a la siembra, se registró que el T1 presentó un total de 60% de explantes sobrevivientes; es decir, explantes libres de contaminación por agentes patógenos y síntomas de oxidación fenólica. A su vez, los segmentos sembrados en medio de cultivo T2 registraron un 40% de explantes sobrevivientes. En el T3 se logró 45% de sobrevivencia, en tanto que los explantes sembrados en el T4 se observó un 55% de sobrevivientes (Figura 3).

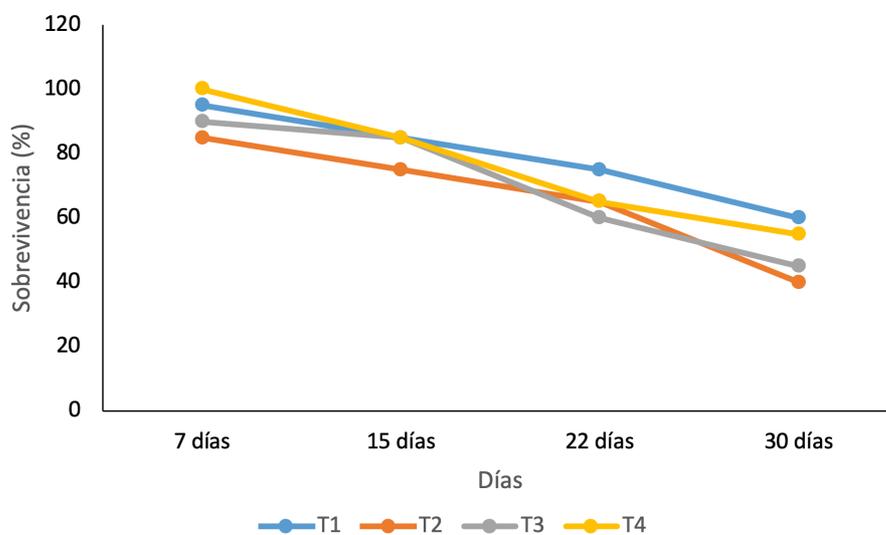


Figura 3. Porcentaje de segmentos de *Cordia trichotoma* sobrevivientes por cada tratamiento durante los días de evaluación.

Mediante el análisis estadístico se determinó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos a los que fueron sometidos segmentos de peterevy. Los resultados de la prueba de Chi cuadrada determinaron que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos para los parámetros estudiados.

La representación gráfica de la distribución de los explantes contaminados por agentes microbianos los cuales se encontraban en un rango de 0 a 20% así como los segmentos oxidados que estuvieron dentro de un rango de 40 a 45% y los sobrevivientes en un rango de 35 a 55% por tratamiento se aprecia en la Figura 4.

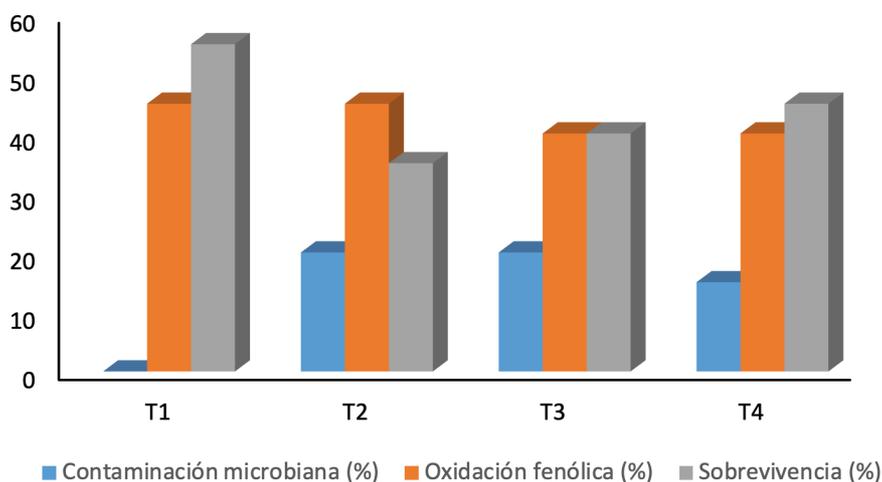


Figura 4. Contaminación microbiana, oxidación fenólica y sobrevivencia de explantes de *Cordia trichotoma* por tratamiento.

Resultados similares fueron reportados en investigaciones realizadas con otras especies forestales, como las de Alarcón (2013), quien al trabajar con segmentos de *Myrocarpus frondosus*, registró a los 30 días de la siembra in vitro 40% de explantes sobrevivientes del total de la siembra; 24% de explantes con formación de brotes, con una longitud promedio de 5,7 mm, y Zichner *et al.* (2014), reportó 61% de sobrevivencia de segmentos nodales de *Eucalyptus grandis*

Hill ex Maiden en su protocolo de establecimiento in vitro.

Fick (2007) afirma que miniesquejes de *C. trichotoma*, de 2,5 a 5,5 cm de longitud, sembrados in vitro en Woody Plant Medium (WPM) líquido demostraron altos porcentajes (entre 80 y 83,3%) de supervivencia, pero no enraizaron.

La Figura 5 expone la secuencia fotográfica de la microporpagación de segmentos nodales de *C. trichotoma* (peterevy).



Figura 5. Secuencia fotográfica de la microporpagación de segmentos nodales de *C. trichotoma*.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en los ensayos de cultivo in vitro de segmentos nodales de *Cordia trichotoma*, se concluye que a los 30 días posteriores a la siembra, se pudo verificar la sobrevivencia de entre 35 a 55% del total segmentos nodales de peterevy, conformados por

explantes con brotes y los segmentos indiferentes de brotación o libres de contaminación microbiana y oxidación fenólica, aunque no registraron diferencias significativas en ninguna de las variables estudiadas, no obstante, la oxidación fenólica fue la mayor limitante en la microporpagación de esta especie.

AGRADECIMIENTO

Las personas autoras agradecen a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción la provisión de los insumos y el equipamiento para la realización de los ensayos.

LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. 2013. Efecto del hipoclorito de sodio en el control de la contaminación de segmentos nodales de *Myrocarpus frondosus* Allemão y *Paulownia tomentosa* (Thunb). Steud. establecidos in vitro. Tesis Ingeniería Forestal. San Lorenzo, Paraguay, Universidad Nacional de Asunción. 45 p.
- Ayala Jacobo, L. 2012. Establecimiento in vitro de segmentos nodales de *Pongamia pinnata* (L.) Pierre. (*Pongamia*) y *Amburana cearensis* (Fr. Allem.) A.C. Smith. (Trébol). Tesis Ingeniería Forestal. San Lorenzo, Paraguay, Universidad Nacional de Asunción. 74 p.
- Carvalho, PHR. 2003. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília Embrapa Informações Tecnológica Colombo, Brasília, Embrapa Florestas N° 1, 1039 p.
- Díaz Lezcano, MI. 2010. Ensayos preliminares para la micropropagación in vitro de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo (lapacho) de flores blancas. Ka'aguy Revista Forestal del Paraguay 15(1):27-29.
- Díaz Lezcano, MI; Flor Benítez, BA; Enciso Garay, CR; González Segnana, LR. 2016. El carbón activado y las condiciones de oscuridad en la micropropagación de banana variedad Nanição. Revista Colombiana de Biotecnología 18(2):140-146. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.55618>
- Díaz Lezcano, MI; Rodas Ramirez, JM; Gonzalez Segnana, LR; Vera de Ortiz, M. 2021. Control de la oxidación fenólica de segmentos nodales de *Handroanthus heptaphyllus* en condiciones in vitro (en línea). CEDAMAZ 11(1):1-5. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/1029>
- Díaz Lezcano, MI; Vera Arza, DM; Gonzalez Espinola, DD; López Talavera, CA. 2021. Micropropagación de *Handroanthus heptaphyllus* (VELL.) Mattos a partir de segmentos nodales. Revista De La Sociedad Científica Del Paraguay 26(1):49-63. DOI: <https://doi.org/10.32480/rsecp.2021.26.1.49>
- Eibl, B; Silva, F; Carvalho, A; Czerepak, R; Kehl, J. 1994. Ensayos de germinación y análisis cuantitativo en semillas de especies nativas de Misiones, R. A. Yvyrareta, Eldorado 5(5):33-48.
- Fiori Fernández, C; Díaz Lezcano, MI; González Segnana, LR. 2016. Enraizamiento in vitro de embiones cigóticos de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd ex Mart. Colombia Forestal 19(1):67-78. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a05>
- Heberle, M. 2010. In vitro and ex vitro propagation of louro pardo (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrabida ex Steudel). Dissertação Mestrado em Recursos Florestais e Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil. 76 p.
- López, J; Little, E; Ritz, G; Rombold, J; Hahn, W. 2002. Árboles comunes del Paraguay: Ñandeyvyra mata kuera. PY, Cuerpo de Paz. se. 425 p.
- Lorenzi, H. 2008. Arvores brasileiras. Manual de indentificacao e cultivo de plantas arvoreas nativas do Brasil. 5 ed. Nova Odessa, Brasil, Instituto Plantarum de Estudos da Flora. 584 p.
- Marchetti, ER. 1984. Época de coleta, sementeira, tratamento pré-germinativo e métodos de sementeira de espécies florestais cultivadas no Rio Grande do Sul. In Congresso Florestal Estadual, Nova Prata, Brasil, Anais. Nova Prata: [s. n.]. p. 524-532.
- Mendoca, EAF; Ramos, NP; Paula, RC. 2001. Viabilidade de sementes de *Cordia trichotoma* (Vellozo) Arrabida ex Steudel (louro pardo) pelo teste de tretrazólio. Revista Brasileira de Sementes, Pelotas 23(2): 64-71.
- Mongelós Franco, Y; Mussi Cataldi, CE; Duarte Ovejero, NN; Díaz Lezcano, MI. 2020. Protocolo de desinfección para establecimiento in vitro de meristema apical de banano *Musa* spp (en línea). CEDAMAZ 10(2):47-50. Consultado 02 ago. 2022. Disponible en <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/815>
- Murashige, T; Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue. Phys. Plant. 15:473-493.
- Niella, FO; Rocha, SP; Eibl, BI; Schoffen, CD; Martinez, MS; Conti, P; Franco, M; Ayala, L. 2014. Propagación clonal de *Peltophorum dubium* (caña fistola), *Myrocarpus frondosus* (incienso), y *Cordia trichotoma* (peteribi) para su conservación y domesticación (en línea). Yvyrareta: Revista Forestal País de Árboles 12(21):44-50. Consultado 12 mar. 2023. Disponible en <http://yvyrareta.com.ar/index.php>
- Núñez, N; Mora, A; Santacruz, F. 2008. Aplicación de técnicas de micropropagación de la especie *Cordia elaeagnoides* A. DC. (Boraginaceae). Avances de la investigación Científica en el CUCBA (en línea). Guadalajara, MX. Consultado 30 abr. 2013. Disponible en: [http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionAgricola\(pp%201-86\)/NunezSandovalNancy/63-70.pdf](http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionAgricola(pp%201-86)/NunezSandovalNancy/63-70.pdf)
- Ortega, E; Spichiger, R; Stutz, L. 1989. Noventa especies forestales del Paraguay. Ginebra, Suiza,

- Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève. 218 p.
- Velazco, SJE; Rocha, P; Niella, F. 2010. Establecimiento y mutiplicación in vitro de segmentos nodales de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud (Borragináceas) (Nº. 63 Silvicultura). El Dorado, Argentina, Universidad Nacional de Misiones. 13 p.
- Zichner Zorz, A. 2012. Establecimiento de un protocolo para la propagación clonal in vitro de segmentos nodales de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Tesis Ingeniería Forestal. San Lorenzo, Paraguay, Universidad Nacional de Asunción. 58 p.
- Zichner Zorz, A; Díaz Lezcano, MI; González Segnana, LR; Vera de Ortiz, M. 2014. Efecto del carbón activado en el control de la oxidación de segmentos nodales de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden cultivados in vitro (en línea). *Investigación Agraria* 14(2):107-111. Consultado 25 ago. 2022. Disponible en <https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/257>

COSTOS DEL CULTIVO DE ÁRBOLES MADERABLES EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ EN COSTA RICA

Olman Murillo-Gamboa^{1*}, Yorlenny Badilla-Valverde²

Palabras clave: caficultura; plantaciones forestales; sistemas agroforestales; servicios ambientales.

Keywords: coffee production; forestry plantations; agroforestry systems; environmental services.

Recibido: 21/02/23

Aceptado: 02/05/23

RESUMEN

Introducción. La ausencia de información económica constituye una barrera para el fomento de sistemas agroforestales (SAF). El componente forestal podría representar una contribución importante en la economía y aumento de biodiversidad de los SAF con café, que mantiene una huella de carbono alta y se desarrolla en más de 93 600 ha en 8 regiones de Costa Rica. Se requiere un nuevo modelo de asociación café con árboles maderables, que aporte valor económico, adicional a los servicios ambientales tradicionales. **Objetivo.** Determinar los costos del cultivo de árboles maderables de sombra en SAF de café. **Materiales y métodos.** Se reporta la estructura de costos de cultivo de maderables en cafetales, basada en árboles individuales por su aplicabilidad. La base de datos se construyó a partir de experiencias en SAF establecidas en cooperativas de café. El modelo se basa en el cultivo máximo de 275 árboles.ha⁻¹ (6 x 6 m en tresbolillo), que permite efectuar un raleo (50%) al año 7, con especies como laurel (*Cordia alliodora*)

y cedro (*Cedrela odorata*) principalmente, en altitudes entre 700 a 1450 msnm. **Resultados.** El costo del cultivo de un árbol hasta el año 15 es de $\text{¢}2386.\text{árbol}^{-1}$ (US\$4 con tasa de cambio de $\text{¢}600$), 50% corresponde a mano de obra, 24% a regencia y asistencia técnica, 15% insumos y 11% al costo del árbol. El laurel interceptó un 60% de radiación sin afectación de la producción de 36,5 fanegas por ha de café ovatá a 1200 msnm. **Conclusiones.** El costo total para cultivar 275 árboles maderables.ha⁻¹ en un SAF café es de $\text{¢}2386.\text{árbol}^{-1}$ (US\$3,98). Un escenario de financiamiento podría realizar un aporte de capital de $\text{¢}950$ por árbol en el año 0, otro aporte en el año 5 de $\text{¢}850$, para un total de $\text{¢}1750.\text{árbol}^{-1}$ (\$2,9). Sin embargo, el modelo de financiamiento actual del FONAFIFO para SAF café, podría mantener su esquema actual de aportes de capital en 5 años y mismo monto de $\text{¢}2000$ por árbol, con el fin de evitar el efecto de la volatilidad en los precios de los insumos. El costo del cultivo de árboles maderables como sombra en café es bajo y tendría un alto impacto económico, social y ambiental en la caficultura.

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: omurillo@itcr.ac.cr

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica.

 0000-0003-3213-8867.

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica.

 0000-0002-6743-9734.

ABSTRACT

Costs of growing timber trees in agroforestry systems with coffee in Costa Rica.

Introduction. The lack of economic information is a barrier to the promotion of agroforestry systems (AFS). The forestry component could represent an important contribution to economy, an increase in biodiversity and, a high carbon footprint in coffee AFS, which are promoted throughout more than 93 600 ha in 8 regions of Costa Rica. A new coffee-timber production relationship model is required, which would provide additional economic value to the coffee growers, than the traditional environmental services. **Objective.** To determine the costs required for cropping timber trees in a coffee plantation. **Materials and methods.** A complete cost structure of shading-trees cultivation in coffee plantations is reported. It is based on an individual tree model due to its greater applicability. The cost model is based on the cultivation of a maximum of 275 trees.ha⁻¹ (6 x6 m in an irregular distribution), which allows a thinning of 50% of the trees in year 7, for

the cultivation of laurel (*Cordia alliodora*) and cedro (*Cedrela odorata*) trees mainly, at altitudes between 700 and 1450 meters above sea level.

Results. Production costs of a timber tree up to year 15 is $\text{¢}2386.\text{tree}^{-1}$ (US\$4, exchange rate of $\text{¢}600$), where 50% corresponds to labor work, 24% to management and technical assistance, 15% to fertilizers and other inputs and 11% for the trees. Laurel tree intercepts 60% of solar radiation with no effect in the production of 36.5 bushels.ha⁻¹ in ovata coffee variety at 1200 masl. **Conclusions.** The total costs of planting 275 trees.ha⁻¹ in AFS with coffee is $\text{¢}2386.\text{tree}^{-1}$ (US\$3.98). A financing scenario could make a capital contribution of $\text{¢}950$ per tree in year 0, another capital contribution of $\text{¢}850$ in year 5, for a total of $\text{¢}1750.\text{tree}^{-1}$ (\$2.9). However, FONAFIFO's current financing model for coffee production in AFS could keep its capital contribution scheme in the first five years and same amount of $\text{¢}2000$ per tree, in order to avoid volatility in agrochemicals prices. The cultivation of timber-shade trees in coffee is low and would have a high economic, social and environmental impact on coffee farming in Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

La caficultura en Costa Rica es una actividad productiva tradicional que se desarrolla desde hace más de 200 años, donde se benefician más de 38 000 familias productoras en 8 regiones del país que suman un total de 93 697 ha (SEPSA 2023).

El café en Costa Rica es la actividad económica con mayor trascendencia a lo largo de la historia, con influencia importante en el desarrollo del modelo socioeconómico del país, hasta casi finales del siglo XX (Jiménez 2013). El café siempre ha sido base fundamental y motor para el desarrollo económico, social y cultural de Costa Rica, que ha llegado a representar el 8% de la fuerza laboral costarricense. El asocio del cultivo del café con árboles maderables como

el cedro (*cedrela odorata*) y el laurel (*cordia alliodora*), ha sido una práctica convencional de amplia utilización no solo en Costa Rica (Beer *et al.* 1997, Salgado 2010, Castillo *et al.* 2017, González-Rojas *et al.* 2018a, Murillo 2016, Murillo y Badilla 2022), sino en países como Colombia, México, Nicaragua, Guatemala y Honduras (Salgado 2010, Jiménez 2012, López-Sánchez y Musalem 2007, Sánchez *et al.* 2017, López-Sampson *et al.* 2020). La caficultura ofrece, por tanto, un espacio prometedor para la producción sostenible de madera de alta calidad en toda las 8 regiones cafetaleras del país. Sin embargo, el SAF en café, ha sido abordado casi exclusivamente como proveedor de servicios ambientales, como sombra, aporte de nitrógeno, biodiversidad, protección contra el viento, entre otros, donde el enfoque sobre su aporte

socioeconómico ha sido débilmente analizado (Beer *et al.* 1997, Dzib Castillo 2003, Salgado 2010, Jiménez 2012, Murillo y Badilla 2022). De manera excepcional están los trabajos desarrollados en CATIE, Turrialba, en los años 80 y 90's, donde Hernández *et al.* (1997) revisaron el aporte económico de la madera de laurel en la economía de cafetales con la variedad caturra.

En los últimos años, cambios sensibles en el precio internacional del grano, tienen al sector en condiciones que han provocado el colapso de algunas organizaciones y de muchos productores de café. Junto con la inestabilidad en el precio, los problemas fitosanitarios como la roya, el ojo de gallo y la antracnosis afectan directamente la productividad y la economía de los productores (Dzib Castillo 2003, Calvé *et al.* 2020). Los precios de los insumos junto con la mano de obra costosa de la región, aún son elementos críticos en la actividad cafetalera.

Es así como el asocio de árboles maderables como sombra en el cafetal podrían incrementar los servicios ambientales, como lo es en la biodiversidad y en la fijación de carbono, en concordancia con las políticas nacionales (NAMA) de acciones para mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Salgado 2010). Más relevante aún, para el productor es procurar más ingresos y estabilidad económica como ha sido reportado recientemente (González-Rojas *et al.* 2018a, Calvé *et al.* 2020, López-Sampson *et al.* 2020), a partir del abastecimiento de materia prima para la generación de energía.

La actividad productiva forestal ha registrado una baja tasa anual de reforestación en la última década, lo que ha provocado una escasez importante de madera en el mercado local (ONF 2022). Por tanto, la caficultura nacional ofrece una oportunidad para promover la incorporación del cultivo asociado de madera con alto valor de aceptación del mercado. Estudios recientes han mostrado el impacto económico y financiero del cultivo de cedro en la región de Pérez Zeledón, Pacífico sur del país, (González-Rojas *et al.* 2018b), donde se reporta un ingreso promedio de \$5000.ha⁻¹ en 16 años (Calvé *et al.* 2020). Los

casos analizados evidenciaron que la incorporación de los árboles ha ocurrido sin planificación o manejo técnico, con ausencia de elementos de manejo como densidad de siembra, calidad genética de los árboles, priorización de especies por su mercado y calidad de madera, realización de poda de ramas, entre otros (Murillo 2016, Murillo 2018, Murillo *et al.* 2018, Murillo y Badilla 2022). El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), adscrito al MINAE, creó hace más de 10 años la opción de financiamiento del cultivo de árboles maderables en sistemas agroforestales (SAF). Sin embargo, el monto general que se otorga de €2000 por árbol para todo tipo de SAF, es un aproximado de los costos reales. Esto ha motivado el desarrollo de estudios técnicos conjuntos entre la academia y el FONAFIFO, para revisar modelos de costos y proponer esquemas de financiamiento diferenciados por actividad, tal y como se realizó recientemente con SAF silvopastoriles (Ospino *et al.* 2020, Ospino *et al.* 2022).

Los cafetales podrían entonces convertirse en proveedores de madera de alto valor para la sociedad, siempre y cuando se trabaje con un programa tecnológico, apoyado por un esquema de financiamiento adaptado a las condiciones del manejo de los árboles. Este estudio por tanto, se realizó con el propósito de determinar los costos reales asociados a las actividades exclusivas de establecimiento y manejo de los árboles en el SAF de café y proponer una estructura de financiamiento, fundamentado en las necesidades de capital y momento oportuno para su otorgamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo de café con árboles maderables utilizado en esta investigación, se apoya en las experiencias generadas desde el 2016 en fincas cafetaleras y de productores asociados de CoopeVictoria y CoopeAtenas, en el valle central occidental, así como en CoopeAgri en Pérez Zeledón, Pacífico central del país (Murillo 2016, Castillo *et al.* 2017, Calvé *et al.* 2020, Murillo y

Badilla 2022). Se establecieron SAF de café con las especies maderables nativas laurel (*Cordia alliodora*), cedro (*Cedrela odorata*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), cenízaro (*Samanea saman*), almendro (*Dipteryx panamensis*) a distintas densidades de siembra. En zonas cálidas y por debajo de los 1000 msnm se plantaron clones de melina (*Gmelina arborea*) por su ciclo rápido de 6 años. Todos los cafetales plantados con maderables se localizan en altitudes desde los 700 hasta los 1450 msnm, donde predomina un clima con un periodo lluvioso establecido desde mayo a diciembre y con una precipitación no menor a los 2400 mm.año⁻¹, con lluvias esporádicas durante el periodo seco comprendido entre enero y abril.

El estudio de costos se desarrolló con base en la cantidad de árboles plantados con un espaciamiento de 6 x 6 m (cada 4ta hilera y cada 7 plantas, para un total de 275 individuos. ha⁻¹). Este distanciamiento de siembra se basó en la proyección esperada de desarrollo de la

copa (sombrió), que permitiera producir la mayor cantidad de madera y fijación de carbono posible por ha (Murillo 2016, Castillo *et al.* 2017). Como elemento importante, se asumió que las labores habituales de manejo del cafetal como el control de malezas, fertilización, atomizaciones contra plagas y enfermedades, etc., no se mezclaran con los costos de manejo de los árboles. El modelo de costos desarrollado se basó solamente en los aspectos técnicos asociados a la siembra y manejo de los árboles maderables, como fueron el costo de los árboles, costos de distribución y siembra en el terreno, labores de podas, raleos y cosecha final (Tabla 1). Es importante mencionar que las actividades silviculturales de manejo de los árboles fueron las mismas en este grupo de especies. Este mismo principio metodológico se realizó para la construcción del modelo de costos del SAF silvopastoril (Ospino *et al.* 2020), donde se cuantificaron solamente las labores e insumos relacionadas con el componente arboreo del SAF.

Tabla 1. Actividades e insumos incluidos en la estimación del costo de manejo de árboles maderables en el SAF-café en Costa Rica.

| Actividad, insumo | Año de aplicación, puede variar según el desarrollo de la especie |
|--|---|
| Árbol, 275 individuos de sombra por ha más 150 de rompeviento | Año 1 |
| Cal y fertilizante inicial por árbol, 100 y 75 g respectivamente | Año 1 |
| Siembra con hoyadora, aproximadamente 1000 hoyos/jornal | Año 1 |
| Combustibles y lubricantes del equipo hoyador de siembra, aproximadamente 3 tanques de combustible y aceites | Año 1 |
| Poda temprana de formación | Mes 3 al 6 |
| I Poda baja (1,5 m) | Mes 12 al 18 |
| II Poda baja (2,5m) | Mes 24 |
| Poda media (4,75m) | Mes 30 al 36 |
| Raleo semi comercial, 40-50% árboles de sombra y 40-50% de los maderables del rompeviento | Año 7 |
| Cosecha | Año 6 (melina) y año 15 las demás especies |

El SAF se manejó bajo el supuesto de que los árboles maderables alcanzarían dimensiones de alto valor comercial (DAP aproximado de 35 cm) a los 15 años en todas estas especies. Experiencias con cedro en la región de Pérez Zeledón (González-Rojas *et al.* 2018b, Calvé *et al.* 2020) y con laurel en el valle central (Murillo y Badilla 2022), demuestran que la tasa de crecimiento anual es elevada, por la integración con el manejo del café, en relación con el control de malezas y la fertilización anual.

Se cuantificaron los costos de los diversos tipos de poda asociados al manejo de los árboles, tal y como la poda de formación temprana (a los 3 a 5 meses para eliminar plantas con pérdida de dominancia apical), poda baja (hasta los 2,5 m del fuste, en el año 1 o 2) y poda media (hasta los 4,75 m del fuste, en el año 2 a 3). También se incluyó la poda de rama gruesa, que suele aparecer en los primeros 2 a 4 años de edad de los árboles. Los valores de rendimiento del trabajador para cada una de estas labores, se cuantificó en campo y se compararon con estas mismas labores determinadas para plantaciones forestales ordinarias, según el método de tiempos y rendimientos (Guevara y Murillo 2009, Guevara y

Murillo 2021, Vallejos 2019). La altura de la poda baja y poda media del fuste se basó en el criterio técnico utilizado en plantaciones forestales ordinarias, donde se define la altura de poda con base en el largo de la troza comercial, usualmente de 2,3 m de longitud.

La práctica del descope o descumbra tal y como se practica usualmente con el poró (*Erythrina poeppigiana*) y la guaba (*Inga spp.*), no fue incluida en el modelo de costos debido a que del árbol maderable se espera un mayor desarrollo de fuste con fines comerciales. La experiencia de campo determinó como mejor estrategia de sombra, permitir al árbol maderable que continuara con su desarrollo como sombra alta. Se observó también como una mejor práctica, mantener la presencia del árbol de guaba (*Inga spp.*) en el SAF intercalada con los maderables, de modo que provea sombra de estrato bajo y como fuente de aporte de nitrógeno.

El costo de la mano de obra se basó en el salario mínimo establecido por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Costa Rica, II semestre (MTSS 2022) para un trabajador no calificado (Tabla 2). El costo del jornal utilizado fue de ₡10 875. De acuerdo con la normativa

Tabla 2. Cargas sociales del sistema costarricense de seguridad social correspondientes al II semestre 2022, Costa Rica.

| Rubro | Porcentaje (%) |
|---|----------------|
| Invalidez, Vejez y Muerte (IVM) | 5,25 |
| Seguro de Enfermedad y Maternidad (SEM) | 9,25 |
| IMAS | 0,50 |
| FODESAF | 5,00 |
| Banco Popular | 0,25 |
| Régimen Obligatorio Pensiones Complem. | 2,00 |
| Fondo de Capitalización Laboral | 1,50 |
| INS (Inst. Nacional de Seguros) | 1,00 |
| INA (Inst. Nacional de Aprendizaje) | 1,50 |
| Prestaciones Legales (Cesantía)* | 0,00 |
| Aguinaldo | 8,33 |
| Vacaciones | 5,20 |
| Total | 39,78 |

* Se asume que por ser un contrato ocasional y de tiempo definido, no se incluye el costo de la cesantía (8,33%).

actual de protección al trabajador, se debe incluir la mayor parte de las cargas sociales, tal y como se indica en dicha tabla.

Adicional a las cargas sociales, al peón agrícola en labores forestales se le incluye una póliza obligatoria de riesgo laboral con un costo de un 4,61% del jornal o la planilla según la Superintendencia General de Seguros (SUGESE 2017). Por lo tanto, el jornal con cargas sociales utilizado en esta investigación fue de $\text{¢}15\,200$. Mientras que el jornal con cargas sociales y la póliza obligatoria del Instituto Nacional de Seguros (INS) de riesgos laborales fue $\text{¢}15\,902$.

Los costos de la regencia forestal y de la asistencia técnica se establecieron y se adecuaron con la base definida por el Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica (CIAgro) para el 2022 como se muestra en la Tabla 3. El costo de una

hora profesional de visita a campo se basó en $\text{¢}27\,100$ y el costo de una hora oficina se estimó en $\text{¢}16\,260$ (60% de visita a campo). Como parte de los costos de las visitas a campo, se consideró que son visitas cortas con una única alimentación establecida en $\text{¢}5\,000$, mientras que el gasto de combustible se asumió en $\text{¢}10\,000$. El costo de inscripción de la regencia fue de $\text{¢}4\,140$, mientras que la inscripción de la regencia para el raleo y cosecha fue de $\text{¢}6\,665$, ambos montos establecidos por el CIAgro para una pequeña producción menor a 2000 árboles. El modelo de costos se construyó sobre la base de 3 ha como tamaño promedio de una finca de café en Costa Rica (INEC 2015). Por tanto, los costos de la regencia y asistencia técnica se basaron en esta relación de área y cantidad de árboles según densidad de siembra flexible.

Tabla 3. Costos de la asistencia técnica*, regencia e informes técnicos para el cultivo de árboles maderables como sombra en sistema agroforestal de café (N = 425 árboles.ha⁻¹ entre sombra y rompeviento). Esta cantidad de árboles se aumentó a 1275, basado en 3ha como tamaño promedio del cafetal en Costa Rica.

| Año | Horas Campo | Horas Oficina | Viaje al Proyecto | Asistencia Campo Oficina (¢) | Viáticos + Gasolina (¢) | Inscripción Informes (¢) | Total Asistencia Técnica (¢) |
|--------------------------------------|-------------|---------------|-------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Año 0 | 2 | 2 | 1 | 102 980 | 15 000 | 6665 | 124 645 |
| Año 1 | 1 | 1 | 1 | 59 620 | 15 000 | 4140 | 78 760 |
| Año 3 | 1 | 1 | 1 | 59 620 | 15 000 | | 74 620 |
| Año 7 raleo (50%) | 2 | 1 | 1 | 86 720 | 15 000 | 6665 | 108 385 |
| Año 15 cosecha (225 m ³) | 4 | 1 | 1 | 140 920 | 15 000 | 6665 | 162 585 |
| Total | 10 | 6 | 5 | 449 860 | 75 000 | 24 135 | 548 995 |

* Datos del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica (CIAGRO).

Todos los costos se ajustaron por árbol, por adecuarse a distintas densidades de siembra de los maderables para sombra. Para el prorrateo de los cálculos por árbol, se utilizó una base de densidad de 275 árboles.ha⁻¹ (distanciamiento de 6 x 6 m), más una cantidad de 150 árboles.ha⁻¹ en rompevientos, plantados en 2 hileras de

100 m.ha⁻¹ de longitud (distanciamiento de 2 m para los maderables como el pino y el ciprés y, 1 m para el rompeviento de porte bajo, como el colpachí, trueno entre otros). En total, cada ha de café contó con 275 árboles maderables de sombra y 150 árboles en 100 m lineales de rompeviento, en uno de sus flancos de mayor exposición.

Como parte de los estudios se determinó también el rendimiento del café bajo sombra y sin sombra con árboles de laurel en CoopeVictoria, Grecia, a 1200 msnm, con la variedad de café Ovatá. De una muestra aleatoria de 15 árboles de laurel de 5 años de edad, se tomaron datos de producción de granos de café en 4 plantas próximas, en cada uno de los 4 puntos cardinales debajo de árbol. Los datos se compararon con 4 plantas próximas por árbol sin el efecto de la sombra (a unos 7m de distancia). Con el uso de un Ceptómetro se determinó la magnitud de

intercepción de la radiación solar entre las 9 y 11 am en un día sin nubes.

Finalmente, para la relación de los costos en colones con el dólar, se estableció con la tasa de cambio en ₡600.

RESULTADOS

En la Tabla 4 se detallan los costos de formulación técnica y gestión de los fondos (regencia), costos del árbol maderable y su siembra en asocio con el cultivo de café en modalidad agroforestal.

Tabla 4. Costo por árbol relacionado con la formulación y gestión financiera técnica (regencia), junto con la siembra en el sistema agroforestal de café. Costa Rica.

| Actividad | Año | Costo/árbol (₡) |
|--|-----|-----------------|
| Formulación y gestión del SAF ante el FONAFIFO | 0 | 151 |
| Costo de cada árbol | 0 | 265* |
| Siembra y fertilización del árbol (costo de la planta, hoyado e insumos) | 0 | 552 |
| Total | 0 | 968 |

* El costo de la planta en vivero fue de ₡265 por unidad (Murillo, Badilla y Barboza 2018).

Se observó que el costo de la siembra y los insumos asociados constituyó el rubro más alto con un 57% del gran total, seguido por el costo de los árboles con un 27% del total. Mientras que la asistencia técnica de gestión fue de un 16%.

En la Tabla 5 se exponen los costos asociados a las labores de manejo y cosecha de los árboles maderables en el sistema agroforestal de café.

Tabla 5. Costos del manejo y cosecha de los árboles maderables en el sistema agroforestal de café (IUS\$ = ₡600).

| Actividad | Año | Costo/árbol (₡) |
|--|---------|-----------------|
| Poda inicial de formación y poda de rama baja hasta 2,5 m de fuste | 0,5 y 2 | 73 |
| Poda de rama y poda gruesa hasta 4,75m | 2 y 3 | 39 |
| *Cosecha de melina (n = 700 en 3ha) | 6 | (608*) |
| Raleo 50% de los maderables del rompeviento (n = 60 en 3ha) | 7 | 273 |
| Raleo 50% de árboles de sombra (n = 350 en 3ha) | 7 | 507 |
| Despunta lateral de copa para reducir sombrío (opcional) | 10 | 88 |
| Cosecha (n = 400 en 3ha) | 15 | 608 |
| Total | | 1588 |

* Datos exclusivos para melina (*Gmelina arborea*) por su ciclo corto de 6 años.

De las actividades de manejo de los árboles maderables, se observa que la cosecha es la más costosa pues representó un 38% del total.

Si se suman todos los costos resulta en un total de $\text{¢}2386.\text{árbol}^{-1}$ (US\$3,98 a una tasa de $\text{¢}600/1\text{\$}$), que es ligeramente superior a los $\text{¢}2000.\text{árbol}^{-1}$ que otorga el FONAFIFO para sistemas agroforestales por un periodo de 5 años.

En la Figura 1 se observa la distribución de los costos según el rubro, donde sobresale la mano de obra con poco más del 50%. Puede también notarse que la asistencia técnica representa un costo elevado superior al 24%, sin embargo, contempla el apoyo técnico a lo largo de todo el cultivo hasta el año 15. Con especial participación en los momentos críticos, como lo son, las podas, los raleos y la cosecha final.

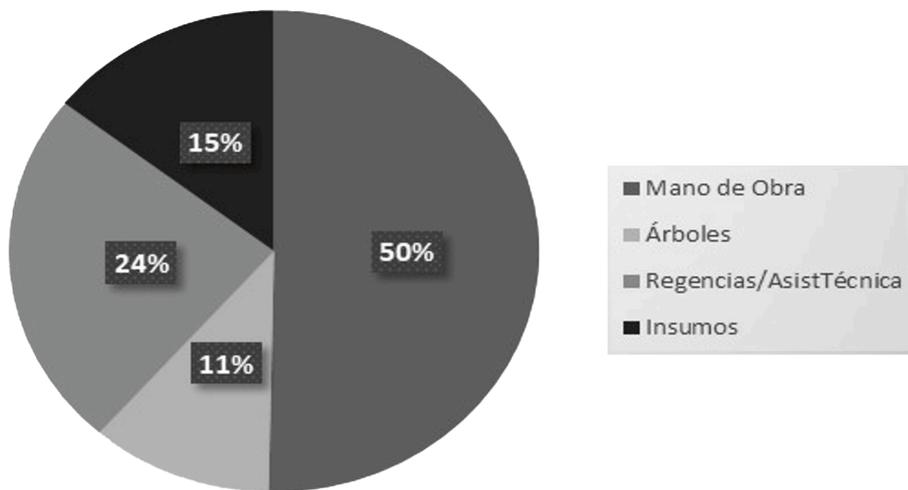


Figura 1. Distribución de los costos de manejo y producción de árboles maderables en sistemas agroforestales de café, Costa Rica.

DISCUSIÓN

De manera complementaria, los datos de producción de café variedad Ovatá con sombra de laurel ($275 \text{ árboles}.\text{ha}^{-1}$ o $6 \times 6 \text{ m}$, con un 60% de intercepción solar), no mostraron diferencias significativas con respecto a las plantas de café en plena exposición solar, con $36,25 \text{ fanegas}.\text{ha}^{-1}$, a 1200 msnm en CoopeVictoria, Grecia.

De manera general, los resultados son congruentes con lo esperado en el sentido de que los únicos costos reales son los asociados a las podas, raleos y cosecha forestales. Las demás actividades de mantenimiento de los árboles como el control de malezas, fertilizaciones, atomizaciones de plagas y enfermedades entre otros, son asumidas por el cafetal en su programa convencional de manejo y producción. Lo cual

explica que el peso de la asistencia técnica/regencia alcance un 24%, superior al valor reportado recientemente en otros sistemas agroforestales, superior también al tradicional 18% otorgado por el FONAFIFO a las ONG que fomentan reforestación (Ospino *et al.* 2020).

El modelo de financiamiento que otorga el FONAFIFO no contempla el apoyo financiero para la asistencia técnica a través de los 15 años de producción, ni para las actividades de raleos o cosecha final. Se destaca que este modelo de costos resultante es más completo y logra incluir todas las actividades necesarias durante los 15 años del ciclo de producción del árbol maderable, lo cual justifica parcialmente el monto relativo alto de la asistencia técnica, que supera el 24% de los costos totales.

Si se analiza la función de la regencia/asistencia técnica; incluyeron solamente las visitas y asistencia técnica mínimas de rigor, en los momentos esenciales, es decir, durante el establecimiento, al año 1 y durante los 2 raleos y cosecha. Se asume que durante el año 1 es cuando se debe realizar, por ejemplo, la poda de formación al mes 3-4 y la primera poda baja a los 9-12 meses. En relación con la tasa de crecimiento del árbol, una segunda poda baja hasta limpiar de ramas 3m de fuste se debe realizar, aproximadamente entre el año 2 y 3, que se estima que podría ser satisfecha con una asistencia técnica corta y breve de menor costo para el productor (visita de 1 hora, Tabla 3). Sin embargo, la actividad de raleo y de cosecha, requieren ambas de mayor apoyo técnico en aspectos como, selección de los árboles a eliminar, medición correcta de la madera, supervisión de la ejecución correcta de las labores, así como la gestión de los permisos para transportar la madera hasta la industria. Lo cual explica una mayor cantidad de horas de visita técnica para ambas actividades de corta de árboles.

Ya que el modelo de costos se basa integralmente en las actividades durante todo el ciclo de producción de la madera definida para 15 años, podría explicarse la diferencia con un costo levemente inferior a los $\text{€}2000.\text{árbol}^{-1}$, que

ha propuesto el FONAFIFO con fundamento en contratos de 5 años para SAF.

A pesar de que el sistema de producción de café asume importante cifra de los costos de mantenimiento de los árboles en el SAF, las actividades de siembra y manejo como podas y raleos, requieren más jornales para su ejecución que en suma, comprenden el 50% de todos los costos. Estudios similares de costos con otros SAF (sistemas silvopastoriles) determinaron que la mano de obra registra entre un 41 y un 44% (Ospino *et al.* 2020).

Si se analizan los costos en el tiempo, se puede determinar que para el inicio del proyecto (años 0 y 1), se requiere de un aporte de capital de poco más de $\text{€}900.\text{árbol}^{-1}$ (38%), que bien podrían establecerse en $\text{€}950.\text{árbol}^{-1}$ (40%) para cubrir imprevistos. Para los años 2 y 3 se requiere de un aporte de capital sumamente bajo ($\text{€}64 < 3\%$), que podría incluir el 40% inicial de financiamiento requerido. Por tanto, el aporte de capital inicial bien podría quedar en $\text{€}950.\text{árbol}^{-1}$ para asegurar el buen inicio del proyecto en sus primeros 3 años, junto a la asistencia técnica.

Para el año 5 debería ocurrir un aporte de capital que cubra los costos de los 2 raleos (año 5 y 7), por un monto de $\text{€}780.\text{árbol}^{-1}$ (33%), que bien podría establecerse en $\text{€}800$ (33%), monto suficiente para incluir la regencia respectiva. Finalmente, está el costo de la despunta de copa o reducción de rama lateral para disminuir la sombra excesiva (año 11), cuyo costo es de tan solo $\text{€}88$. Esta es una actividad optativa y no necesariamente presente para todas las especies, que trata de reducir la sombra excesiva en caso de que ocurra. Por tanto, no se asume que signifique un costo alto ni significativo para el productor de café.

Finalmente, si se asume que para la cosecha no es necesario aporte de capital, dado que es una actividad rentable, el 27% restante podría no incluirse en el financiamiento. Un buen escenario de financiamiento podría entonces, reducirse a un aporte de capital inicial en el año 0 de un 40% de los costos y otro en el año 5 de un 35% de los costos, por un total de $\text{€}1750.\text{árbol}^{-1}$ ($\text{\$}2,9.\text{árbol}^{-1}$).

Resultaría en una suma ligeramente inferior a los $\text{¢}2000.\text{árbol}^{-1}$, monto que actualmente otorga el sistema de financiamiento del FONAFIFO para SAF para los primeros 5 años. Sin embargo, el precio de los agroquímicos muestra una volatilidad importante que podría afectar el esquema de financiamiento de los maderables. Para evitar un efecto negativo para los productores, sería conveniente aumentar en proporción, el aporte de capital inicial para mantener el monto total en $\text{¢}2000$ por árbol.

El financiamiento del cultivo de los árboles maderables se podría mantener en el esquema actual del FONAFIFO en monto y plazos, para SAF con café. Adicionalmente se evidenciarían de manera general los ingresos reportados recientemente por la madera de cedro en cafetales de Pérez Zeledón (González-Rojas *et al.* 2018a, Calvé *et al.* 2020). Se determinó un valor aproximado de $\text{\$}5000.\text{ha}^{-1}$ en 125 árboles de cedro de cosecha, que corresponde a aproximadamente $\text{\$}40.\text{árbol}^{-1}$. Sin embargo, si se observa que las demás maderas plantadas en estos SAF con café, mantienen un precio en el mercado de alrededor de un 50% inferior al cedro (ONF 2022), aún así los ingresos esperados por la madera superarían los $\text{\$}20\text{-}\text{\$}25.\text{árbol}^{-1}$, valor que supera ampliamente los costos de inversión.

De manera complementaria, se pudo determinar específicamente que el laurel ejerce una sombra o intercepción de un 60% con más de 250 árboles. ha^{-1} en la zona de Grecia (1200 msnm), en los meses de la estación seca. Más importante aún, la sombra ejercida, no registró una disminución significativa en la producción promedio de 36,5 fanegas por ha con la variedad Ovatá. La intercepción de la radiación puede variar de manera importante según la arquitectura de copa de cada especie. El laurel resulta por excelencia, un árbol cuya sombra no es agresiva ni densa, ideal para sistemas agroforestales en general. Futuros estudios deberán abordar el tema de la densidad de sombra apropiada para cada especie, en función de la producción del cafetal. Los resultados de estas investigaciones se espera que contribuyan al fomento del cultivo de árboles maderables en el SAF de café en el país.

CONCLUSIONES

El costo total para cultivar árboles maderables en un SAF café es de $\text{¢}2386.\text{árbol}^{-1}$ (US $\text{\$}3,98$).

La mano de obra representa el 50% del costo total, mientras que la asistencia técnica supera el 24%. Los insumos requieren de un 15% de la inversión, mientras que árboles solamente un 11% del total.

Un buen escenario de financiamiento podría realizar un aporte de capital en el año 0 por un monto de $\text{¢}950$ por árbol y otro aporte en el año 5, por un monto de $\text{¢}800$ por árbol, por un total de $\text{¢}1750.\text{árbol}^{-1}$ ($\text{\$}2,9.\text{árbol}^{-1}$). Sin embargo, para evitar un efecto negativo para los productores, producto de la volatilidad de los costos de mercado de los insumos, sería conveniente aumentar en alguna medida, el aporte de capital inicial para mantener el monto total en $\text{¢}2000$ por árbol.

El modelo de financiamiento actual del FONAFIFO para SAF café, podría mantener su esquema de aportes de capital en los primeros 5 años.

LITERATURA CITADA

- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1997. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry systems* 38(1-3):139-164.
- Calvé, S; Murillo, O; Salazar, L; Córdoba, D. 2020. Aporte económico de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L.) como árbol de sombra en cafetales de Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 17(41):68-77.
- Castillo, H; Montoya, P; Badilla, Y; Murillo, O. 2017. Diseños para incorporar maderables de alto valor en SAF café. *In* I Simposio Cultivo Especies Forestales Nativas. Estación Forestal Experimental Horizontes, Liberia, Guanacaste. 5-6 diciembre. sp.
- Dzib Castillo, B. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 124 p.
- González-Rojas, M; Murillo-Cruz, R; Ávila, C. 2018a. Rentabilidad financiera de *Cedrela odorata* L. en sistemas agroforestales con café en Pérez Zeledón,

- Costa Rica. Revista de Ciencias Ambientales 52(1):129-144.
- González-Rojas, M; Murillo-Cruz, R; Virgínio-Filho, E. de M; Ávila-Arias, C. 2018b. Influencia de factores biofísicos y de manejo en el crecimiento de *Cedrela odorata* L. en asocio con café en Pérez Zeledón, Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 15(36):46-58.
- Guevara, M; Murillo, O. 2009. Costos y rendimientos de ocho tipos de poda en plantaciones jóvenes de *Acacia mangium* Willd en la zona norte de Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 6(17):51-57.
- Guevara, M; Murillo, O. 2021. Productividad y costos del primer raleo en plantaciones de *Acacia mangium* Willd en la zona norte de Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 16(42):55-61.
- Hernández, O; Beer, J; Von Planten, H. 1997. Rendimiento de café (*Coffea arabica* cv caturra), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financieros de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. Agroforestería en las Américas 4(13):8-13.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales. San José, Costa Rica. 146 p.
- Jiménez, NG. 2012. Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 122 p.
- Jiménez, A. 2013. El café en Costa Rica. Gran modelador del costarricense. San José, Costa Rica, Editorial Universidad de Costa Rica. 692 p.
- López-Sampson, A; Sepúlveda, N; Barrios, M; Somarriba, E; Munguía, R; Moraga, P; Ponce, A; Orozco-Aguilar, L; Navarrete, E; Navarrete, L. 2020. Long-term effects of shade and input levels on coffee yields in the Pacific region of Nicaragua. Bois et Forêts des Tropiques 346(4):21-33.
- López-Sánchez, E; Musalem, MA. 2007. Sistemas agroforestales con cedro rojo, cedro nogal y primavera, una alternativa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales en los Tuxtlas, Veracruz, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 13(1):59-66.
- MTSS (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social). 2022. Lista de salarios mínimos sector privado año 2022. Costa Rica, Según Decreto N° 43365-MTSS, publicado en la Gaceta N° 247, del 23 de diciembre del 2021.
- Murillo, O. 2016. Diseños para aumentar el aporte económico del componente forestal en sistemas silvopastoriles y en café arbolado. In I Congreso Internacional de Vainilla y Sistemas Agroforestales. Santa Clara, San Carlos, Costa Rica. 7-11 marzo. sp.
- Murillo, O. 2018. ¿Cuáles especies forestales nativas debemos priorizar en el país? Ambientico 267(1):4-9.
- Murillo, O; Badilla, Y; Barboza, S. 2018. Costos de producción de clones de especies forestales en ambiente protegido. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 15(37):15-24.
- Murillo, O; Badilla, Y. 2022. Árboles maderables como sombra de café. Investiga. TEC. 15(45):11-14.
- ONF (Oficina Nacional Forestal). 2022. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas 2021 y Precios 2022. Heredia, Costa Rica, Oficina Nacional Forestal. 48 p.
- Ospino, M; Badilla, Y; Paniagua, W; Campos, C; Murillo, O. 2020. Costos de producción de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) en sistemas silvopastoriles de la zona norte de Costa Rica. Agronomía Costarricense 44(2):155-173.
- Ospino, M; Murillo, O. Alfaro, M. 2022. Análisis financiero y escenarios de financiamiento del componente forestal en sistemas silvopastoriles. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 19(45):28-45.
- Salgado, JL. 2010. Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistema agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 110 p.
- Sánchez, S; Mendoza, MA; García, RV. 2017. Diversificación de la sombra tradicional de cafetales en Veracruz mediante especies maderables. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 8(40):7-17.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2023. Boletín Estadístico Agropecuario Serie Cronológica 2019-2022. Edición N°. 33. Disponible en <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BEA-0033.pdf>
- SUGESE (Superintendencia General de Seguros). 2017. Seguro de Riesgos del Trabajo. Tarifas autorizadas del sector privado por actividad económica. Publicado en Alcance N° 207 de La Gaceta N° 191 del 05 de octubre de 2016. Costa Rica. Consultado 30 ene. 2023. Disponible en www.sugese.fi.cr/seccion-seguros-obligatorios/SegurosRT/Tarifas_RT_sector_privado_a_partir01_01_7.pdf
- Vallejos, J. 2019. El cultivo del pilón (*Hyeronima alchorneoides* Allemão) en Costa Rica. Tesis de Maestría, Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 117 p.

VALIDACIÓN DE DESCRIPTORES PARA LA CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE CINCO MATERIALES DE CAS [*Psidium friedrichsthalianum* (O. BERG) NIEDENZU] EN COSTA RICA

Jonathan Monge-Solis¹, Fabián Echeverría-Beirute^{2/*}

Palabras clave: Myrtaceae; botánica; germoplasma; fenotipo; diversidad.
Keywords: Myrtaceae; botany; germplasm; phenotypic; diversity.

Recibido: 03/10/22

Aceptado: 09/03/23

RESUMEN

Introducción. Según Biodiversity International, un descriptor es definido como un atributo, o carácter medible, propio en una accesión de un banco genético. La estandarización de descriptores es importante pues incurre en generar información en un lenguaje que permite su interpretación a nivel global. La caracterización de cultivos es indispensable para evaluar su diversidad, clasificación, conservación y explotación, sin embargo, es extensa la lista de estas plantas que aún no han sido adecuadamente descritas. El cas (*Psidium friedrichsthalianum*) es nativo de Costa Rica, su fruta de corte alimenticio es muy común, por lo que su producción y usos en los últimos años ha aumentado, sin embargo, aun es un cultivo poco estudiado. **Objetivo.** Validar una lista de descriptores para la caracterización del cas presente en el país, como aporte para su mejoramiento genético. **Materiales y métodos.**

Se adaptaron descriptores y caracterización morfológica de diferentes especies de la familia Myrtaceae y se evaluaron en campo, 5 accesiones de cas criollo costarricense ubicadas en 5 fincas productoras, en las provincias de Cartago, San José, Heredia y Limón. **Resultados.** Los resultados de campo junto con observaciones adicionales se compararon y se identificaron con posibles descriptores discriminantes para el cas criollo costarricense. **Conclusiones.** Se logró desarrollar un descriptor varietal para la caracterización morfológica del cultivo de cas criollo costarricense aplicado en diferentes accesiones genéticas. De la caracterización morfológica, se obtuvo que las variables diámetro de la cavidad del caliz, número de pétalos, relación longitud / diámetro del fruto, largo del pistilo, relación longitud / ancho de la hoja, diámetro del fruto y longitud del fruto son características que podrían actuar como descriptores discriminantes para el cas criollo costarricense.

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: fecheverria@itcr.ac.cr

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronomía, San Carlos, Alajuela, Costa Rica
 0000-0002-2950-2982.

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronomía, San Carlos, Alajuela, Costa Rica.

 0000-0002-7238-220X.

ABSTRACT

Descriptors validation for the morphological characterization of five cas accesions [*Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Niedenzu] in Costa Rica. Introduction. According to Biodiversity International, a descriptor is defined as an attribute, or a measurable character that is observed in an accession of a genetic bank. The importance of the standardization of descriptors is based on generating information under a universal language. The characterization of crops is essential to assess their diversity, classification, conservation and exploitation, however the list of plants that have not been described is vast. The cas (*Psidium friedrichsthalianum*) is native to Costa Rica, whose fruit is very common, and its production and uses have increased in recent years, even though, it is almost an orphan studied crop. **Objective.** Validate a descriptors list and

use it in the characterization of cas in the country, as opportunities for its genetic improvement may arise. **Materials and methods.** Descriptors and morphological characterization of different species of the Myrtaceae family were adapted and 5 accessions of Costa Rican creole located in 5 producing farms in the provinces of Cartago, San José, Heredia and Limón were evaluated in the field. **Results.** The field results, together with additional observations, were compared and possible discriminant descriptors within the Costa Rican creole cas were identified. **Conclusions.** it was developed a varietal descriptor to the morphologic characterization of Costa Rican creole cas and it was applied in different genetic accessions in the country. It got with the morlogic characterization that the variables calyx cavity diameter, petals number, relation long / fruit diameter, pistil long, relation long / leave width, fruit diameter and fruit long are possible discriminant descriptor to the Costa Rican creole cas.

INTRODUCCIÓN

Biodiversity International, conocida desde 1974 hasta 1991 como International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) y desde 1991 hasta el 2006 como International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), es una organización global dedicada al desarrollo y la investigación. La misma se ha encargado de desarrollar una metodología estándar para las listas de descriptores de plantas desde 1976, con la necesidad de crear un sistema universal para el manejo de datos de los recursos genéticos vegetales. Es así como se desarrollaron los 3 grandes tipos de descriptores con los que se cuenta desde el 2004: a. descriptores de cultivo, b. descriptores de pasaporte para cultivos múltiples (MCPD) y c. descriptores para tecnologías de marcadores genéticos. Además, el descriptor de cultivo se subdivide en 5 tipos: a. descriptores de pasaporte, b. descriptores de manejo, c. descriptores del sitio y medio ambiente, d. descriptores de

caracterización y e. descriptores de evaluación (Gotor *et al.* 2008).

Biodiversity International (2007) y Varela *et al.* (2015) definen un descriptor como la característica mínima de una planta que puede ser medible o descrita, con el objetivo de asignarle una clasificación. El desarrollo y uso de descriptores varietales tienen como fin alcanzar la caracterización de la mayor biodiversidad de plantas, por medio de una base estándar que facilite la recolección, almacenamiento, acceso y la interpretación de información por parte de sus usuarios. Para cada descriptor o carácter, se debe identificar al menos alguno de los siguientes valores: alta heredabilidad, alto valor taxonómico, alto valor agronómico, baja complejidad de medición y que posean pequeña variación dentro de las muestras (Valdés-Infante *et al.* 2012).

Los descriptores de caracterización de cultivo se refieren al estudio morfológico y son el primer paso, el más simple y el más efectivo, para la caracterización del germoplasma de

un cultivo (Ran *et al.* 2017). De preferencia, se incluyen en el descriptor caracteres altamente heredables, que puedan emplearse como descriptores discriminantes, es decir, caracteres que pueden diferenciar entre una accesión y otra (Biodiversity International 2007).

Esta caracterización morfológica es vital en la identificación de especies y variedades (Valdés-Infante *et al.* 2012, Ran *et al.* 2017, Das y Kumar 2014), la eliminación de duplicados en bancos de germoplasma (Ran *et al.* 2017, Das y Kumar 2014), la creación de catálogos de cultivos (Valdés-Infante *et al.* 2012), clave para proyectos de mejoramiento genético (Valdés-Infante *et al.* 2012, Araújo *et al.* 2012, Rodríguez *et al.* 2008) y fundamental en la industria de creación de máquinas relacionadas con labores agrícolas y agroindustria (Rodríguez *et al.* 2008), entre otros. Sin embargo, a pesar de su importancia, es larga la lista de especies que no cuentan con una caracterización que permita ser aprovechadas o mejorar su producción.

El cas (*Psidium friedrichstalianum*), pertenece a la familia Myrtaceae, de la cual, se han estudiado alrededor de 133 géneros, sin embargo, la caracterización taxonómica y botánica dentro del género *Psidium*, no ha incluido a dicha especie hasta el momento (Rivero-Maldonado *et al.* 2012 y Rivero-Maldonado *et al.* 2016).

El cas es un árbol frutal originario de América Central y Colombia. Su distribución va desde el sur de México hasta Venezuela y Ecuador (Govaerts *et al.* 2008). También se le conoce en la India, Cuba y Hawai (León 2000, Baraona 2000). El cas ha sido un árbol común en patios y lotes del Valle Central y otras regiones de Costa Rica (Rojas-Rodríguez y Torres-Córdoba 2013), pero del cual se cuenta con poca información histórica de establecimiento y producción, a pesar de ser un país donde la fruta ha tenido gran difusión.

En Costa Rica el cas ha estado ligado a la preparación de bebidas, helados y postres, y su producción ha aumentado en la última década con plantaciones distribuidas en 3 zonas principales: Pococí, Puriscal y Paraíso, que en conjunto

representan un 90% de la producción nacional (Vargas Sáenz 2014 citado en Sayago y Álvarez 2018). Los árboles han sido originados en su mayoría de semillas, por lo que es de esperar que haya variabilidad genética entre ellos (Barahona 2000). Incluso, Bogantes-Arias y Mora-Newcomer (2010) mencionan otras variantes de cas que existen en el país, el “cas brasileño” introducido desde Sur América y el “cas arrayán” presente en uno de los bancos de germoplasma del CATIE en Turrialba.

El cas es una oportunidad agrícola gracias al esfuerzo de productores que han visto el potencial de esta planta y se han encargado de expandir su producción en la última década en diferentes cantones del país (Vargas Sáenz 2014 citado en Sayago y Álvarez 2018). Tiene la ventaja de ser un cultivo nativo que se encuentra a lo largo de todo el país y por lo tanto puede inferirse que esté adaptado o al menos sea tolerante a la variación de condiciones edafoclimáticas y problemas fitosanitarios presentes en el territorio. Su establecimiento fue motivado por el potencial alimenticio de la fruta y en su momento se previó una creciente demanda (OFI/CATIE 2000, Baraona 2000), aspectos que se mantienen en firme. Al ser un árbol y llegar a alcanzar los 10 metros de altura, puede ser utilizado como parte de sistemas agroforestales o asociado con otros cultivos, como se ha manejado en el país, por lo que promueve un enfoque de sistema productivo ambientalmente sostenible o amigable, acorde con lo que el país ha impulsado con sus políticas de protección ambiental. Sin embargo, existe un vacío de información sobre esta especie, de la cual se conocen solamente generalidades botánicas y vaga información de su manejo agronómico, lo que limita su aprovechamiento.

Para iniciar con la caracterización de esta planta, se requiere la aplicación base de una herramienta para una descripción morfológica de las plantaciones presentes en el país. En este caso, la aplicación de un descriptor varietal permitiría con el uso de parámetros estandarizados, la comprensión y uso de los resultados a nivel global (Valdés-Infante *et al.* 2012). La

información recopilada con una lista de descriptores para el cas en Costa Rica se convertiría en el fundamento para identificar la diversidad de la especie y aquellas características discriminantes dentro de la misma, para contribuir a un buen manejo, conservación y aprovechamiento de su germoplasma. Dicha información se convierte en provecho de los especímenes más productivos, con mejores valores nutricionales, con resistencia a plagas y a factores abióticos, al procurar un sistema productivo más eficiente. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue validar descriptores por medio de análisis bibliográfico y visitas de campo para caracterizar morfológicamente 5 materiales de cas en Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se enfocó en desarrollar un descriptor varietal que permitiera describir fenotípicamente las plantas de cas. Se llevó a cabo una revisión de los trabajos realizados por Ran *et al.* (2017), Sharma *et al.* (2010), Rodríguez *et al.* (2008), Sánchez-Urdaneta *et al.* (2008), Pérez *et al.* (2016), Rodríguez-Medina *et al.* (2010), Kareem *et al.* (2018), Puppo *et al.* (2014), Valdés-Infante *et al.* (2012), Hernández-Delgado *et al.* (2018) y Sánchez-Urdaneta y Peña-Valdivia (2011) sobre los descriptores y caracterizaciones de especies de la familia Myrtaceae. De este análisis bibliográfico se seleccionaron las características morfológicas que resaltaban como descriptores discriminantes o que por su importancia agronómica deben incluirse en los descriptores varietales.

Adicionalmente, se procuró la descripción fenotípica de 5 accesiones de cas criollo costarricense, realizada entre setiembre y diciembre del 2020, mediante la lista de descriptores propuesta. Se utilizaron 5 fincas en donde se cultiva la planta, ubicadas en diferentes zonas de Costa Rica: Finca Cervantes (Cervantes de Cartago), Finca Experimental Santa Lucía (Barva de Heredia), Finca Nacho (Escazú de San José), Finca Bello Horizonte (Escazú de San José) y Finca Experimental Diamantes (Guápiles de Limón).

El muestreo se delimitó de acuerdo con la cantidad de árboles presentes en cada finca, de esta manera se registraron 5 unidades observacionales cuando la finca albergó entre 20 a 40 árboles, 8 unidades observacionales cuando fueron de 41 a 70 árboles, 10 unidades cuando se tuvieron de 71 a 100 árboles y 15 unidades cuando se contaba con más de 100 árboles. Los árboles se seleccionaron de manera aleatoria en las fincas Diamantes y Santa Lucía donde únicamente se realizó muestreo de hojas, ya que no había flores ni frutos; en las demás fincas se hizo una preselección de los árboles que tuvieran frutos y presencia de flores o brotes florales, para luego hacer una selección aleatoria y obtener las unidades muestrales del estudio.

De esta manera cada árbol de los 50 analizados se convierte en una unidad como muestra de cada finca y una unidad observacional en la totalidad del estudio. En todo caso, cada órgano de la planta estudiado se considera una unidad observacional.

Para la medición de los descriptores seleccionados se utilizaron instrumentos con escalas avaladas por el Sistema Internacional de Unidades (SI) y las abreviaturas de las unidades de medición aparecen entre corchetes al lado de cada descriptor, según corresponde. Se hizo uso de fotografías tomadas con una resolución 3264 x 2448 pixeles (8 MP) y del programa Just Color Picker para la clasificación de colores en código RGB, con la intención de disminuir el sesgo en el resultado por la percepción del ojo humano.

Las medidas de longitud fueron realizadas con vernier ($\pm 0,01$ mm), excepto la circunferencia del tallo que se midió con una cinta métrica ($\pm 0,01$ cm). Para las mediciones de peso se utilizó una balanza digital electrónica SF-400 (± 1 g) y para la toma de fotografías se utilizó una cámara con resolución de 3264 x 2448 pixeles (8 MP).

Cada muestra fue identificada para su posterior evaluación, para la cual no se dejó pasar más de 24 horas desde una vez extraída la muestra hasta realizar las respectivas mediciones. Las flores necesitaron ser almacenadas para su transporte en una hielera con hielo y de

esta manera mantenerlas en buen estado, ya que, en condiciones normales después de minutos de ser cortadas del árbol, comienza a darse abscisión de sus estambres. Los frutos utilizados tuvieron un máximo de 5 horas de caídos del árbol y en algunos casos para completar la muestra fue necesario tocar y botar del árbol los frutos que estuvieran a punto de caer. De esta forma se trató de homogenizar la edad de los frutos y su estado fisiológico.

Las variables cualitativas: forma de la hoja, forma del fruto y uniformidad del color de la pulpa, fueron detalladas como a continuación: la forma de la hoja se determinó como elíptica para todas aquellas hojas que tengan una relación longitud de la hoja / ancho de la hoja menor o igual que 2,35 y lanceolada para todas aquellas hojas que tengan una relación de longitud de la hoja / ancho de la hoja mayor que 2,35. En el caso de la forma del fruto se clasificó como achatado cuando su relación longitud del fruto / diámetro del fruto fue menor o igual que 0,95; redondo si la relación longitud del fruto / diámetro del fruto fue mayor que 0,95 y menor que 1,05 y elongado si la relación longitud del fruto / diámetro del fruto fue mayor o igual que 1,05. Para la uniformidad del color de la pulpa se tomó como base la siguiente distribución: alta si existía uniformidad mayor o igual al 80% del fruto, media cuando fuera mayor o igual al 60% y menor que el 80% y baja cuando hubo menor que un 60% de uniformidad de color de pulpa en el fruto.

El análisis estadístico se realizó a partir de la separación de los datos cuantitativos, cualitativos y los datos cuantitativos que resultaron de la evaluación de colores. Se utilizaron los programas InfoStat 2018 para estudiantes versión 2017.1.2 y Excel 2016 versión 16051.13530.20316.0 para el procesamiento de datos. El análisis de los datos cuantitativos y colores se realizó por medio de tablas resumen en las que se incluyeron la media, desviación estándar (DE), el coeficiente de variación (CV), máximo (máx.) y mínimo (mín.) de cada variable. Para las variables cualitativas se hizo uso de las tablas de frecuencia como herramientas de análisis estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Lista de descriptores del cas criollo costarricense. A partir de la literatura se conformó una lista de descriptores para la caracterización morfológica del cas criollo costarricense, la cual se detalla en la Tabla 1. La lista de descriptores está compuesta por 28 variables cuantitativas y 18 variables cualitativas. Dentro de las variables cuantitativas se consideran los descriptores de colores que fueron analizados con datos numéricos por medio del código de color RGB, como son: color del haz de la hoja, color del envés de la hoja, color de la piel del fruto, color de la pulpa y color de la flor abierta.

Tabla 1. Propuesta de descriptores para la caracterización morfológica del cas criollo costarricense. Costa Rica, 2020.

| Descriptor | Estado del descriptor | Descriptor | Estado del descriptor |
|--|------------------------------------|---|--|
| Edad [años] | De 10 a 40 años | Largo del pistilo [mm] | 18,47 |
| Circunferencia del tallo [cm] | 76,68 | Longitud del pedicelo [mm] | 15,11 |
| Hábito de crecimiento del árbol (Figura 1.1) | Erecto – Semierecto – Extendido | Posición de anteras en relación con el estigma (Figura 3.4) | Por debajo del estigma – Al mismo nivel del estigma – Sobre el estigma |

Continúa...

... Continuación de Tabla 1

| Descriptor | Estado del descriptor | Descriptor | Estado del descriptor |
|--|---|--|--|
| Color del brote joven (Figura 2.1) | Rogizo - Verduzco | Forma del fruto (Figura 4.1) | Achatado – Redondeado - Elongado |
| Longitud de la hoja [mm] | 76,59 | Forma del ápice del fruto (Figura 4.2) | Truncado – Cóncavo - Convexo |
| Ancho de la hoja [mm] | 37,17 | Forma de la base del fruto (Figura 4.3) | Truncada – Cóncava - Convexa |
| Relación largo / ancho de la hoja | 2,06 | Posición del ápice del fruto (Figura 4.4) | Central – Asimétrico |
| Color del haz de la hoja [RGB] (Figura 2.2) | 36,70,7 | Rugosidad del fruto (Figura 4.5) | Liso – Rugoso |
| Color del envés de la hoja [RGB] (Figura 2.3) | 85,111,22 | Color de la piel del fruto [RGB] (Figura 4.6) | 135,141,20 |
| Forma de la hoja (Figura 2.4) | Elíptica – Lanceolada | Grado de madurez del fruto (Figura 4.9) | Ver imagen del apartado 4.9 del descriptor ilustrado |
| Forma de la base de la hoja (Figura 2.5) | Obtusa – Redondeada – Cordada | Longitud del fruto [mm] | 48,91 |
| Forma del ápice de la hoja (Figura 2.6) | Apiculado – Apiculado alargado atenuado – Apiculado alargado redondeado | Diámetro del fruto [mm] | 55,01 |
| Filotaxia (Figura 2.7) | Opuesta – Alterna – Decusada | Relación longitud del fruto / diámetro del fruto | 0,89 |
| Longitud del peciolo [mm] | 6,31 | Peso del fruto [g] | 88,78 |
| Pubescencia de la hoja (Figura 2.8) | Ausente – Abaxial – Adaxial – Ambos lados | Color de la pulpa [RGB] (Figura 4.7) | 193,181,133 |
| Margen de la lámina foliar (Figura 2.9) | Entero - Ondulado | Uniformidad del color de la pulpa (Figura 4.8) | Alta – Media - Baja |
| Superficie de la hoja (Figura 2.10) | Lisa - Rugosa | Velocidad de oxidación | Rápida (≤ 5 minutos) – Media (> 5 min. < 10 min.) – Lenta (≥ 10 min.) |
| Tipo de flor (Figura 3.1) | Hermafrodita – Masculina - Femenina | Número de semillas por fruto | 53,93 |
| Color de la flor abierta [RGB] (Figura 3.2) | 207,211,204 | Peso de fruto sin semillas [g] | 73,64 |
| Número de pétalos (Figura 3.3) | 5 | Peso de semillas + endocarpio [g] | 21,30 |
| Número de estambres | 557,5 | Peso promedio por semilla + endocarpio [g] | 0,42 |
| Diámetro de la cavidad del cáliz [mm] | 11,27 | Relación peso de semillas / peso del fruto | 0,21 |
| Relación diámetro de la cavidad del cáliz / diámetro del fruto | 0,21 | Espesor del mesocarpio + epicarpio [mm] | 10,17 |

En la Tabla 1 se incluye el descriptor y el valor obtenido para la caracterización morfológica del cas criollo costarricense. En el caso de las variables cuantitativas, los valores del cuadro son las medias de los resultados alcanzados durante la caracterización morfológica de las 5 accesiones de cas criollo costarricense.

Caracterización del cas criollo costarricense

Principales resultados de los descriptores morfológicos cuantitativos analizados.

El análisis de las variables cuantitativas dentro de los árboles mostró variabilidad en todas las características analizadas (Tabla 2). Sin embargo, el diámetro de la cavidad del cáliz, número de pétalos, relación longitud / diámetro del fruto, largo del pistilo, número de estambres y relación

Tabla 2. Resultados de variabilidad en los descriptores morfológicos cuantitativos del estudio del cas criollo costarricense. Costa Rica, 2020.

| Variable | *n | Media | **D.E. | ***CV | Mín. | Máx. |
|--|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| Número de pétalos | 212 | 4,96 | 0,21 | 4,23% | 4,00 | 6,00 |
| Diámetro de la cavidad del cáliz (mm) | 212 | 11,27 | 0,74 | 6,57% | 9,25 | 13,30 |
| Relación longitud / diámetro del fruto | 198 | 0,89 | 0,06 | 6,74% | 0,77 | 1,05 |
| Largo del pistilo (mm) | 212 | 18,47 | 1,44 | 7,80% | 12,35 | 21,40 |
| Número de estambres | 68 | 557,50 | 43,95 | 7,88% | 432,00 | 642,00 |
| Relación longitud / ancho de la hoja | 350 | 2,06 | 0,21 | 10,19% | 1,50 | 2,74 |
| Longitud de fruto (mm) | 198 | 48,91 | 5,74 | 11,74% | 34,95 | 62,80 |
| Diámetro de fruto (mm) | 198 | 55,01 | 6,59 | 11,98% | 42,00 | 73,85 |
| Ancho de hoja (mm) | 350 | 37,17 | 4,90 | 13,18% | 23,60 | 51,75 |
| Relación diámetro de la cavidad del cáliz / diámetro del fruto | 112 | 0,21 | 0,03 | 14,29% | 0,15 | 0,29 |
| Espesor de epicarpio + mesocarpio (mm) | 123 | 10,17 | 1,53 | 15,04% | 6,80 | 13,70 |
| Longitud del peciolo (mm) | 350 | 6,31 | 1,04 | 16,48% | 3,45 | 10,20 |
| Longitud de la hoja (mm) | 350 | 76,59 | 12,75 | 16,65% | 45,10 | 110,15 |
| Longitud del pedicelo (mm) | 212 | 15,11 | 3,75 | 24,82% | 4,85 | 28,30 |
| Peso promedio por semilla | 123 | 0,42 | 0,11 | 26,19% | 0,19 | 0,77 |
| Peso de fruto sin semillas (g) | 123 | 73,64 | 22,34 | 30,34% | 35,00 | 139,00 |
| Relación peso de semillas + endocarpio / peso del fruto | 123 | 0,21 | 0,07 | 33,33% | 0,08 | 0,51 |
| Peso del fruto (g) | 198 | 88,78 | 30,83 | 34,73% | 39,00 | 188,00 |
| Circunferencia del tallo a 15 cm de altura (cm) | 50 | 76,68 | 33,11 | 43,18% | 26,10 | 157,00 |
| Peso de semillas + endocarpio (g) | 123 | 21,30 | 12,05 | 56,57% | 4,00 | 69,00 |
| Número de semillas por fruto | 123 | 53,93 | 32,43 | 60,13% | 8,00 | 160,00 |

* Total de individuos analizados según corresponde a cada descriptor (árboles, hojas, flores y frutos).

** Desviación estándar.

*** Coeficiente de variación.

longitud / ancho de la hoja son variables con coeficientes de variación menor o cercano al 10%, por lo que son descriptores potencialmente discriminantes dentro del cas criollo costarricense. La longitud del fruto, diámetro del fruto, ancho de la hoja, relación diámetro de la cavidad del cáliz / diámetro del fruto y el espesor del epicarpio + mesocarpio poseen un coeficiente de variación entre 11,74% y 15,04%, por lo que son características que no deben descartarse como posibles descriptores discriminantes del cas criollo costarricense.

Las variables que presentan los coeficientes de variación más altos son la longitud del pedicelo, peso promedio por semilla, peso de fruto sin semillas, relación peso de semillas + endocarpio / peso de fruto, peso del fruto, peso de semillas + endocarpio y número de semillas por fruto. Estas características fueron afectadas

por la alta variabilidad que presentaron el número de semillas por fruto y el peso del fruto, con las cuales están directamente relacionadas.

Las variables diámetro de la cavidad del cáliz, número de pétalos, relación longitud / diámetro del fruto, largo del pistilo, relación longitud / ancho de la hoja, número de estambres y ancho de la hoja presentaron variaciones bajas dentro de los árboles (CV menor al 10%) y en más de un 70% de ellos, además, este comportamiento se observó en árboles de todas las fincas donde se analizaron las variables (Tabla 3). Se hace énfasis en estas variables, ya que por su menor grado de variabilidad entre árboles se convierten en los descriptores discriminantes más promisorios para la caracterización y diferenciación del cas criollo costarricense dentro de su misma especie.

Tabla 3. Descriptores morfológicos cuantitativos analizados que presentaron un coeficiente de variación menor al 10% dentro de los árboles de cas criollo costarricense. Costa Rica, 2020.

| Variable | *n | Porcentaje de árboles con baja variabilidad | **CV promedio |
|--|----|---|---------------|
| Diámetro de la cavidad del cáliz (mm) | 23 | 100% | 5,28% |
| Número de pétalos | 23 | 100% | 2,45% |
| Relación longitud / diámetro del fruto | 25 | 100% | 4,75% |
| Largo del pistilo (mm) | 23 | 91% | 4,65% |
| Relación longitud / ancho de la hoja | 35 | 86% | 6,61% |
| Número de estambres | 23 | 83% | 3,93% |
| Ancho de hoja (mm) | 35 | 71% | 7,74% |
| Longitud de la hoja (mm) | 35 | 57% | 7,29% |
| Diámetro de fruto (mm) | 25 | 56% | 7,44% |
| Relación diámetro de la cavidad del cáliz / diámetro del fruto | 13 | 54% | 7,38% |
| Espesor de epicarpio + mesocarpio (mm) | 25 | 48% | 6,60% |
| Longitud de fruto (mm) | 25 | 40% | 6,61% |
| Longitud del peciolo (mm) | 35 | 37% | 8,21% |

* Total de árboles en los que se evaluó el descriptor.

** Coeficiente de variación promedio con respecto a las muestras de árboles que presentaron la condición de variabilidad menor al 10%.

Por otro lado, las variables longitud de la hoja, diámetro del fruto, relación diámetro de la cavidad del cáliz / diámetro del fruto, espesor de epicarpio + mesocarpio, longitud del fruto y longitud del peciolo, poseen coeficientes de variación menor al 10%, pero, en menos del 60% de los árboles analizados y no fue un resultado constante en todas las fincas en las que se analizaron las variables.

Los resultados del color del haz de la hoja, color del envés de la hoja, color de la flor abierta, color de la piel del fruto y color de la pulpa del fruto, se presentan dentro del apartado de los resultados ilustrados de los descriptores

evaluados para el cas criollo costarricense del presente documento.

Principales resultados de los descriptores morfológicos cualitativos analizados. Los resultados de las variables cualitativas evaluadas tuvieron un comportamiento muy similar en las diferentes fincas, lo que significa que son descriptores que están muy bien definidos en el cas criollo costarricense (Tabla 4, Figuras 1, 2, 3 y 4). Al no encontrarse variabilidad entre las fincas no se realizó un análisis más profundo entre árboles (como el realizado para las variables cuantitativas), ya que al ser descriptores que no muestran diferencias en su clasificación no son capaces de generar discriminación dentro de la especie.

Tabla 4. Resultados obtenidos de los descriptores cualitativos estudiados en las diferentes fincas de cas criollo costarricense. Costa Rica, 2020.

| Variable | *n | Estado del descriptor | Bello Horizonte | Cervantes | Diamantes | Finca Nacho | Santa Lucía | Promedio |
|--|-----|------------------------|-----------------|-----------|-----------|-------------|-------------|----------|
| Hábito de crecimiento del árbol | 50 | Extendido | 100% | 100% | 100% | 40% | 80% | 84% |
| | | Semierecto | 0% | 0% | 0% | 60% | 20% | 16% |
| Color del brote joven | 50 | Rojizo | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | Elíptica | | 84% | 93% | 99% | 90% | 91% |
| Forma de hoja | 350 | Lanceolada | | 16% | 7% | 1% | 10% | 9% |
| | | Apiculado | | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Forma del ápice de la hoja | 350 | Obtusa | | 84% | 100% | 85% | 92% | 90% |
| | | Redondeada | | 16% | 0% | 15% | 8% | 10% |
| Filotaxia | 350 | Opuesta | | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Pubescencia de la hoja | 350 | Ausente | | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Margen de la lámina foliar | 350 | Entero | | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Superficie de la hoja | 350 | Lisa | | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Tipo de flor | 212 | Hermafrodita | | 100% | | 100% | | 100% |
| Posición de anteras en relación con el estigma | 212 | Por debajo del estigma | | 100% | | 100% | | 100% |
| | | Achatado | 90% | 83% | | | | 86% |
| Forma del fruto | 198 | Redondeado | 8% | 17% | | | | 13% |
| | | Elongado | 2% | 0% | | | | 1% |

Continúa...

... Continuación de Tabla 4

| Variable | *n | Estado del descriptor | Bello Horizonte | Cervantes | Diamantes | Finca Nacho | Santa Lucía | Promedio |
|-----------------------------------|-----|-----------------------|-----------------|-----------|-----------|-------------|-------------|----------|
| Forma del ápice del fruto | 198 | Truncada | 100% | 100% | | | | 100% |
| Forma de la base del fruto | 198 | Cóncava | 100% | 100% | | | | 100% |
| Posición del ápice del fruto | 198 | Central | 100% | 100% | | | | 100% |
| Rugosidad del fruto | 198 | Liso | 79% | 85% | | | | 82% |
| | | Rugoso | 21% | 15% | | | | 18% |
| | | Grado 2 | 4% | 2% | | | | 3% |
| | | Grado 3 | 35% | 29% | | | | 32% |
| Grado de madurez | 198 | Grado 4 | 46% | 48% | | | | 47% |
| | | Grado 5 | 15% | 18% | | | | 16% |
| | | Grado 6 | 0% | 3% | | | | 2% |
| Uniformidad del color de la pulpa | 123 | Alta | 81% | 86% | | | | 84% |
| | | Media | 19% | 12% | | | | 15% |
| | | Baja | 0% | 2% | | | | 1% |
| Velocidad de oxidación | 123 | Media | 2% | 0% | | | | 1% |
| | | Lenta | 98% | 100% | | | | 99% |

* Total de individuos analizados según corresponde a cada descriptor (árboles, hojas, flores y frutos).

Resultados ilustrados obtenidos en la evaluación de descriptores morfológicos para el cas criollo costarricense

1- Árbol. Los árboles de cas son de copa globosa. El 84% de los árboles del estudio

presentaron hábito de crecimiento extendido. Solamente en una de las fincas se observó en la mayoría de los árboles un hábito de crecimiento semierecto, debido probablemente a la competencia por luz con las plantas de banano (Figura 1.1).

Figura 1. Arquitectura del árbol

Figura 1.1. Hábito de crecimiento del árbol.



2- Hoja. El cas criollo costarricense presenta un llamativo color rojizo al desarrollar nuevos brotes. Estos tonos rojos en las hojas inmaduras son especialmente evidentes cuando se realizan las podas (Figura 2.1). A medida que las hojas maduran se tornan de color verde. El haz de las hojas es de un color verde más oscuro (Figura 2.2) que el color verde del envés de las hojas (Figura 2.3).

Figura 2. Estructura y coloración de la hoja



Figura 2.1. Color del brote joven.

| | |
|--------|------------|
| Media | 36, 70, 7 |
| Máximo | 74, 127, 4 |
| Mínimo | 13, 28, 6 |

Figura 2.2. Color del haz de la hoja [RGB].

| | |
|--------|--------------|
| Media | 85, 111, 22 |
| Máximo | 141, 168, 30 |
| Mínimo | 41, 60, 5 |

Figura 2.3. Color del envés de la hoja [RGB].

Las hojas mostraron siempre una filotaxia opuesta (Figura 2.7). En un 91% la forma de la hoja del cas fue elíptica y en 9% de las muestras se tuvo forma lanceolada (Figura 2.4). Su base varió entre obtusa en un 90% y redondeada en un 10% de las muestras (Figura 2.4) y su ápice siempre apiculado (Figura 2.5).

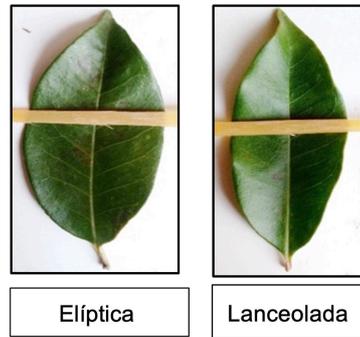


Figura 2.4. Forma de la hoja.

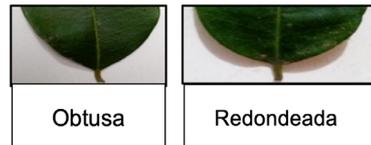


Figura 2.5. Forma de la base de la hoja.



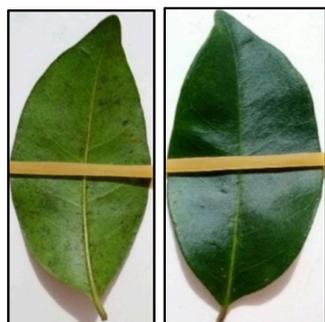
Figura 2.6. Forma del ápice de la hoja.



Figura 2.7. Filotaxia.

En ninguna unidad observacional se detectó pubescencia en el haz o el envés de la hoja (Figura 2.8), el margen de la lámina foliar

fue siempre entero (Figura 2.9) y la superficie de la hoja lisa por sus nervios foliares poco profundos (Figura 2.10).



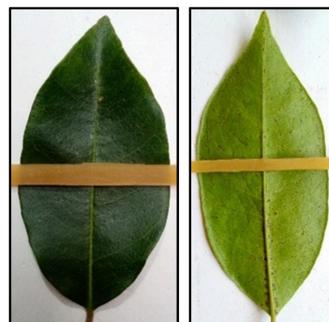
Ausente

Figura 2.8. Pubescencia de la hoja.



Entero

Figura 2.9. Margen de la lámina foliar.



Lisa

Figura 2.10. Superficie de la hoja.

3- Flor. La flor de 5 pétalos (Figura 3.3) de color blanco a grisáceo (Figura 3.2) mostró en todos los casos pistilo y estambres, por lo que se clasifica como una flor hermafrodita (Figura 3.1), con las anteras de los estambres en todas las muestras por debajo de el estigma del pistilo (Figura 3.4).

Figura 3. Morfología floral



Hermafrodita

Figura 3.1. Tipo de flor.

| | |
|--------|---------------|
| Media | 207, 211, 204 |
| Máximo | 245, 251, 239 |
| Mínimo | 155, 159, 149 |

Figura 3.2. Color de la flor abierta [RGB].

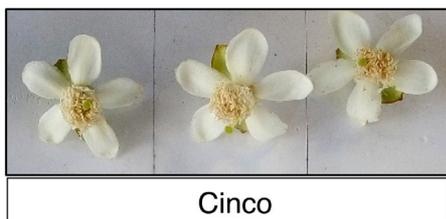


Figura 3.3. Número de pétalos.



Figura 3.4. Posición de las anteras en relación con el estigma.

4- Fruto. El fruto del cas criollo costarricense es fragante y presentó una superficie lisa en el 82% de las unidades observacionales, con los restantes frutos rugosos (Figura 4.5). Su forma en un 86% de las muestras fue achatado, es decir con mayor diámetro que largura en el fruto (Figura 4.1). Su ápice apareció de forma truncada, prácticamente plano (Figura 4.2), en la posición central del fruto con una areola donde se encontraba el caliz, el cual muchas veces conserva (Figura 4.4). La base en un 100% fue cóncava, por la depresión generada donde estaba insertado el pedúnculo (Figura 4.3).

Figura 4. Morfología del fruto



Figura 4.1. Forma del fruto.



Figura 4.2. Forma del ápice del fruto.



Figura 4.3. Forma de la base del fruto.



Figura 4.4. Posición del ápice del fruto.



Figura 4.5. Rugosidad del fruto.

| | |
|--------|--------------|
| Media | 135, 141, 20 |
| Máximo | 203, 174, 13 |
| Mínimo | 53, 79, 11 |

Figura 4.6. Color de la piel del fruto [RGB].

| | |
|--------|---------------|
| Media | 193, 181, 133 |
| Máximo | 230, 225, 187 |
| Mínimo | 116, 115, 73 |

Figura 4.7. Color de la pulpa [RGB].

El color de la piel del fruto depende de su grado de madurez (Figura 4.9), el cual varió de color verde antes de empezar su proceso de maduración a color amarillo con la etapa de maduración finalizada (Figura 4.6). El color de la pulpa también varió con la madurez del fruto, entre los colores blanco a crema (Figura 4.7) y mantuvo una uniformidad en su color generalmente alta (Figura 4.8).

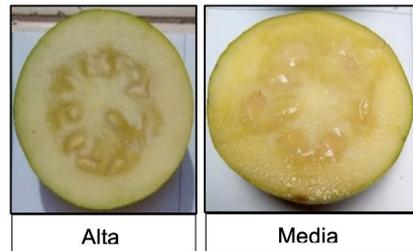


Figura 4.8. Uniformidad del color de la pulpa.



Figura 4.9. Grado de madurez del fruto:

Grado 1 = Fruto totalmente verde. Grado 2 = Fruto con inicio de quiebre de color y opaco. Grado 3 = Frutos verde-amarillentos y con mayor brillo. Grado 4 = Frutos color amarillo-verdosos y brillantes. Grado 5 = Frutos de color amarillo y parches de color amarillo-verdosos. Grado 6 = Frutos amarillos y brillantes. Grado 7 = Frutos color amarillo intenso, pero opacos.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un descriptor varietal para la caracterización morfológica del cultivo de cas criollo costarricense a partir de los órganos de la planta, tallo, hojas, flores y frutos.

Se obtuvo una descripción fenotípica de cas criollo costarricense en 5 fincas ubicadas en

Cartago, San José, Limón y Heredia. En la finca Cervantes se logró hacer la descripción completa de todos los órganos de las plantas a partir del uso de los descriptores y protocolo propuestos.

El análisis estadístico de la caracterización del cas criollo costarricense evidenció

variabilidad en las variables cuantitativas analizadas dentro de los árboles y uniformidad en las variables cualitativas analizadas.

Las variables cuantitativas como diámetro de la cavidad del cáliz, número de pétalos, relación longitud / diámetro del fruto, largo del pistilo, relación longitud / ancho de la hoja, número de estambres, ancho de la hoja, diámetro del fruto y longitud del fruto son características que podrían actuar como descriptores discriminantes para el cas criollo costarricense.

Las variables longitud del pedicelo, peso promedio por semilla, peso de fruto sin semillas, relación peso de semillas + endocarpio / peso de fruto, peso del fruto, peso de semillas + endocarpio y número de semillas por fruto son las variables que presentaron mayor variabilidad según lo estudiado.

Es importante en nuevas caracterizaciones de cas incluir variables como grados brix, acidez, forma del tallo del brote joven, forma del botón floral, forma del pedicelo y forma del pedúnculo.

Además, es importante crear por medio de imágenes, cuadros separados en los cuales se puedan apreciar los cambios de la manifestación de las características fenotípicas del cas en el tiempo, a medida que se da su crecimiento y desarrollo, para apreciar los fenómenos de transformación morfológica que se da en sus diferentes órganos.

LITERATURA CITADA

- Araújo, J; García, C; Nunes, O; de Oliveira, E. 2012. Definition of morpho-agronomic descriptors for the characterization of yellow passion fruit (en línea). *Scientia Horticulturae* 145:17-22. Consultado 12 abr. 2020. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/ce80/ed93eb8d78084981387d9962cd671194bdf1.pdf>
- Baraona, M. 2000. Jocote, anona y cas: tres frutas campesinas de Améica. Heredia, Costa Rica, EUNA. 151 p.
- Bioversity International. 2007. Guidelines for the development of crop descriptor lists (en línea). Rome, Italy, Bioversity International. 72 p. Consultado 03 abr. 2020. Disponible en https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Developing_crop_descriptor_lists_1226.pdf
- Bogantes-Arias, A; Mora-Newcomer, E. 2010. Evaluación de cuatro patrones para injertos de guayaba (*Psidium guajava* L.) (en línea). *Agronomía Mesoamericana* 21(1):103-111. Consultado el 29 abr. 2023. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5039661>
- Das, A; Kumar, D. 2014. Developing descriptors of Mesta (*Hibiscus* spp.) genotypes for Germplasm characterization and evaluation (en línea). *Annals of Agri-Bio Research* 19(4):713-718. Consultado 08 abr. 2020. Disponible en <https://www.cabdirect-org.ezproxy.itcr.ac.cr/cabdirect/FullTextPDF/2015/20153005723.pdf>
- Gotor, E; Alercia, A; Ramanatha, V; Watts, J; Caracciolo, F. 2008. The scientific information activity of Bioversity International: the descriptor lists (en línea). *Genetic Resources and Crop Evolution* 55:757-772. Consultado 20 jun. 2020. Disponible en <https://link.springer-com.ezproxy.itcr.ac.cr/content/pdf/10.1007%2Fsl0722-008-9342-x.pdf>
- Govaerts, R; Sobral, N; Ashton, P; Barrie, F; Holst, BK; Landrum, LL; Matsumoto, K; Mazine, F; Lughakha, N; Proença, C. 2008. Lista de verificación mundial de Myrtaceae: Kew Publishing, Royal Botanic Gardens 1-455.
- Hernández-Delgado, S; Padilla-Ramírez, J; Mayek-Pérez, N. 2018. Caracterización morfológica de germoplasma de guayabos de México: implicaciones en su conservación y mejoramiento genético (en línea). *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal* 40(2):1-11. Consultado 02 abr. 2020. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v40n2/0100-2945-rbf-40-2-e-887.pdf>
- Kareem, A; Jafar, M; Mehmood, A; Ahmad, I; Saeed, F; Wasim, M. 2018. Morpho-genetic profiling and phylogenetic relationship of guava (*Psidium guajava* L.) as genetic resources in Pakistan (en línea). *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal* 40(4):1-11. Consultado 12 may. 2020. Disponible en <https://www.scielo.br/pdf/rbf/v40n4/0100-2945-rbf-40-4-e-069.pdf>
- León, J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA. 522 p.
- OFI (Oxford Forestry Institute) / CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza). 2000. Árboles de Centroamérica. Turrialba, Costa Rica, OFI/CATIE. 1079 p.
- Pérez, L; Sigarroa, A; Bandera, E; Rodríguez, N; Cornide, M; Sánchez, J. 2016. Caracterización de la diversidad genética en tres poblaciones de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Cultivos Tropicales* 37(2):115-126.
- Puppo, M; Rivas, M; Franco, J; Barbieri, R. 2014. Propuesta de descriptores para *Acca sellowiana* (Berg.) Burret (en línea). *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal* 36(4):957-970. Consultado 27 mar. 2020. Disponible en <http://www.scielo>

- br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452014000400023&lng=es&tlng=es
- Ran, S; Ram J; Jakhar, M. 2017. Assessment of genetic diversity and diversity relationship in different varieties of guava using morphological characterization (en línea). *Plant Archives* 17(1):307-311. Consultado 12 abr. 2020. Disponible en <https://www-cabdirect-org.ezproxy.itcr.ac.cr/cabdirect/FullTextPDF/2018/20183311972.pdf>
- Rivero-Maldonado, G; Pacheco, D; Fuenmayor, J; Sánchez-Urdaneta, A; Quirós, M; Ortega, J; Bracho, B; Taborda, J. 2012. Análisis morfológico de especies de *Psidium* (Myrtaceae) presentes en Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 29:72-103.
- Rivero-Maldonado, G; Pacheco-Rivera, LD; Sánchez-Urdaneta, AB; Quirós de González, M; Ortega-Alcalá, J. 2016. Análisis fenético en especies de *Psidium* (Myrtaceae) de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 34(1):40-65.
- Rodríguez, E; de Oliveira, D; do Nascimento, S. 2008. Caracterização física de frutos e sementes de goibada-Costa-Rica, produzidos em Manaus, Amazonas (en línea). *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal* 30(2):546-548. Consultado 06 may. 2020. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v30n2/a48v30n2.pdf>
- Rodríguez-Medina, N; Fermin, G; Valdés-Infante, J; Velásquez, B; Rivero, D; Martínez, F; Rodríguez, J; Rohde, W. 2010. Illustrated Descriptors for Guava (*Psidium guajava*) (en línea). *Acta horticulturae* 849:103-110. Consultado 10 may. 2020. Disponible en https://www.actahort.org/books/849/849_11.htm
- Rojas-Rodríguez, F; Torres-Córdoba, G. 2013. Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción Cas (*Psidium friedrichsthalianum* (Berg) Ndzu) (en línea) *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 10(25):30-31. Consultado 03 abr. 2020. Disponible en <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/1374/1270>
- Sánchez-Urdaneta, A; Peña-Valdivia, C. 2011. Descriptor morfológico para la caracterización del género *Psidium* (en línea). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 28:303-343. Consultado 29 abr. 2023. Disponible en [v28n3a2011.pmd\(revfacagronluz.org.ve\)](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/1374/1270)
- Sánchez-Urdaneta, A; Peña-Valdivia, C; Colmenares, C; Ortega, J; Bracho, B. 2008. Caracterización morfológica de variantes de dos especies de *Psidium*.: I. Dose, tallo y hojas (en línea). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 25:1-25. Consultado 26 abr. 2020. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/6423/d41c6e252b151a9b30eac4db46cabac0ccff.pdf>
- Sayago, S; Álvarez, E. 2018. Alimentos vegetales autóctonos iberoamericanos subutilizados (en línea). In Pérez, A; Rojas-Garbanzo, C. Cas (*Psidium friedrichsthalianum* Nied.). Costa Rica, CITA. Consultado 05 jul. 2020. Disponible en <http://alimentos-autoctonos.fabro.com.mx/index.html>
- Sharma, A; Kumar, S; Singh, R; Tele, A. 2010. Morphological and chemical characterization of *Psidium* species (en línea). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38(1):28-32. Consultado 23 abr. 2020. Disponible en <https://www-cabdirect-org.ezproxy.itcr.ac.cr/cabdirect/FullTextPDF/2010/20103242459.pdf>
- Valdés-Infante, J; Nerdo, N; Bárbara, J; Gaspar, D; González, G; Rodríguez J; Rohde, W. 2012. Herramientas para un programa de mejoramiento genético del guayabo (*Psidium guajava* L.) en Cuba (en línea). *Agronomía Costarricense* 36(2):111-129. Consultado 09 may. 2020. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4245615>
- Varela, O; Argüello, F; Orozco, R. 2015. Descriptor para moras criollas costarricenses. San José, Costa Rica, EUNED. 76 p.

Nota técnica

EFEECTO DE TRES IMPLEMENTOS DE LABRANZA SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO ANDISOL EN TIERRA BLANCA, CARTAGO

Silvia Marín-Araya^{1/*}, Mario Villatoro-Sánchez²

Palabras clave: labranza; densidad aparente; porosidad; estabilidad de agregados.

Keywords: tillage; bulk density; porosity; aggregate stability.

Recibido: 24/01/23

Aceptado: 28/03/23

RESUMEN

Introducción. El tipo de implemento y la dirección de la labranza a favor de pendiente han ocasionado que en los suelos hortícolas se presente una importante pérdida de suelo. El problema ha generado una pérdida de los horizontes más productivos y detrimento de las propiedades físicas del suelo. **Objetivo.** Determinar el efecto que ejercen el palín mecánico, la rastra rotativa y el rotador, sobre la densidad aparente, porosidad y estabilidad de agregados de un suelo Andisol bajo 2 ciclos no continuos de cebolla en Tierra Blanca, Cartago. **Materiales y métodos.** Los 3 implementos fueron utilizados en la preparación del suelo para el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.). Se realizaron evaluaciones en la prelabranza del ciclo 1, al final del primer ciclo de cultivo, en la prelabranza del ciclo 2 y al final del segundo ciclo de cebolla. Se evaluaron las variables de

densidad aparente, porosidad y estabilidad de agregados. **Resultados.** Se encontró que el suelo, durante el estado de barbecho, presentó una densidad aparente relativamente alta, con porosidad y estabilidad de agregados bajas. Con la labranza, disminuyó la densidad aparente, aumentó la porosidad del suelo e incrementó la estabilidad de agregados durante los diferentes momentos de evaluación. **Conclusión.** Los cambios encontrados son una consecuencia de la reorganización de la estructura del suelo, producto de la labranza, cuando se sale de un periodo de barbecho.

ABSTRACT

Effect of three tillage implements on physical properties of an Andisol soil in Tierra Blanca, Cartago. Introduction. Implement type and tillage direction in favor of the slope have

* Autora para correspondencia. Correo electrónico: silvia.marinaraya@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Suelos y Foliare, San José, Costa Rica

 0000-0002-5494-677X.

2 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Recursos Naturales, San José, Costa Rica

 0000-0002-6678-5854.

caused significant soil loss in horticultural soils. This problem has generated a loss of the most productive horizons and a detriment of the soil's physical properties. **Objective.** To determine the effect of the spader plow, rotary plow and rotavator on bulk density, porosity and aggregate stability in an Andisol soil under 2 non-continuous onion cycles in Tierra Blanca, Cartago. **Materials and methods.** The 3 implements were used in soil preparation for growing onion (*Allium cepa* L.). Evaluations were carried out on the pre-tillage of the first cycle, at the end of the

first cycle, on the pre-tillage of the second cycle and at the end of the second cycle. The evaluated variables were bulk density, porosity and aggregate stability. **Results.** The soil during the fallow state presented a relatively high bulk density, low porosity and low aggregate stability. With tillage, bulk density decreased, porosity increase and aggregate stability improved during the different evaluation moments. **Conclusion.** The changes found are a consequence of the soil's structural reorganization as a product of tillage after a fallow period.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural heterogéneo conformado por las fases sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida, o matriz del suelo, se encuentra conformada por partículas con composiciones químicas y mineralógicas diferentes como los limos, arenas y arcillas (Angst *et al.* 2018). También se presentan, dentro de la fase más fina, sustancias nano cristalinas (Churchman y Lowe *et al.* 2012) y materia orgánica, la cual puede formar complejos catiónicos organominerales (Hillel 2004). Estos tienen superficies eléctricamente cargadas que unen lo componentes mineralógicos para formar microagregados de ~50-250 μm (Banwart *et al.* 2019).

El acomodo de los diferentes agregados del suelo es dependiente de diferentes variables como el contenido de arcilla y carbono orgánico, así como el estado de compactación que presente el suelo (Eden *et al.* 2012). El reacomodo deja espacios abiertos, o poros, de diferentes tamaños y cantidades que son ocupados por las otras 2 fracciones.

La fracción líquida se refiere al agua del suelo y las sustancias disueltas en esta, un conjunto al que se le conoce como la solución del suelo (Hillel 2004). Por su parte, la fracción gaseosa contiene diferentes gases como vapor de agua, oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2) pero con proporciones variables dependientes de

las condiciones de aireación y de profundidad del suelo (Morales-Olmedo *et al.* 2015).

Debido a los procesos formadores del suelo y el manejo de estos, las fracciones pueden variar en proporción y puede generar cambios a nivel de la estructura del suelo (Banwart *et al.* 2019). La evaluación de esta estructura se hace de forma indirecta, mediante diferentes análisis físicos como la densidad aparente, la porosidad y la estabilidad de agregados.

La densidad aparente es la proporción de la masa de sólidos con respecto al peso total del suelo en un volumen determinado (Lark *et al.* 2014). El resultado de este análisis se relaciona con otras propiedades como la porosidad total del suelo, la cual permite conocer el espacio del suelo ocupado por agua o aire (García-Orenes *et al.* 2012). Por su parte, la estabilidad de agregados es un indicador que determina la calidad de un suelo (Wu *et al.* 2017), se refiere a la resistencia que este presenta hacia eventos como escorrentía, viento y golpes de las gotas de lluvia (Deviren Saygın *et al.* 2012).

Estos parámetros son afectados por la labranza y al contenido de humedad en el momento de la toma de muestra, sus determinaciones forman parte de las metodologías tradicionales para dilucidar la estructura y conformación física de un suelo. Los desgastes que se producen a nivel físico por el manejo afectan la estructura del suelo. Se rompen los agregados más grandes y los remanentes son agregados pequeños que

pueden ser fácilmente transportados por agua y viento (Brunel y Seguel 2013).

La pérdida de agregados pequeños hace que se pierdan grandes cantidades de suelo al año, con ritmos de erosión entre 12 y 15 t.ha⁻¹.año⁻¹ (Koirala *et al.* 2019) lo que a su vez también repercute en la profundidad efectiva del suelo.

La labranza más común en las fincas del norte de Cartago se basa en el uso del rotador. Este es un implemento con una capacidad de mezcla del suelo y tiene un uso muy rápido en la preparación del terreno. El rotador mezcla la parte superficial del suelo al punto de romper la estructura como resultado del impacto vibratorio de las aspas que disgregan las partículas del suelo (Pal *et al.* 2016).

El funcionamiento del rotador se produce cuando se acopla a la toma de fuerza del tractor y se genera movimiento en el rotor central. Una serie de cuchillas en forma de 'L', adheridas al rotor central horizontal, y ubicadas en dirección vertical con respecto al suelo, se mueven a medida que el rotor gira (Mandal *et al.* 2013, Behera *et al.* 2021, Kankal *et al.* 2016). Las cuchillas giran a una velocidad mayor a la del desplazamiento del implemento.

Además, la rastra rotativa es un implemento de impacto intermedio, ya que no afecta la estructura del suelo tan agresivamente como el rotador, pero ocasiona una ruptura de los agregados. Dicho implemento realiza varias funciones al mismo tiempo como mover, incorporar y romper los terrones más grandes del suelo. Su funcionamiento principal consiste en facilitar la aireación del suelo al tiempo que promueve agregados más pequeños y sueltos (WIDEMEX 2018).

Tiene una fila de rotores de eje vertical con cuchillas incorporadas donde cada uno de gira en sentido contrario al rotor adyacente. El modelo utilizado contó con un rodillo con barra tubular incorporado en la parte posterior; cuya altura es regulada por una barra niveladora montada sobre este (ALPEGO n.d.).

Por su parte, el palín mecánico es un implemento que tiene bajo impacto sobre la estructura del suelo. Es un apero de labranza primaria muy

versátil que puede utilizarse en diferentes tipos de suelos bajo diferentes grados de humedad, textura o pendiente (Alvarado 2011). Su funcionamiento consiste en un movimiento rotativo de azadas en la misma dirección de avance del implemento, a velocidades bajas relativas, donde cada azada se inserta en el suelo, luego pivotea al frente y arriba, que ocasiona poca ruptura en los agregados (Sarrantonio y Molloy 2003).

El efecto comparativo de cada uno de estos implementos, sobre la densidad aparente, porosidad y estabilidad de agregados, no se ha evaluado previamente. Existe literatura relacionada con el efecto de los implementos por separado, pero no hay evaluaciones de sus efectos en suelos Andisoles.

La labranza presenta afectaciones sobre la estructura de suelos Andisoles y hace que se rompa la barrera física que protege el carbono orgánico del suelo y provoca que este se pierda (Henry *et al.* 2013). A pesar de esto, también se han detectado sumideros de C a medida que este es enterrado por eventos de deposición (Van Oost *et al.* 2007). De igual forma, se ha visto que la labranza intensiva, puede presentar efectos en propiedades físicas, como la densidad aparente, repercutir en afectaciones químicas como cambios en pH y concentraciones de Fe y Mn y afectar las poblaciones y diversidad microbial del suelo (Rahman *et al.* 2008).

El objetivo del trabajo fue determinar el efecto que ejerce el tipo de implemento de labranza sobre diferentes variables físicas, a partir de un suelo en barbecho y bajo 2 ciclos no continuos del cultivo de cebolla. La hipótesis que se mantuvo durante la investigación fue que el palín mecánico presentaría un menor efecto en las tasas de erosión en comparación al rotador, mientras que la rastra rotativa, por su funcionamiento, tendría una afectación intermedia en comparación con los otros 2 implementos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en un terreno dedicado a la producción de cebolla (*Allium cepa*

L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.) ubicado en el distrito de Tierra Blanca, cantón de Cartago, latitud 9°54'20" N y longitud 83°52'24" O, a 1973 msnm. De acuerdo con el mapa de suelos de Costa Rica, los suelos de esta zona son Andisoles con régimen ústico, conocidos como Ustands (Alvarado y Mata 2016), debido a que no presenta horizontes cementados en un 75% de los primeros 100 cm, este suelo se categoriza como un Haplustand (Soil Survey Staff 2022).

La pendiente promedio del terreno fue de 10%, con una textura franco arcillosa, y el contenido de materia orgánica promedio era de 2,9%. La presencia de pedestales pequeños (< 1 mm) demostró un grado de erosión leve. Inicialmente, el suelo presentó una densidad aparente de 1,13 g.cm⁻³ y 52% de porosidad.

Para la descripción del perfil se realizaron 4 puntos de muestreo en la forma de

microcalicatas distanciadas cada 25 m. Cada microcalicata tenía una profundidad aproximada de 50 cm. En los puntos de muestreo se determinaron horizontes de textura franco arcillosa. El tipo de levantamiento de 1^{er} orden (muy detallado) con una escala máxima de 1:5000 (según Cortés Lombana y Malagón Castro 1984) en vista que se realizaron 4 microcalicatas a lo largo de un transecto de la parcela.

Ciclos de cultivo. En el sitio, el cultivo de cebolla se siembra durante el primer semestre de cada año. El primer ciclo (Ciclo 1) de cebolla se comenzó a partir de mayo de 2019, mientras que el segundo ciclo (Ciclo 2) se inició en abril de 2020. Se utilizó la variedad de cebolla Álvara en ambos ciclos de cultivo.

En la Tabla 1 se proporciona el estado de fertilidad del suelo antes de iniciar con el montaje del experimento.

Tabla 1. Resultados de análisis químico completo del suelo previo al establecimiento de los tratamientos, para las bases, capacidad de intercambio catiónico (CICE), porcentaje de saturación de acidez (SA) y contenidos de elementos en mg.L⁻¹ obtenidos mediante la solución extractora KCl-Olsen modificado.

| pH | cmol(+).L ⁻¹ | | | | | SA (%) | mg.L ⁻¹ | | | | | % | | C/N |
|-----|-------------------------|------|-----|-----|------|--------|--------------------|-----|------|-------|------|-----|-----|-----|
| | Acidez | Ca | Mg | K | CICE | | P | Zn | Cu | Fe | Mn | C | N | |
| 5,8 | 0,1 | 10,0 | 2,2 | 1,3 | 13,7 | 0,8 | 34,0 | 4,3 | 24,3 | 156,7 | 11,0 | 2,0 | 0,2 | 9,5 |

Labranza. La labranza que realiza comúnmente el productor consistió en subsolar inicialmente el suelo a 50 cm de profundidad en dirección transversal a la pendiente. El subsolador era de 7 picos, con 320 mm de espaciado entre picos, 1920 mm de largo y un peso de 530 kg; la velocidad de avance fue de 6 km.h⁻¹. Posteriormente se utilizó un arado de disco a favor de pendiente a una velocidad de 10 km/h. Seguidamente se utilizó el rotador, a favor de pendiente, y finalmente se elaboraron los surcos por medio de un arado de vertedera de tipo universal tirado

por un caballo. Toda la labranza, fue realizada con un tractor Lamborghini R3.105, con un peso de 4067 kg y una potencia máxima CV/rpm de 102/2300. El tractor no usaba ningún tipo de lastre en las llantas, taco de tipo R1 y presión de 40 psi.

Dentro de las características de cada implemento, el palín mecánico contaba con 8 azadas individuales, un ancho de trabajo de 2,00 m y un peso de 820 kg (Figura 1), La rastra rotativa tenía un ancho de trabajo de 2,10 cm y traía incorporado un rodillo de jaula de 390 mm de

diámetro para un peso de 730 kg (Figura 2). El rotador tenía un ancho de 2,05 m, con una profundidad máxima de trabajo de 23 cm y peso de 570 kg, este siempre se utilizó con la tapa trasera

cerrada (Figura 3). Ninguno de los implementos contaba con palanca de cambio de velocidades del cigüeñal y fueron utilizados a una velocidad de 6 km/h.



Figura 1. Palín mecánico utilizado en investigación.

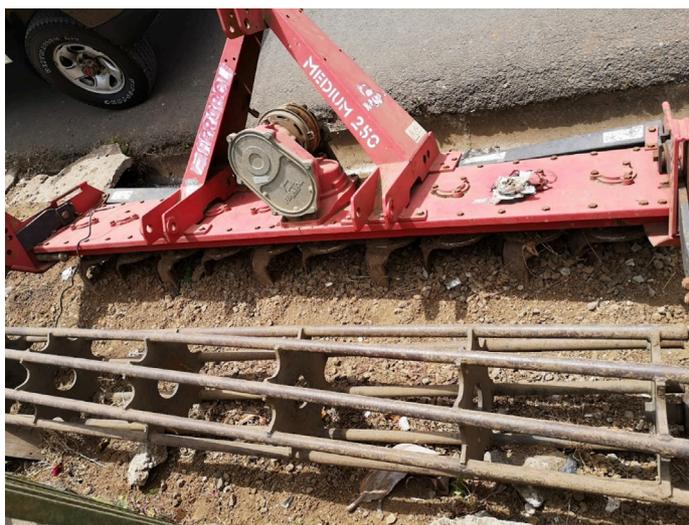


Figura 2. Rastra rotativa utilizada en investigación.



Figura 3. Rotador utilizado en investigación.

El terreno se clasificó con capacidad de uso de las tierras agroecológicas como III e₁ s₂ d₁ c₁. El área total aproximada de la propiedad era de 5450 m² de la cual se aprovecharon 2160 m² aproximadamente para el establecimiento de los tratamientos.

Para el establecimiento del ensayo, se mantuvo el uso del subsolador, el arado de discos y el arado de vertedera de tipo universal para elaborar los surcos. Se definieron 3 tratamientos donde se mantuvo el rotador como el testigo al ser el que utiliza comúnmente el productor. Los

otros 2 tratamientos correspondieron al uso de un palín mecánico y de una rastra rotativa en lugar del rotador. Se establecieron 3 repeticiones distribuidas en bloques al azar en la forma de franjas de 6 m de ancho y perpendiculares a la dirección de la pendiente.

Las muestras fueron recolectadas antes y después de la preparación inicial del terreno y al final del ciclo de cultivo (Tabla 2). Se les realizaron los análisis físicos de densidad aparente, porosidad y estabilidad de agregados de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de profundidad.

Tabla 2. Fechas de preparación del suelo y toma de muestras.

| Ciclo | Actividad | Fecha |
|-------|--|------------|
| 1 | Preparación del terreno | 08/05/2019 |
| 1 | Toma de muestras iniciales (textura, densidad aparente, porosidad, estabilidad de agregados) | 10/05/2019 |
| 1 | Toma de muestras finales (densidad aparente, porosidad, estabilidad de agregados) | 18/09/2019 |
| 2 | Preparación del terreno | 08/05/2020 |
| 2 | Toma de muestras iniciales (densidad aparente, porosidad, estabilidad de agregados) | 08/05/2020 |
| 2 | Toma de muestras finales (densidad aparente, porosidad, estabilidad de agregados) | 28/09/2020 |

Para la profundidad de 10 a 20 cm no se tienen resultados para estabilidad de agregados del primer momento de prelabranza, debido a que las muestras de suelo fueron secadas en horno convencional (110°C), aunque preferiblemente debieron haber sido secadas al aire.

Todos los análisis se realizaron por triplicado en cada unidad experimental. La metodología de densidad aparente (Grossman y Reinsch 2002) y porosidad (Flint y Flint 2002) fueron realizadas a partir de las metodologías propuestas por la Soil Science Society of America.

Para la estabilidad de agregados se utilizó un equipo de tamizado en húmedo. El equipo tiene 16 cilindros de metal y 8 mini tamices. Cada uno de los cilindros fue pesado y en los tamices se colocaron 4 g del suelo con materia orgánica, luego este se humedeció, sin que quedara saturado.

Se colocó cada uno de los mini tamices en el carrusel del equipo. Primero se utilizó agua desionizada en los cilindros. El carrusel porta tamices funcionó por 3 minutos durante los cuales las muestras eran sumergidas en agua en forma cíclica. Seguidamente se levantó el carrusel del agua y se puso en posición de drenado (Nimmo y Perkins 2002).

Se repitieron los mismos pasos con una solución dispersante de NaOH con movimiento continuo y oscilante durante 5 a 8 minutos. Posteriormente se tomaron los cilindros de metal y se pasaron a secar al horno a 110°C por 24 horas hasta que las soluciones se evaporaran. Se esperó a que los cilindros se enfriaran y se pesaron (el cilindro y los agregados) (Nimmo y Perkins 2002, Le Bissonnais 1996).

Para determinar la fracción de agregados estables se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 1} = \frac{\text{Peso agregados en solución dispersante (g)}}{\text{Peso agregados en agua (g)} + \text{Peso agregados en solución dispersante (g)}}$$

En la Ec. 1 el término “agregados” corresponde a los remanentes de suelo en el tamiz de los ciclos de inmersiones en cada solución que luego fueron secados al horno.

El porcentaje de estabilidad de agregados determinó la vulnerabilidad en que un agregado de suelo pueda descomponerse en partes más pequeñas. Con un porcentaje alto los agregados tienen una mejor estructura y no pueden disgregarse tan fácilmente. Por lo tanto, porcentajes bajos, significan una mayor propensión al rompimiento y la estructura es más susceptible a que sea afectada por eventos externos. Dentro de las propiedades evaluadas, se tomaron muestras para determinar el porcentaje de materia orgánica del suelo. Estos valores fueron obtenidos a partir del porcentaje de C presente en el análisis químico de suelo. El valor se multiplicó por 1,43 (factor de conversión obtenido a partir de validaciones realizadas en el laboratorio de Suelos y Foliar del Centro de Investigaciones Agronómicas (LSF-CIA). Se determinó el contenido de materia orgánica y porcentaje de carbono de 237 muestras por medio de los métodos Walkley - Black y el autoanalizador de carbono/nitrógeno. Se correlacionó el valor obtenido por cada método y se obtuvieron varios valores de pendiente, donde 1,43 fue el valor promedio de estas correlaciones. Posteriormente se multiplicó el porcentaje de C por el valor de correlación promedio y se determinó que el porcentaje de materia orgánica era similar al valor obtenido mediante Walkley - Black. La correlación tenía un valor de pendiente de 1 y un $R^2 = 0,95$ considerando el análisis como satisfactorio) a partir de la base de datos analizados para tener un estimado del contenido de materia orgánica (%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis fueron evaluados mediante un modelo de regresión lineal generalizada (GLM) en el programa R studio (R Studio Team (2015) R Studio: Integrated Development for R. Boston: R Studio, Inc.) con el paquete “dplyr”. Esto porque no se presenta una distribución normal de los errores dentro de las variables de respuesta y el GLM utiliza variables con respuestas categóricas y se estiman

los parámetros que mejor se ajusten al modelo. Se utilizó un p-value de 0,05.

Estructura del suelo. La estructura del suelo se basa en una conformación de agregados de diferentes tamaños, cuya disposición en el espacio origina pequeños espacios porosos (Banwart *et al.* 2019). En un estado de barbecho, se produce una cimentación de las partículas, al darse un reacomodo por la influencia de factores como raíces y aumentos en el aporte del carbono orgánico del suelo (SOC por sus siglas en inglés) (Kumar *et al.* 2010).

Además, la estructura del suelo pudo verse afectada por eventos como la labranza,

donde un cambio en la misma genera variaciones en las propiedades físicas del suelo. En el caso de los tratamientos, el efecto directo de la labranza ocasionó cambios en la porosidad, densidad aparente y la estabilidad de los agregados del suelo.

Densidad aparente. Al salir del estado de barbecho, la densidad aparente inicial tuvo un promedio de $1,13 \text{ g.cm}^{-3}$ (Figura 4). Esto se debe a un reacomodo del suelo debido a eventos de gravedad, precipitaciones o compactaciones (Nielsen y Calderón 2015), lo que promovió una alta densidad aparente inicial (para ser un Andisol) en la prelabranza del ciclo 1.

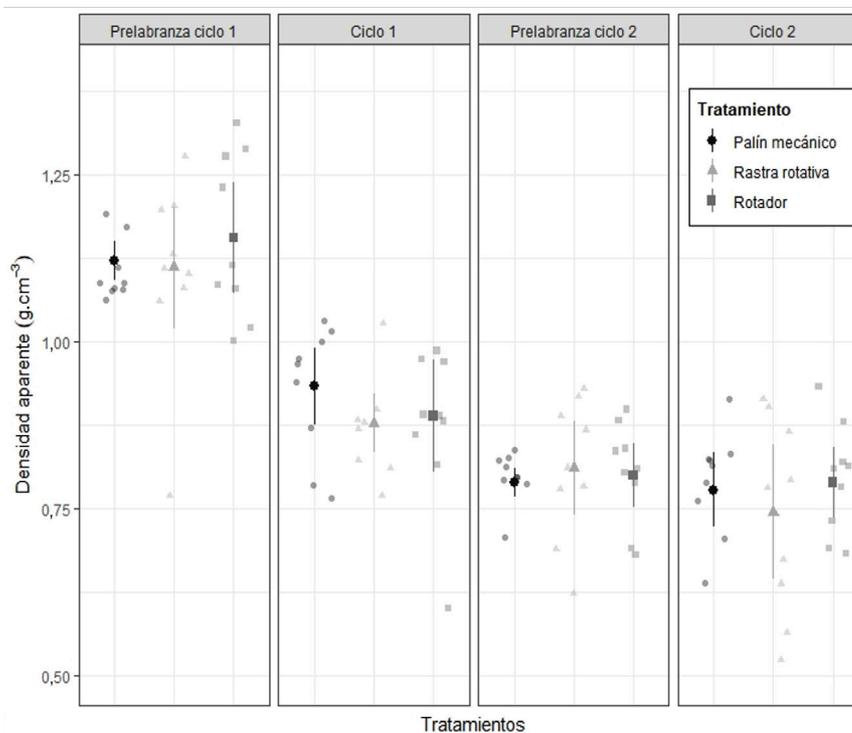


Figura 4. Efecto de diferentes implementos de labranza sobre la densidad aparente del suelo (g.cm^{-3}) en 4 momentos de evaluación.

Al evaluar las diferentes propiedades físicas del suelo se encontraron respuestas del efecto de la labranza, los cuales provocaron una reducción en la densidad aparente a lo largo de los ciclos de cultivo. Para el final del segundo ciclo de cultivo se produjo una estabilización en la densidad aparente con respecto a la prelabranza del mismo, en los tratamientos con palín mecánico y rotador (Figura 4).

No se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes tipos de labranza en cada momento de evaluación. Las principales diferencias se presentaron al comparar las reducciones en densidad aparente entre momentos de evaluación. En la prelabranza del ciclo 1, se parte de un periodo de barbecho por lo que la alta densidad aparente fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en comparación con los demás momentos (Figura 4).

Materia orgánica. Se produjo un incremento en el contenido de materia orgánica a lo largo del tiempo con cada implemento, lo que

significó un efecto positivo por parte de cada uno de los implementos. Con la labranza es posible que se produzca una mezcla de horizontes, sin embargo, las mediciones específicas no fueron realizadas debido a que todas las muestras fueron obtenidas a una única profundidad, lo que dificultó determinar el horizonte del cual procedía la materia orgánica.

En la Tabla 3 se muestran los resultados referentes al contenido porcentual de materia orgánica como respuesta a los diferentes implementos de labranza. No se presentaron diferencias significativas entre los diferentes implementos ($p < 0,05$), aunque sí se evidenciaron diferencias entre los momentos de evaluación en la forma de aumentos en el contenido de materia orgánica. Estos aumentos son importantes debido a que permitieron determinar las tendencias en la disponibilidad de materia orgánica, para el final de cada ciclo de cultivo (momento de evaluación).

Tabla 3. Contenido de materia orgánica del suelo (%) obtenido en 3 momentos de evaluación como respuesta a la labranza con 3 implementos diferentes. Separación de medias realizada mediante LSD Fischer para cada momento de evaluación por implemento de labranza; las letras diferentes implican diferencias significativas.

| Tratamiento | Momento | Materia orgánica (%) | Desviación estándar |
|-----------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Palín mecánico | Prelabranza ciclo 1 | 2,85 a | 0,27 |
| | Ciclo 1 | 3,22 a | 0,29 |
| | Ciclo 2 | 3,36 a | 0,14 |
| Rastra rotativa | Prelabranza ciclo 1 | 2,85 b | 0,27 |
| | Ciclo 1 | 3,32 ab | 0,27 |
| | Ciclo 2 | 3,55 a | 0,13 |
| Rotador | Prelabranza ciclo 1 | 2,85 b | 0,27 |
| | Ciclo 1 | 3,48 a | 0,16 |
| | Ciclo 2 | 3,59 a | 0,29 |

El contenido de materia orgánica fue el más bajo al momento de la prelabranza del terreno. Entre la prelabranza y el final del primer ciclo, el aumento más significativo obtenido fue con el rotador, seguido por la rastra rotativa. Con

el palín mecánico, sin embargo, no se presentaron diferencias significativas y el aumento de materia orgánica fue más constante en el tiempo (Tabla 3), esto demuestra un efecto por parte de los implementos.

El funcionamiento de cada implemento se relaciona con la liberación de materia orgánica detectada en el suelo. El rotador, por su alta capacidad de mezcla, tiene la capacidad de disgregar las partículas del suelo (Pal *et al.* 2016). Esta disgregación sirvió para romper los agregados del suelo que libera la materia orgánica que se encontraba dentro de estos (Banwart *et al.* 2019). Debido al impacto vibratorio de las aspas del rotador se facilita la liberación de la materia orgánica más que el caso de los otros 2 implementos.

La rastra rotativa no afecta la estructura del suelo tan agresivamente como el rotador. Presenta la ventaja que promueve terrones más pequeños y sueltos lo cual favorece una liberación intermedia de la materia orgánica al no romper a profundidad los agregados (WIDEMEX 2018).

El palín mecánico fue el que presentó una liberación más estable de la materia orgánica en el tiempo y entre los implementos fue el que presentó menor porcentaje de materia orgánica en el suelo.

Por el movimiento rotativo a velocidades bajas causa una ruptura relativamente poca de los agregados (Sarrantonio y Molloy 2003), esto favorece que mucha de la materia orgánica permanezca dentro de los agregados.

Para el segundo ciclo de cultivo se había terminado la cosecha de papa y se habían sembrado leguminosas que fueron posteriormente incorporadas al suelo. Esto significó un aporte de materia orgánica para el final del segundo ciclo y justifican el aumento general en los contenidos de materia orgánica para cada uno de los implementos (Tabla 3).

Porosidad. Con la labranza, se rompe la estructura natural del suelo, se separan las partículas sólidas y se incrementa el espacio poroso. Esto explica el aumento general en la porosidad a lo largo de los momentos de evaluación. Se evidenció que la porosidad continúa en aumento hasta la prelabranza del segundo ciclo (Figura 5) donde comienza una reducción en la porosidad general de los suelos con los tratamientos.

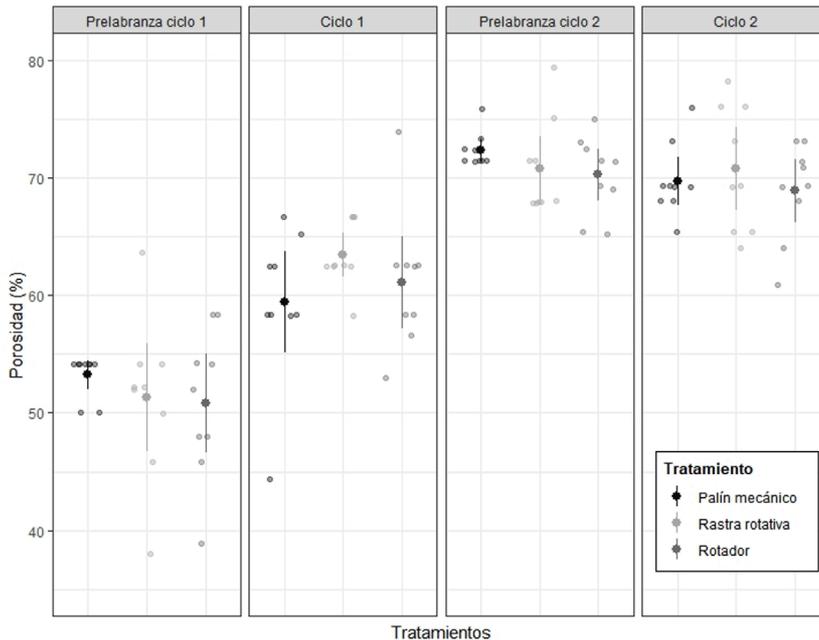


Figura 5. Efecto de diferentes implementos de labranza sobre la porosidad del suelo (%) en 4 momentos de evaluación. Tierra Blanca, Cartago. 2019-2020.

El efecto directo que presenta la labranza sobre la estructura del suelo genera cambios a nivel volumétrico. Estos cambios modifican la distribución del tamaño de los poros y se generan macroporos (Dörner *et al.* 2013). Con un aumento en la porosidad hay un menor volumen de suelo ocupado por partículas sólidas, esto ocasiona una disminución en la densidad aparente, concordante con lo observado en la Figura 4. Esta respuesta es común en suelos que han estado expuestos a labranzas convencionales (con pases de subsoladores, rastras, etc.), donde la densidad aparente tiende a ser menor en comparación con sistemas no disturbados (Lipiec *et al.* 2006).

Al comparar entre tratamientos dentro de un mismo momento de evaluación, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$). Cuando se compara el efecto a lo largo del tiempo se producen diferencias entre las porosidades de cada momento. La porosidad inicial en la prelabranza del ciclo 1 fue la menor dentro de todos los momentos de evaluación con diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los demás momentos (Figura 5).

Dentro de los tratamientos, con la rastra rotativa se presentó un aumento lineal en la porosidad el cual comienza a estabilizarse para el final del segundo ciclo, este fue el tratamiento con un mayor aumento en la porosidad del suelo. El palín mecánico comienza con una respuesta más sigmoideal, pero decae para el final del segundo ciclo. El rotador por su parte generó un aumento lineal en la porosidad hasta la prelabranza del segundo ciclo, pero la porosidad disminuyó para el final del segundo ciclo.

Al evaluar el efecto de la labranza, cabe destacar que en la prelabranza del ciclo 2, se reanudó el ciclo de cebolla posterior a un ciclo de papa, pero no se dejó el terreno el tiempo suficiente en barbecho por lo que el suelo no sufrió el reacomodo inicial. Adicionalmente, en el ciclo de papa se utilizó únicamente el rotador para afinar el suelo. Para el final del ciclo 2 se encontró una

reducción en la porosidad para los tratamientos con palín mecánico (3,7%) y rotador (2%).

Hacia el final del segundo ciclo se dio una estabilización en la porosidad del suelo con la rastra rotativa, mientras que el palín mecánico y el rotador presentaron reducciones para este mismo momento (Figura 5). Este evento puede deberse a que el rodillo acoplado en la parte posterior de la rastra rotativa reduce el volumen de los poros y consolida la estructura. El efecto de la compactación aumenta la microporosidad (de Andrade Bonetti *et al.* 2017) lo que justifica que la porosidad se mantuviera constante para los últimos 2 momentos de evaluación (Figura 5).

En el caso del rotador, el efecto directo de las aspas sobre la estructura del suelo ocasiona un alto grado de pulverización por parte del implemento (Safar *et al.* 2011). El palín mecánico, por el contrario, presenta un bajo nivel de volteo del suelo y disturba menos los agregados (Sarrantonio y Molloy 2003).

Estabilidad de agregados. Respecto a la estabilidad de agregados, el efecto de la labranza tampoco presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos debido a la alta dispersión en los datos. Sin embargo, se observó un incremento general en la estabilidad de agregados en ambas profundidades (Figura 6). Al igual que con las variables de porosidad y densidad aparente, la estabilidad de agregados cambia con respecto al momento de evaluación (inicial o final de cada ciclo de cultivo) más que por el efecto del tipo de labranza. Las determinaciones para cada momento de evaluación permitieron conocer los efectos de cada implemento sobre los cambios en la estabilidad de agregados a lo largo del tiempo.

La estabilidad de agregados en prelabranza del ciclo 1 fue significativamente menor ($p < 0,05$) para todos los tratamientos, en comparación con los ciclos 1 y 2 (Figura 6), esto a partir de los resultados del análisis estadístico realizado a partir de un modelo lineal generalizado realizado.

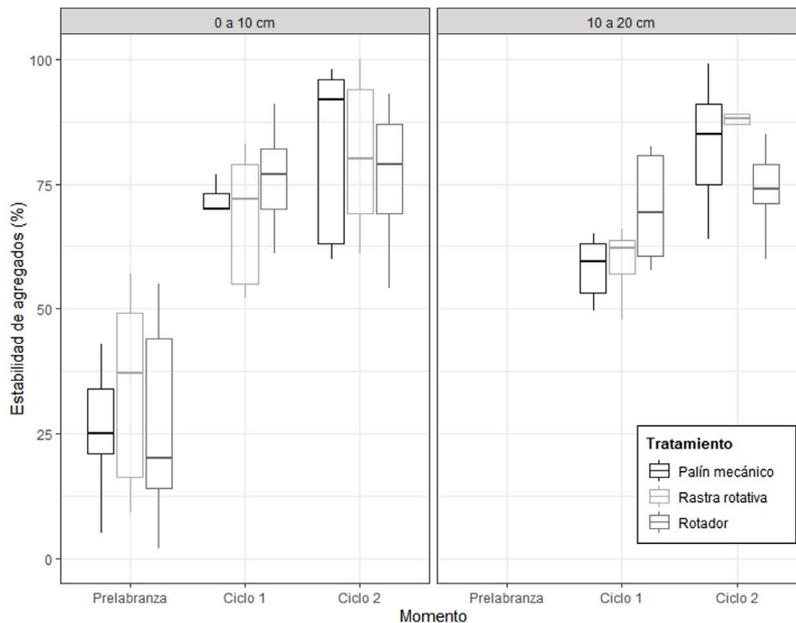


Figura 6. Efecto de diferentes implementos de labranza sobre la estabilidad de agregados obtenidas a partir de muestras de suelo a profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm.

En la profundidad de 0 a 10 cm, el cambio en la estabilidad de agregados fue más constante, al no presentarse aumentos significativos por parte de los tratamientos. A mayor profundidad (10 a 20 cm), se observaron mayores incrementos, especialmente con el palín mecánico y la rastra rotativa (Figura 6).

La estabilidad de los agregados del suelo aumentó como consecuencia de la labranza con los 3 implementos. Como muestran las otras propiedades del suelo, se partió de un estado de barbecho con alta densidad aparente, baja porosidad y baja estabilidad de agregados, pero a medida que se prepara el suelo en los diferentes ciclos de cultivo la estructura se rompe y comienza a cambiar. Adicionalmente se observó un aumento general en la materia orgánica del suelo conforme pasan los momentos de preparación y de cultivo (Tabla 3).

La estabilidad de agregados es una propiedad que puede ser afectada por el contenido de materia orgánica del suelo (Gao *et al.* 2018).

La materia orgánica sirve como una fuente de C y de energía para los microorganismos del suelo, los cuales producen sustancias, que ayudan a la adherencia entre partículas del suelo (Luna *et al.* 2018) por lo que se favorece la formación de los diferentes tamaños de agregados. La labranza podría contribuir a romper agregados grandes de suelo para mejor disponibilidad de la materia orgánica contenida (Banwart *et al.* 2019).

Al aumentar la disponibilidad de C en el suelo, se incrementa la actividad microbiana lo que se asocia también al aumento en la producción de sustancias proteicas que ayudan a la adherencia posterior de los microagregados del suelo (Lado *et al.* 2004, Regelink *et al.* 2015). El efecto destructivo por el alto impacto del rotador contribuyó a una mayor disrupción de los macroagregados (Safar *et al.* 2011) lo que justificaría el aumento significativo para el final del primer ciclo de cultivo. Sin embargo, la rastra rotativa y el palín mecánico al presentar una disrupción menor también afectaron el rompimiento

de la estructura por lo que también se produjo una liberación, aunque más controlada, de la materia orgánica (Camacho *et al.* 2015).

A profundidades mayores, de 10 a 20 cm, no se pudo comparar contra el momento de prelabranza debido a que las muestras fueron todas secadas a 110°C en un horno. Esta metodología afecta propiedades mineralógicas del suelo como las alofanas las cuales forman un gel que se contrae irreversiblemente lo que reduce el área específica de los agregados (Woignier *et al.* 2007). Con las altas temperaturas las arcillas pueden llegar a formar pseudoarenas o pseudolimos que no se dispersan cuando son rehmedecidos (Rahayu *et al.* 2015).

Se presentaron diferencias en la estabilidad de agregados entre ambos ciclos solo con el palín mecánico y la rastra rotativa ($p < 0,05$). Pero para el final del segundo ciclo se presentaron diferencias entre la rastra rotativa y el rotador, al presentar mayor estabilidad de agregados con la rastra rotativa ($p < 0,05$) lo que fortalece la recomendación del uso de la rastra sobre el rotador (Figura 6).

Este efecto se pudo deber al poder vibratorio del rotador donde a mayores profundidades puede ejercer un efecto sobre los agregados (Pal *et al.* 2016). Sin embargo, el efecto de compactación que ejerce la rastra también pudo afectar profundidades mayores a 10 cm por lo que la compactación pudo haber ayudado a mantener la estabilidad de los agregados (ALPEGO n.d.). Por otra parte, la baja perturbación con el palín mecánico mantiene una mayor proporción de macroagregados en el suelo (Sarrantonio y Molloy 2003) que aumentan la estabilidad de agregados detectada.

CONCLUSIONES

Las diferentes variables físicas del suelo evaluadas, mostraron cambios al momento en que se implementó la labranza. A pesar de que se utilizaron 3 implementos diferentes, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí entre los diferentes momentos de los ciclos de cultivo. Cabe destacar que estos momentos en

específico se refieren al inicio del ensayo y al final de cada uno de los ciclos de cultivo. El cambio más significativo para las variables de densidad aparente, porosidad y estabilidad de agregados se presentó entre la prelabranza y el final del primer ciclo de cultivo, con cada uno de los implementos. Esto porque se partió de un periodo de barbecho con un suelo poco disturbado a un suelo con una estructura disturbada como consecuencia de la labranza.

La densidad aparente disminuyó en todos los tratamientos a lo largo de los diferentes momentos de evaluación. La porosidad y la estabilidad de agregados, por el contrario, aumentaron con el tiempo en cada uno de los tratamientos. Adicionalmente, la materia orgánica aumentó ligeramente como resultado de la disrupción de los agregados ocasionada por la labranza.

El efecto de la labranza suele presentarse a lo largo del tiempo a medida que esta afecta la estructura del suelo, sin embargo, no fue posible determinar diferencias significativas entre implementos. En los resultados la densidad aparente se mantiene más constante con el palín mecánico y el rotador a partir de la prelabranza del segundo ciclo, pero la rastra rotativa mantiene una porosidad más constante en estos mismos periodos. La estabilidad de los agregados de 10 a 20 cm la principal diferencia significativa se presentó entre la rastra rotativa y el rotador. A pesar de esto, no se puede especificar un implemento que sea más promisorio.

Para futuras investigaciones sería importante realizar más mediciones en cada momento de evaluación y mantener las evaluaciones durante más ciclos de cultivo. De igual forma, es importante que los ciclos sean seguidos y que estos no presenten ciclos de otros cultivos intercalados.

AGRADECIMIENTOS

Al señor Roberto Aragón Sánchez y al Ing. Agr. Roberto Aragón Soto por la colaboración para hacer posible la ejecución del proyecto y por ayudar con los diferentes implementos.

LITERATURA CITADA

- ALPEGO. n.d. Gama GRADAS ROTATIVAS. s.l., s.e.
- Alvarado, A. 2011. Maquinaria y mecanización agrícola. San José, Costa Rica, EUNED. 612 p.
- Alvarado, A; Mata, R. 2016. Soils of Costa Rica: an agroecological approach. Chapter 4. *In* Kappelle, M (ed.). Costa Rican Ecosystems. Chicago, USA, University of Chicago Press. p. 64-93.
- Angst, G; Messinger, J; Greiner, M; Häusler, W; Hertel, D; Kirfel, K; Kögel-Knabner, I; Leuschner, C; Rethemeyer, J; Mueller, CW. 2018. Soil organic carbon stocks in topsoil and subsoil controlled by parent material, carbon input in the rhizosphere, and microbial-derived compounds. *Soil Biology and Biochemistry* 122:19-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.03.026>
- Banwart, SA; Nikolaidis, NP; Zhu, YG; Peacock, CL; Sparks, DL. 2019. Soil functions: Connecting earth's critical zone. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 47:333-359. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-063016-020544>
- Behera, A; Raheman, H; Thomas, EV. 2021. A comparative study on tillage performance of rota-cultivator (a passive-active combination tillage implement) with rotavator (an active tillage implement). *Soil & Tillage Research* 207:104861. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104861>
- Brunel, N; Seguel, O. 2013. Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro Sur* 39(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2011.v39n1-01>
- Camacho, ME; Mata, R; Forsythe, W. 2015. Labranza Mecanizada de pasturas mediante tres implementos en un ultisol y sus implicaciones físicas e hidropedológicas (en línea). *Agronomía Costarricense* 39(3):1-16.
- Churchman, GJ; Lowe, DJ. 2012. Alteration, formation, and occurrence of minerals in soils. Florida, USA, CRC Press. p. 1-72.
- Cortés Lombana, A; Malagón Castro, D. 1984. Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Colombia, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 360 p.
- de Andrade Bonetti, J; Anghinoni, I; Tuzzin De Moraes, M; Fink, JR. 2017. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. *Soil & Tillage Research* 174:104-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.06.008>
- Deviren Saygın, S; Cornelis, WM; Erpul, G; Gabriels, D. 2012. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. *Applied Soil Ecology* 54:1-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.11.012>
- Dörner, J; Dec, D; Sáez, C; Peng, X; Ivelic-Sáez, J; Zúñiga, F; Seguel, O; Horn, R. 2013. Las propiedades de contracción de Andisoles bajo distinto manejo en función de la escala de los agregados. *Agro Sur* 41(1):1-9. DOI: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2013.v41n1-01>
- Eden, M; Moldrup, P; Schjønning, P; Scow, KM; De Jonge, LW. 2012. Soil-gas phase transport and structure parameters for a soil under different management regimes and at two moisture levels. *Soil Science* 177(9):527-534. DOI: <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e318267ec85>
- Flint, LE; Flint, AL. 2002. 2.3 Porosity. *In* Dame, JH; Topp, GC (eds.). *Methods of soil analysis, part 4 – physical methods*. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America. p.241-254. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c11>
- Gao, L; Wang, B; Li, S; Wu, H; Wu, X; Liang, G; Gong, D; Zhang, X; Cai, D; Degré, A. 2018. Soil wet aggregate distribution and pore size distribution under different tillage systems after 16 years in the Loess Plateau of China. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.043>
- García-Orenes, F; Roldán, A; Mataix-Solera, J; Cerdà, A; Campoy, M; Arcenegui, V; Caravaca, F. 2012. Soil structural stability and erosion rates influenced by agricultural management practices in a semi-arid Mediterranean agro-ecosystem. *Soil Use and Management* 28(4):571-579. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00451.x>
- Grossman, RB; Reinsch, TG. 2002. 2.4 Particle-size analysis. *In* Dame, JH; Topp, GC (eds.). *Methods of soil analysis, part 4 – physical methods*. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America. p. 201-228. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c9>
- Henry, A; Mabit, L; Jaramillo, RE; Cartagena, Y; Lynch, JP. 2013. Land use effects on erosion and carbon storage of the Río Chimbo watershed. *Plant Soil* (367):477-491.
- Hillel, D. 2004. *Introduction to environmental soil physics*. San Diego, Elsevier Science. 494 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kankal, US; Karale, DS; Thakare, SH; Khambalkar, VP. 2016. Performance evaluation of tractor operated. *International Journal of Agriculture* 6(1):137-146.
- Koirala, P; Thakuri, S; Joshi, S; Chauhan, R. 2019. Estimation of soil erosion in Nepal using a RUSLE Modeling and Geospatial Tool. *Geosciences* 9(4):147. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences9040147>
- Kumar, S; Udawatta, RP; Anderson, SH. 2010. Root length density and carbon content of agroforestry and grass buffers under grazed pasture systems in a Hapludalf (en línea). *Agroforestry Systems* 80:85-96. Consultado 12 Sep. 2020. Disponible en <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10457-010-9312-0.pdf>

- Lado, M; Paz, A; Ben-Hur, M. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Science Society of America Journal* 68(3):935. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.9350>
- Lark, RM; Rawlins, BG; Robinson, DA; Lebron, I; Tye, AM. 2014. Implications of short-range spatial variation of soil bulk density for adequate field-sampling protocols: Methodology and results from two contrasting soils. *European Journal of Soil Science* 65(6):803-814. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12178>
- Le Bissonnais, YL. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47(4): 425-437.
- Lipiec, J; Kuś, J; Słowińska-Jurkiewicz, A; Nosalewicz, A. 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil and Tillage Research* 89(2):210-220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.07.012>
- Luna, L; Vignozzi, N; Miralles, I; Solé-Benet, A. 2018. Organic amendments and mulches modify soil porosity and infiltration in semiarid mine soils. *Land degradation and Development* 29(4):1019-1030. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2830>
- Mandal, SK; Bhattacharyya, B; Mukherjee, S. 2013. Design optimization of rotary tiller blades: a critical review. *Scientific Journal of Pure and Applied Sciences* (2):260-269.
- Morales-Olmedo, M; Ortiz, M; Sellés, G. 2015. Effects of transient soil waterlogging and its importance for rootstock selection. *Chilean Journal of Agricultural Research* 75:45-56. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000300006>
- Nielsen, DC; Calderón, FJ. 2015. Fallow Effects on Soil. s.l., s.e. p. 287-300 DOI: <https://doi.org/10.2136/2011.soilmanagement.c19>
- Nimmo, JR; Perkins, KS. 2002. Aggregate stability and size distribution. In Dane, JH; Topp, GC. (eds.), *Methods of soil analysis part 4 - physical methods*. Madison, WI. Soil Science Soc. of Am. Book Series, vol. 5. p. 317-328.
- Pal, R; Chaudhary, S; Mishra, R; Bhatia, S; Bist, AS. 2016. Performance evaluation of rotavator based on different soil. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology* 5(8):808-816.
- Rahayu, A; Utami, SR; Prijono, S. 2015. The changes of soil physical and chemical properties of Andisols as affected by drying and rewetting processes. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 3(1):439-446. DOI: <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2015.031.439>
- Rahman, MH; Okubo, A; Sugiyama, S; Mayland, HF. 2008. Physical, chemical and microbiological properties of an Andisol as related to land use and tillage practice. *Soil and Tillage Research* 101(1-2):10-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.006>
- Regelink, IC; Stoof, CR; Rousseva, S; Weng, L; Lair, GJ; Kram, P; Nikolaidis, NP; Kercheva, M; Banwart, S; Comans, RNJ. 2015. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. *Geoderma* 247-248:24-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.01.022>
- Safar, S; González, H; Cappelli, NL. 2011. Effect of rotary plows on some physical properties of a clay loam soil. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 6(1):32-44.
- Sarrantonio, M; Molloy, T. 2003. Response of sweet corn to red clover under two tillage methods. *Journal of Sustainable Agriculture* 23(2):91-109. DOI: https://doi.org/10.1300/J064v23n02_08
- Soil Survey Staff. 2022. Keys to soil taxonomy, 13th ed. USDA, Natural Resources Conservation Service. s.p.
- Van Oost, K; Quine, TA; Govers, G; De Gryze, S; Six, J; Harden, JW; Ritchie, JC; McCarthy, GW; Heckrath, G; Kosmas, C; Giraldez, JV; Marques da Silva, JR; Merckx, R. 2007. The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. *Science* 318: 626-629.
- WIDEMEX. 2018. Rastra desterronadora invertida. México, s.e. s.p.
- Woignier, T; Pochet, G; Doumenc, H; Dieudonné, P; Duffours, L. 2007. Allophane: A natural gel in volcanic soils with interesting environmental properties. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 41(1):25-30. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10971-006-0120-y>
- Wu, X; Wei, Y; Wang, J; Wang, D; She, L; Wang, J; Cai, C. 2017. Effects of soil physicochemical properties on aggregate stability along a weathering gradient. *Catena* 156:205-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.017>

Nota técnica

EFFECTO DEL USO DE UNA MEZCLA DE COMPUESTOS GLUCONEOGENICOS EN VACAS LECHERAS EN TRANSICIÓN¹

Carlos Rafael Arita-Portillo², Jorge Alberto Elizondo-Salazar^{3/}*

Palabras clave: propilenglicol; cetosis; glucosa; betahidroxibutirato.

Keywords: propylene glycol; ketosis; glucose; beta-hydroxybutyrate.

Recibido: 14/11/22

Aceptado: 13/02/23

RESUMEN

Introducción. Durante el periodo de transición las vacas lecheras sufren grandes cambios metabólicos, ocasionados por el final de la gestación y el inicio de la lactancia. Durante este periodo la mayoría de vacas presentan un balance energético negativo, debido a la reducción en la ingesta de materia seca y un aumento de los requerimientos energéticos, que induce a la movilización de tejido adiposo y una consecuente cetogénesis, asociada con un menor aporte de glucosa a nivel hepático y menor capacidad oxidativa de ácidos grasos no esterificados en este órgano. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la inclusión de una mezcla de compuestos gluconeogénicos (propilenglicol, propionato de calcio y propionato de sodio) sobre los parámetros productivos de vacas en transición. **Materiales y**

métodos. El estudio se desarrolló en San Carlos, Alajuela, Costa Rica de junio a octubre de 2020. Se ofrecieron 400 g de la mezcla de compuestos gluconeogénicos desde los 21 días antes de parto hasta los 21 días posparto. Se utilizaron 18 vacas multíparas a las que se les asignó aleatoriamente uno de los 2 tratamientos: vacas que consumían la mezcla de compuestos gluconeogénicos (PG) y vacas que no consumían dicha mezcla (TG). Se midió el peso vivo, la condición corporal, las concentraciones de glucosa y β -hidroxibutirato en sangre, la producción de leche y sus componentes. **Resultados.** El tratamiento no afectó el peso vivo, la condición corporal ni la producción de leche. Se observaron diferencias significativas en las concentraciones de glucosa 7 días antes del parto, siendo mayores para las PG que para TG ($p<0,05$). Las concentraciones de betahidroxibutirato fueron mayores para TG que para PG ($p<0,05$) los días 7 y 21 posparto.

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

1 Este trabajo formó parte del proyecto de investigación 737-B5-188 inscrito en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

2 Universidad de Costa Rica, Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas, Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Nutrición Animal, Costa Rica.

 0000-0003-0400-2436.

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

 0000-0003-2603-9635.

La concentración de sólidos totales y grasa en la leche fueron mayores para TG que PG ($p < 0,05$) en el día 7 posparto. **Conclusión.** Los resultados sugieren que suplementar con una mezcla de compuestos gluconeogénicos mejora el balance energético de vacas en transición.

ABSTRACT

Effect of the use of a mixture of gluconeogenic compounds in dairy cows in transition. Introduction. During the transition period, dairy cows undergo great metabolic changes, due to the end of pregnancy and the beginning of lactation. During this period, most cows have a negative energy balance, due to the reduction in dry matter intake and the increase in energy requirements, thus in order to supply the needed energy, body reserves are mobilized. **Objective.** Evaluate the effect of the inclusion of a mixture of gluconeogenic compounds (propylene glycol, calcium propionate and sodium propionate) on productive parameters of transition cows. **Materials and methods.** The

study was carried out in San Carlos, Alajuela, Costa Rica, between of June and October of 2020. 400 g of the mixture of gluconeogenic compounds were offered from day 21 before calving until 21 days postpartum. Eighteen multiparous cows were assigned to one of the two treatments: cows that consumed the mixture of gluconeogenic compounds (PG) and cows that did not consume the mixture of gluconeogenic compounds (TG). Live weight, body condition, blood glucose and beta-hydroxybutyrate concentrations, milk production and its components were measured. **Results.** Treatment did not affect live weight, body condition and milk production. Significant differences were observed in glucose concentrations 7 days before parturition, being higher for PG than for TG ($p < 0.05$). Beta-hydroxybutyrate concentrations were higher for TG than for PG ($p < 0.05$) on days 7 and 21 postpartum. Total solids and fat concentrations in milk were higher for TG than PG ($p < 0.05$) on day 7 postpartum. **Conclusion.** Results suggest that supplementation with a mixture of gluconeogenic compounds improves the energy balance of dairy cows in transition.

INTRODUCCIÓN

Durante el periodo de transición en vacas lecheras, que corresponde al que transcurre desde 3 semanas antes del parto hasta 3 semanas después del parto, se realizan profundos cambios metabólicos y endocrinos generados por el fin de la gestación y el inicio de la lactancia (Campos *et al.* 2018). En esta fase se producen alteraciones marcadas en el reparto general de nutrientes y en el metabolismo de estos, con el fin de satisfacer las demandas de la glándula mamaria para una abundante secreción de leche (Bauman y Bruce Currie 1980), al tiempo que se da una caída sustancial en el consumo de materia seca (Ingvartsen y Andersen 2000).

Durante este periodo posparto, la mayoría de vacas lecheras experimentan un estado de

balance energético negativo debido a una disminución y retraso en el consumo de materia seca en comparación con las mayores demandas de energía para la producción de leche (Gerloff 2000).

Dado a que las altas necesidades energéticas no pueden satisfacerse solamente con el consumo de alimento, la grasa corporal y la proteína son movilizadas para la gluconeogénesis hepática, lo que genera un aumento en la concentración de ácidos grasos no esterificados (AGNE), β -hidroxibutirato y amoníaco en plasma (Campos *et al.* 2018, Moore y DeVries 2020). Un incremento en la oxidación hepática de AGNE podría inducir la saciedad, y reducirse el consumo de alimento e incrementar más la movilización de grasas por las altas demandas metabólicas en este periodo (Allen *et al.* 2009). Una concentración elevada de cuerpos cetónicos

en los fluidos corporales (sangre, leche, orina, etc.) conocida como cetosis, es indicativo de una excesiva movilización de grasa corporal, asociada a menudo con inapetencia, disminución en la producción de leche y un estado de alerta aumentado (Piantoni y Allen 2015).

En vacas lecheras, los requerimientos de glucosa son mayores durante la lactancia temprana, pues este metabolito es precursor de la síntesis de lactosa, por lo que, las vacas lecheras realizan una serie de adaptaciones biológicas priorizadas para asegurar su disponibilidad en la glándula mamaria (Baumgard *et al.* 2017). Las concentraciones de insulina plasmática disminuyen después del parto, se reduce la captación de glucosa en órganos sensibles a la insulina (tejido muscular y adiposo), lo que favorece la captación de glucosa por parte de la glándula mamaria ya que esta no se ve afectada por la acción de la insulina (Komatsu *et al.* 2005, Hammon *et al.* 2010).

La obtención de energía en los rumiantes, depende de la fermentación ruminal y la producción de los ácidos grasos volátiles (AGV), en especial del ácido propiónico como principal precursor en la síntesis de glucosa, útil para el metabolismo energético celular (Aschenbach *et al.* 2010). Esta es la razón por lo que, en esta etapa, se busca mejorar el estatus nutricional de las vacas mediante el aporte de energía a través de la suplementación de compuestos glucogénicos como el propilenglicol (PPG).

Se ha demostrado que el PPG aumenta la concentración de propionato y disminuye la proporción de acetato:propionato, lo que resulta en un patrón ruminal de AGV que es más glucogénico (Clapperton y Czerkawski 1972). En diversos trabajos de investigación se ha evaluado la manera de ofrecer el PPG ya sea líquido en empapado oral, empapado ruminal o como producto seco (Chung *et al.* 2009), en forma de infusión en el abomaso y en el retículo craneal (Piantoni y Allen 2015), o como combinación de precursores glucogénicos (propilenglicol y propionato de calcio) y de grasas de sobrepaso (Patton *et al.* 2004), entre algunas otras.

Mejorar el balance energético durante el periodo de transición reduce la incidencia de problemas metabólicos. McArt *et al.* (2012) demostraron que el empapado con PPG no solo ayuda a resolver la hipercetonemia sino que también reduce el riesgo de desplazamiento de abomaso y propicia un incremento en la producción de leche.

La combinación de precursores gluconeogénicos y grasa en la dieta ha demostrado que existe un efecto beneficioso sinérgico en la vaca de transición (Patton *et al.* 2004). Sin embargo, no se ha encontrado un estudio donde se evalué una mezcla de compuestos gluconeogénicos que contenga PPG, propionato de calcio y propionato de sodio durante el periodo de transición. Es por esta razón que el objetivo del presente ensayo fue determinar el efecto de la inclusión de una mezcla de compuestos gluconeogénicos sobre los parámetros productivos de vacas en transición.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el periodo comprendido de junio a octubre del 2020, en la Finca Ganadera Renacer S.A. ubicada en la Provincia de Alajuela, a una altitud de 800 msnm, con precipitaciones de 2274 mm al año y temperatura promedio de 18,3°C (IMN 2018).

Se utilizaron 18 vacas del cruce Holstein-Jersey, multíparas (número de partos promedio 3,0±1,1) y con peso promedio de 534,66 kg (±97,10). Las vacas se asignaron aleatoriamente a uno de los 2 tratamientos desde 21 días antes del parto y hasta los 21 días después del parto. Los tratamientos fueron: 1) grupo control (TG): sin inclusión de mezcla de compuesto glucogénico; 2) grupo experimental (PG): 400 g al día de una mezcla de compuestos glucogénicos equivalentes a 100 g de propilenglicol, 120 g de propionato de calcio y 20 g de propionato de sodio.

Durante el periodo preparto las vacas recibieron alimento balanceado y heno de pasto transvala (*Digitaria decumbens* cv transvala) por la mañana, posteriormente se trasladaron a pastorear donde consumieron pasto tanner

(*Urochloa radicans*) en aparatos que el día anterior consumieron las vacas en lactancia; por la tarde permanecían en un corral y consumían heno de transvala. Durante los 21 días posparto, los animales recibieron durante cada ordeño alimento balanceado y en las mañanas, luego de pastoreo recibieron alimentación en canoa que comprendía pasto zuri (*Megathyrsus maximus*

BRS Zuri), mezcla picada de heno de transvala y gigante (*Pennisetum purpureum*), citropulpa deshidratada (citrocom), harina de maíz, harina de soya, premezcla de minerales, melaza y alimento balanceado (Tabla 1). Para las vacas del tratamiento PG, el PPG fue mezclado con el suplemento alimenticio y suministrado una vez al día.

Tabla 1. Ingredientes y composición nutricional de la ración utilizados en la alimentación de los animales durante el experimento.

| Ingrediente, % de la dieta en MS | Preparto | Posparto |
|--|----------|----------|
| Pasto Tanner | 53,11 | 6,57 |
| Pasto Zury | -- | 20,42 |
| Heno transvala | 16,12 | -- |
| Mezcla de heno de transvala y gigante | -- | 4,21 |
| Alimento para vacas parto | 30,77 | -- |
| Alimento para vacas en producción | -- | 35,37 |
| Citropulpa deshidratada | -- | 16,00 |
| Harina de maíz | -- | 4,02 |
| Harina de soya | -- | 6,13 |
| Melaza | -- | 7,26 |
| Premezcla de minerales | -- | 0,12 |
| Composición nutricional | | |
| Proteína cruda, % | 12,70 | 14,10 |
| Fibra detergente neutro, % | 50,50 | 39,40 |
| Fibra detergente ácida, % | 30,40 | 21,30 |
| Extracto etéreo, % | 1,10 | 2,80 |
| Energía neta de lactancia, Mcal.kg ⁻¹ | 1,45 | 1,60 |
| Calcio, % | 0,50 | 0,56 |
| Fósforo, % | 0,49 | 0,31 |

La premezcla de minerales contenía 21,0% de Ca; 16,0% de P; 8,0% de Mg; 60 mg.kg⁻¹ de Se; 2000 mg.kg⁻¹ de Co; 150 mg.kg⁻¹ de I; 500 000 UI.kg⁻¹ de vitamina A; 100 000 UI.kg⁻¹ de vitamina D y 1000 UI.kg⁻¹ de vitamina E.

Toma y recolección de datos. Las muestras de sangre para medir las concentraciones de glucosa y β -hidroxibutirato se tomaron los días 14 y 7 antes del parto, y los días 1, 7, 14 y 21 posparto. Para cada día de muestreo se tomaron 2 muestras de sangre: 1) 0,5 h antes de ofrecer el alimento y 2) 1,0 h después de ingerido el alimento. Cada muestra de sangre se tomó de la vena coxígea, mediante jeringas de 3,0 ml, y se colocó una gota en la tira reactiva de un glucómetro (Element™, Infopia Co. Ltd.) para medir las concentraciones de glucosa, y en las tiras reactivas del medidor (Keto-Mojo™, GKI system) para determinar las concentraciones de β -hidroxibutirato.

Las vacas fueron ordeñadas 2 veces al día (2:00 am y 2:00 pm) en cada ordeño se registró la producción de leche de cada vaca, se tomaron muestras de leche para determinar su composición durante los 2 ordeños en los días 7, 14 y 21. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de calidad de leche de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos S.A., para determinar sus componentes mediante la metodología descrita por la FOSS Electric A/S con el equipo MilkoScan™ FT120 Type 71200.

Las vacas fueron pesadas mediante báscula digital (X serie indicator, SIRIUS weighing systems & solutions), al inicio y al final del estudio, tomándose el peso siempre a la misma hora del día con el fin de evitar variaciones debido al consumo de alimento. La condición corporal se determinó al inicio del estudio, el día 7 antes del parto y al finalizar el estudio, con base en

una escala que va de 1 a 5, donde uno es una vaca muy delgada y cinco una vaca muy gorda (Edmonson *et al.* 1989).

Análisis estadístico. Se utilizó un diseño irrestricto al azar, con 2 tratamientos (PG y TG), donde las unidades experimentales fueron las vacas. Las variables de estudio fueron las concentraciones de glucosa y β -hidroxibutirato antes y después de ofrecer el suplemento, la cantidad de leche producida y la composición bromatológica, el peso vivo y la condición corporal. Los datos se analizaron por medio del procedimiento MIXED de SAS (SAS 2004) y la utilización de un análisis de varianza (ANDEVA). El estadístico de Tukey se utilizó para la comparación entre medias, con una significancia estadística de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Respuesta de metabolitos sanguíneos. La suplementación con una mezcla de compuestos gluconeogénicos (propilenglicol, propionato de calcio y propionato de sodio) afectó las concentraciones de glucosa y β -hidroxibutirato luego que fueron consumidos por los animales. La glucosa fue mayor para las vacas PG que para las TG (81,16 vs 74,75 mg/dl; $p=0,03$), mientras que, el β -hidroxibutirato fue menor para los animales del grupo PG que para las de TG (0,75 vs 0,87 mmol.L⁻¹; $p=0,02$). No se encontraron diferencias significativas para las concentraciones de glucosa ($p=0,11$) y β -hidroxibutirato ($p=0,30$) antes de ofrecer el suplemento (Tabla 2).

Tabla 2. Concentraciones promedio de glucosa y betahidroxibutirato en sangre, producción de leche y sus componentes en las vacas para los diferentes tratamientos.

| | PG | TG | p-Valor |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| Respuesta metabólica | | | |
| Glucosa antes, mg.dl ⁻¹ | 78,28 | 73,33 | 0,110 |
| Glucosa después, mg.dl ⁻¹ | 81,16 a | 74,75 b | 0,028 |
| BHB antes, mmol.L ⁻¹ | 0,65 | 0,70 | 0,301 |
| BHB después, mmol.L ⁻¹ | 0,75 b | 0,87 a | 0,022 |
| Producción, kg.día ⁻¹ | | | |
| Leche | 24,37 | 22,50 | 0,485 |
| Grasa | 0,95 | 1,04 | 0,457 |
| Proteína | 0,85 | 0,81 | 0,372 |
| Lactosa | 1,14 | 1,10 | 0,596 |
| Composición de leche, % | | | |
| Grasa | 3,77 | 4,36 | 0,176 |
| Proteína | 3,42 | 3,44 | 0,904 |
| Lactosa | 4,54 | 4,58 | 0,650 |

^{ab} Medias con letras distintas en una misma fila, difieren entre sí ($p < 0,05$),

PG = vacas con suplemento energético, TG = vacas sin suplemento energético, BHB = β -hidroxibutirato.

En otro sentido, se encontró que las vacas PG mantuvieron concentraciones de glucosa más altos en el periodo preparto hasta un día después del parto, que mostró más acentuada esta diferencia, el día 7 antes del parto (83,78 vs 70,89 mg.dl⁻¹; $p=0,04$) (Figura 1). Las concentraciones de β -hidroxibutirato fueron similares antes del parto, mientras que posterior al parto fueron menores para las vacas PG que para las TG, con diferencias significativas para el día 7 (0,82 vs 1,06 mmol.L⁻¹; $p=0,01$) y el día 21 (0,74 vs 1,10 mmol.L⁻¹; $p=0,001$) (Figura 1). Antes de ofrecer la mezcla energética no se encontraron diferencias entre los 2 tratamientos.

Parámetros productivos. La producción de leche no se vio afectada por la suplementación con la mezcla de precursores glucogénicos ($p=0,85$) (Figura 2).

Sin embargo, si afectó el porcentaje de grasa y de sólidos totales para el día 7 posparto con $p=0,04$ y $p=0,03$ respectivamente (Figura 2), similar cantidad de proteína (0,85 vs 0,81 kg.día⁻¹; $p=0,37$) al igual que de lactosa (1,14 vs 1,10 kg.día⁻¹; $p=0,60$) (Tabla 1), con las concentraciones de grasa mayores, para las vacas que no recibieron el suplemento (3,77 vs 4,36%; $p=0,18$), mientras que la proteína y lactosa fueron similares entre los tratamientos con 3,42 4,54 vs 3,44 4,58%; $p=0,90$ 0,65 respectivamente (Tabla 1). El peso y la condición corporal no se vieron afectadas por los tratamientos ($p=0,76$ y $p=0,24$) al igual que el peso de los terneros al nacer y la pérdida de peso para el día 21 posparto para $p=0,89$ y $p=0,46$ respectivamente (Tabla 3).

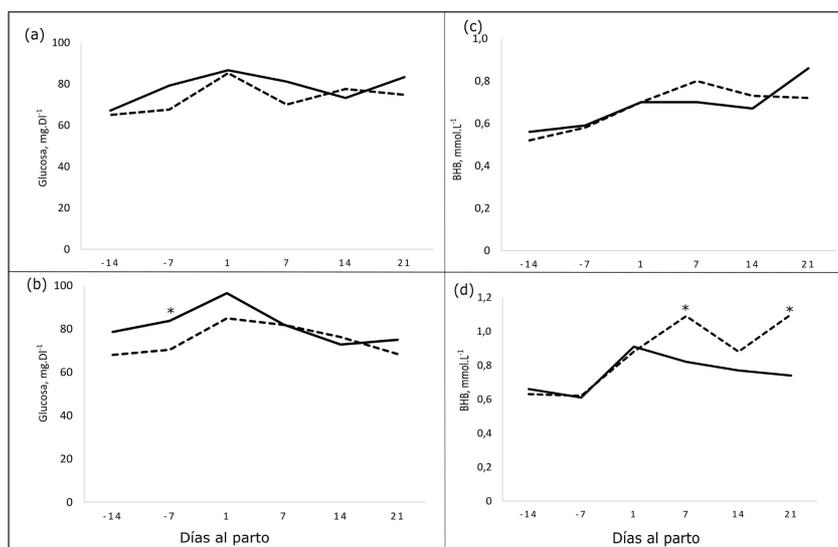


Figura 1. Concentración de glucosa y betahidroxibutirato en vacas suplementadas con una mezcla de compuestos gluconeogénicos durante el periodo de transición. Línea corrida (—) vacas con suplementación (PG) y línea punteada (---) vacas sin suplementación (TG). (a) glucosa antes de ofrecer el suplemento, (b) glucosa 1,5 horas después de consumir el suplemento, (c) betahidroxibutirato antes de ofrecer el suplemento y (d) betahidroxibutirato 1,5 horas después de consumir el suplemento, (*) diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

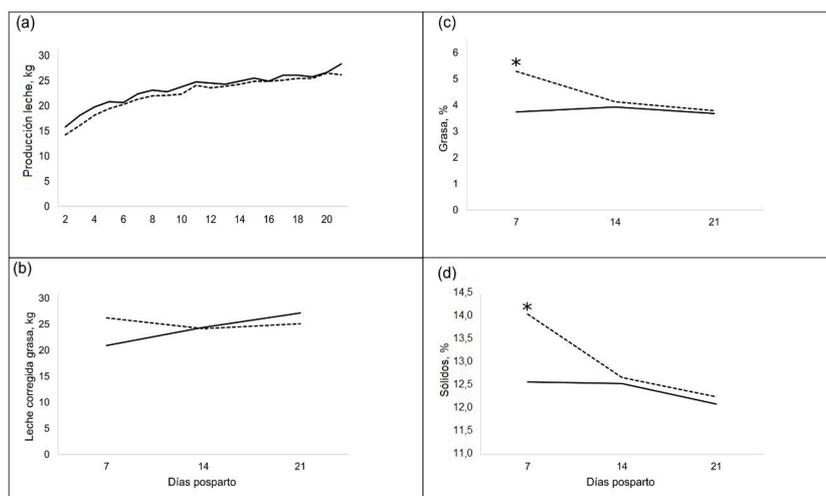


Figura 2. Producción y componentes de leche en vacas alimentadas con una mezcla de compuestos gluconeogénicos. Línea corrida (—) vacas con suplementación (PG) y línea punteada (---) vacas sin suplementación (TG). (a) producción de leche, (b) leche corregida en grasa, (c) porcentaje de grasa en leche y (d) porcentaje de sólidos totales, (*) diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Tabla 3. Peso corporal promedio y condición corporal de las vacas al inicio y finalización del estudio.

| Variable | PG | TG | p-Valor |
|---------------------------|--------|--------|---------|
| Peso corporal inicio, kg | 551,33 | 518,00 | 0,48 |
| Peso corporal final, kg | 466,22 | 455,22 | 0,75 |
| Peso ternero al nacer, kg | 33,87 | 34,33 | 0,89 |
| Condición corporal inicio | 3,38 | 3,50 | 0,36 |
| Condición corporal final | 3,08 | 3,22 | 0,24 |
| Peso perdido, % | 9,10 | 5,28 | 0,45 |

PG = vacas con suplemento energético, TG = vacas sin suplemento energético.

DISCUSIÓN

Los componentes de la mezcla utilizada (propilenglicol, propionato de calcio y propionato de sodio) son suplementos gluconeogénicos (Nielsen y Ingvarstsen 2004, Aschenbach *et al.* 2010), necesarios durante el periodo de transición para compensar el aumento en las necesidades energéticas de las vacas (Patton *et al.* 2004); sin embargo, la utilización de estos compuestos no mejoró la condición, ni el peso corporal de los animales en transición. Estos resultados son similares a los encontrados por Molina-Coto *et al.* (2018) al evaluar el PPG en vacas multiovoladas.

Las concentraciones de β -hidroxibutirato fueron más bajas antes de ofrecer el suplemento en ambos grupos experimentales, resultados que podrían deberse a que las muestras de sangre fueron tomadas cuando las vacas llegaron al corral, provenientes de los apartos de pastoreo, mediante ejercicios de locomoción y el uso de cuerpos cetónicos como fuente energía, tal como lo indican Adewuyi *et al.* (2005), ya que en el ejercicio diario o la actividad de caminar se oxida el exceso de ácidos grasos no esterificados en los músculos, que actúan como un antídoto natural a la cetosis.

Al analizar el β -hidroxibutirato después de ofrecer el suplemento se observó que las concentraciones fueron similares para ambos tratamientos en el periodo previo al parto y que, posterior al parto estos se incrementaron

con diferencias más marcadas en los días 7 y 21 posparto, similares resultados fueron los encontrados por Patton *et al.* (2004); sin embargo, McArt *et al.* (2012) al realizar pruebas repetidas de cetosis desde los 3 hasta los 16 días posparto, encontraron que la incidencia de cetosis subclínica (concentración de β -hidroxibutirato en sangre de 1,2 a 2,9 mmol.L⁻¹) fue mayor a los 5 días posparto, lo que podría sugerir que en este estudio las vacas posiblemente tuvieron concentraciones de β -hidroxibutirato más altas para ese día que para el día 7 en el que se realizó la prueba.

La concentración de glucosa fue mayor para el día posterior al parto en ambos tratamientos, resultados similares a los obtenidos por Garverick *et al.* (2013), quienes indican que durante este periodo se realizan adaptaciones homeorréticas que conducen a un aumento en la síntesis de glucosa que se pierde irreversiblemente en la lactosa de la leche. Las concentraciones de glucosa para los demás días evaluados fueron similares para ambos tratamientos. A pesar de que las diferencias en las concentraciones de glucosa y β -hidroxibutirato en sangre fueron mínimas, hubo un efecto en la productividad metabólica como se esperaba con el uso de estos compuestos, que aumentaron la glucosa y redujeron el β -hidroxibutirato.

La producción de leche varió levemente, ya que fue mayor para las vacas que consumieron la mezcla, si se considera que en la producción de leche, la glucosa es el principal precursor para la síntesis de lactosa, y como principal

osmoreguladora en la síntesis de leche (Cant *et al.* 2002). Se esperaba una mayor producción de leche para el grupo PG; sin embargo, la diferencia no fue significativa, similar a los resultados obtenidos por Weber *et al.* (2016).

La grasa en leche varió para el día 7, pues fue mayor para el grupo testigo que no consumió la mezcla de compuestos gluconeogénicos, mismos que también tenían concentraciones de β -hidroxibutirato más altas para este día, similar a los hallazgos de Klein *et al.* (2020), quienes al medir cuerpos cetónicos en leche encontraron que el porcentaje de grasa aumentaba significativamente con el aumento en las concentraciones de cuerpos cetónicos. Esto se debe a la gran movilización de grasa corporal durante el periodo de balance energético negativo y que el betahidroxibutirato es utilizado para la síntesis de grasa en la glándula mamaria (Dodds *et al.* 1981). Sin embargo, Yasui *et al.* (2014) al evaluar el propionato de cromo en vacas en transición no encontraron diferencias significativas en cuanto a la producción de leche y sus componentes. El mayor porcentaje de grasa provocó un mayor contenido de sólidos totales durante este periodo y un mayor valor de leche corregida por grasa.

CONCLUSIÓN

Los resultados sugieren que la suplementación con esta mezcla de compuestos gluconeogénicos mejora el balance energético en el periodo de transición en vacas lecheras.

LITERATURA CITADA

- Adewuyi, AA; Gruysi, E; Eerdenburg, FJ. 2005. Non esterified fatty acids (NEFA) in dairy cattle. A review. *Veterinary Quarterly* 27(3):117-126. DOI: <https://doi.org/10.1080/01652176.2005.9695192>
- Allen, MS; Bradford, BJ; Oba, M. 2009. Board-invited review: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *Journal of Animal Science* 87(10):3317-3334. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1779>
- Aschenbach, JR; Kristensen, NB; Donkin, SS; Hammon, HM; Penner, GB. 2010. Gluconeogenesis in dairy cows: The secret of making sweet milk from sour dough. *IUBMB Life* 62(12):869-877. DOI: <https://doi.org/10.1002/iub.400>
- Bauman, DE; Bruce Currie, W. 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis *Journal of Dairy Science*. 63(9):1514-1529. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)83111-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83111-0)
- Baumgard, LH; Collier, RJ; Bauman, DE. 2017. A 100-Year Review: Regulation of nutrient partitioning to support lactation. *Journal of Dairy Science* 100(12):10353-10366. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13242>
- Campos, R; Correa-Orozco, A; Zambrano-Burbano, GL; Ospina-Cordoba, A. 2018. Alteraciones bioquímicas y metabólicas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 9(2):1-16.
- Cant, JP; Trout, DR; Qiao, F; Purdie, NG. 2002. Milk synthetic response of the bovine mammary gland to an increase in the local concentration of arterial glucose. *Journal of Dairy Science* 85(3):494-503. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74100-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74100-3)
- Chung, YH; Martinez, CM; Brown, NE; Cassidy, TW; Varga, GA. 2009. Ruminal and blood responses to propylene glycol during frequent feeding. *Journal of Dairy Science* 92(9):4555-4564. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2131>
- Clapperton, JL; Czerkawski, JW. 1972. Metabolism of propane-1:2-diol infused into the rumen of sheep. *British Journal of Nutrition* 27(3):553-560. DOI: <https://doi.org/10.1079/bjn19720125>
- Dodds, PF; Guzman, MG; Chalberg, SC; Anderson, GJ; Kumar, S. 1981. Acetoacetyl-CoA reductase activity of lactating bovine mammary fatty acid synthase. *Journal of Biological Chemistry* 256(12):6282-6290. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(19\)69160-x](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(19)69160-x)
- Edmonson, AJ; Lean, IJ; Weaver, LD; Farver, T; Webster, G. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72:68-78. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79081-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0)
- Garverick, HA; Harris, MN; Vogel-Bluel, R; Sampson, JD; Bader, J; Lamberson, WR; Spain, JN; Lucy, MC; Youngquist, RS. 2013. Concentrations of nonesterified fatty acids and glucose in blood of periparturient dairy cows are indicative of pregnancy success at first insemination. *Journal of Dairy Science* 96(1):181-188. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5619>
- Gerloff, BJ. 2000. Dry cow management for the prevention of ketosis and fatty liver in dairy cows. *The Veterinary clinics of North America. Food Animal Practice* 16(2):283-292. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30106-7](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30106-7)
- Hammon, HM; Metges, CC; Schulz, A; Junghans, P; Steinhoff, J; Schneider, F; Pfuhl, R; Bruckmaier,

- RM; Weikard, R; Kühn, C. 2010. Differences in milk production, glucose metabolism, and carcass composition of 2 Charolais × Holstein F2 families derived from reciprocal paternal and maternal grandsire crosses. *Journal of Dairy Science* 93(7):3007-3018. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2931>
- Ingvarstsen, KL; Andersen, JB. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science* 83(7):1573-1597. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75029-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75029-6)
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2018. Información climatológica de la zona de Ciudad Quesada, Alajuela. IMN, San José, CRC. (s.p.).
- Klein, SL; Scheper, C; May, K; König, S. 2020. Genetic and nongenetic profiling of milk β -hydroxybutyrate and acetone and their associations with ketosis in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 103(11):10332-10346. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18339>
- Komatsu, T; Itoh, F; Kushibiki, S; Hodate, K. 2005. Changes in gene expression of glucose transporters in lactating and nonlactating cows. *Journal of Animal Science* 83(3):557-564. DOI: <https://doi.org/10.2527/2005.833557x>
- McArt, JAA; Nydam, DV; Oetzel, GR. 2012. Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 95(9):5056-5066. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5443>
- Molina-Coto, RE; Arroyo-Oquendo, C; Carballo-Guerrero, D; Elizondo-Salazar, JA. 2018. Respuesta a la suplementación con propilenglicol en vacas multiovuladas, para la producción de embriones. *Agronomía Mesoamericana* 29(3):519-533. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.30837>
- Moore, SM; DeVries, TJ. 2020. Effect of diet-induced negative energy balance on the feeding behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 103(8):7288-7301. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17705>
- Nielsen, NI; Ingvarstsen, KL. 2004. Propylene glycol for dairy cows: A review of the metabolism of propylene glycol and its effects on physiological parameters, feed intake, milk production and risk of ketosis. *Animal Feed Science and Technology* 115(3-4):191-213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.03.008>
- Patton, RS; Sorenson, CE; Hippen, AR. 2004. Effects of dietary glucogenic precursors and fat on feed intake and carbohydrate status of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87(7):2122-2129. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70031-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70031-4)
- Piantoni, P; Allen, MS. 2015. Evaluation of propylene glycol and glycerol infusions as treatments for ketosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98(8):5429-5439. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9476>
- SAS. 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide. Version 9.1 ed. SAS Institute Inc., Cary, NC (ed.). s.l., s.e., vol. 53.
- Weber, C; Schäff, CT; Kautzsch, U; Börner, S; Erdmann, S; Görs, S; Röntgen, M; Sauerwein, H; Bruckmaier, RM; Metges, CC; Kuhla, B; Hammon, HM. 2016. Insulin-dependent glucose metabolism in dairy cows with variable fat mobilization around calving. *Journal of Dairy Science* 99(8):6665-6679. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11022>
- Yasui, T; McArt, JAA; Ryan, CM; Gilbert, RO; Nydam, DV; Valdez, F; Griswold, KE; Overton, TR. 2014. Effects of chromium propionate supplementation during the periparturient period and early lactation on metabolism, performance, and cytological endometritis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 97(10):6400-6410. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7796>

Technical note

**FIRST RECORD OF *Aulacaspis tubercularis* (Hemiptera: Diaspididae)
IN COSTA RICA, A SCALE INSECT AFFECTING MANGO (*Mangifera indica*)
IN ALAJUELA URBAN ENVIRONMENTS**

Minor Solano-Gutiérrez^{1/*}, Paul Hanson-Snortum²

Palabras clave: especies invasoras; insectos escama; distribución; plagas.
Keywords: invasive species; armored scale insects; distribution; insect pest.

Recibido: 17/10/22

Aceptado: 28/02/23

ABSTRACT

Introduction. Mango (*Mangifera indica* L.) is widely cultivated around the world and in Costa Rica nearly 8200 hectares are dedicated to the production of this crop. More than 400 species of phytophagous insects and mites have been reported on mango worldwide. Among them are around 73 species of armored scale insects (Hemiptera: Diaspididae), of which *Aulacaspis tubercularis* Newstead is one of the most serious pests of mangos in many parts of the world. **Objective.** In the present work, we report for the first time the occurrence in Costa Rica of the white mango scale, *A. tubercularis*. **Materials and methods.** Mango tree samples were collected in San Rafael, a town located in the central canton of Alajuela province in the Greater

Metropolitan Area of Costa Rica. Insects found on leaves were examined under a stereomicroscope, counted and classified according to the condition of their wax covers, which provided evidence of activity by natural enemies. Slide mounts of adult females were prepared and examined under a light microscope. **Results.** The armored scale was identified as *A. tubercularis* and the frequency of occurrence on the mango trees sampled was 90%, where 12% of adult females showed evidence of predation and 2.5% showed evidence of parasitization. **Conclusion.** *A. tubercularis* was recorded for the first time in Costa Rica. Further investigations on the population dynamics and natural enemies are needed to provide useful information in order to implement adequate control strategies.

* Corresponding author. Email: minor.solanogutierrez@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica.
 0000-0002-5661-0890.

2 Universidad de Costa Rica, Escuela de Biología, Montes de Oca, San José, Costa Rica.

 0000-0002-7667-7718.

RESUMEN

Primer reporte de *Aulacaspis tubercularis* (Hemiptera: Diaspididae) en Costa Rica, un insecto que afecta al mango (*Mangifera indica*) en entornos urbanos de Alajuela. Introducción. El mango (*Mangifera indica* L.) se cultiva ampliamente alrededor del mundo. En Costa Rica se dedican cerca de 8200 hectáreas a la producción de mangos. Se han reportado más de 400 especies de insectos y ácaros fitófagos en el mango en todo el mundo. Entre ellos, alrededor de 73 especies de cochinillas acorazadas (Hemiptera: Diaspididae), de las cuales *Aulacaspis tubercularis* Newstead es una de las plagas más graves del mango en muchas partes del mundo. **Objetivo.** En el presente trabajo se reporta por primera vez la ocurrencia en Costa Rica de la escama blanca del mango *A. tubercularis*. **Materiales y métodos.** Las muestras de árboles de mango

se recolectaron en la localidad de San Rafael, ubicada en el cantón central de la provincia de Alajuela en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. Los insectos encontrados en las hojas se examinaron bajo un estereoscopio, se contaron y clasificaron de acuerdo con la condición de sus cubiertas, lo que brindó evidencia de actividad de cualquier enemigo natural. Se realizaron montajes en portaobjetos de algunas hembras adultas y se examinaron en un microscopio de luz. **Resultados.** La cochinilla armada se identificó como *A. tubercularis*, la frecuencia de ocurrencia fue de 90% en los árboles de mango muestreados, donde el 12% de las hembras adultas estaban depredadas y el 2,5% parasitadas. **Conclusión.** *A. tubercularis* se registró por primera vez en Costa Rica. Futuras investigaciones sobre la dinámica poblacional y sobre los enemigos naturales brindarán información útil para implementar estrategias de control adecuadas.

INTRODUCTION

Mango (*Mangifera indica* L.: Anacardiaceae) is widely cultivated in India and other tropical and subtropical countries in Southeast Asia and America (Lo Verde *et al.* 2020). In Costa Rica around 8200 hectares are dedicated to the production of this crop (Ureña-Bogantes *et al.* 2007). More than 400 species of phytophagous insects and mites have been reported on mango in different regions of the world, among them scale insects (Hemiptera: Coccomorpha) (Reddy *et al.* 2018). Scale insects are sap-sucking plant parasites that can be found almost anywhere that plants grow. Currently, there are at least 8194 described species, classified in 50 families (García Morales *et al.* 2016).

Armored scale insects (Hemiptera: Coccomorpha: Diaspididae) comprise the most diverse family of scale insects, with over 2600 species (García Morales *et al.* 2016, Normark *et al.* 2019). They have been identified as pests of

perennial plants worldwide and are among the world's most invasive species (Miller y Davidson 2005). Around 73 species of armored scale insects are associated with mango worldwide, and among them *Aulacaspis tubercularis* Newstead is one of the most serious pests of mangos in many parts of the world (García Morales *et al.* 2016). This species, known as the white mango scale, affects the commercial value of fruits and their export potential wherever it is present (Lo Verde *et al.* 2020, del Pino *et al.* 2020). In the present work, we report for the first time the occurrence of *A. tubercularis* in Costa Rica.

MATERIALS AND METHODS

Surveys were conducted in San Rafael, which is located in the central canton of Alajuela province in the Greater Metropolitan Area of Costa Rica (Figure 1). A total of eleven sites were sampled: the first, where *Aulacaspis tubercularis* was initially seen, was sampled in March

2020, and the remaining ten were sampled in September 2022. Infested leaves were collected, kept in the Entomology Laboratory of the Biology School at the University of Costa Rica and observed under a stereomicroscope

Olympus SZ61. Insects found on leaves were photographed and were put in ethanol (70%). Slide mounts of some adult females were prepared following the procedures described by Watson and Chandler (2000).

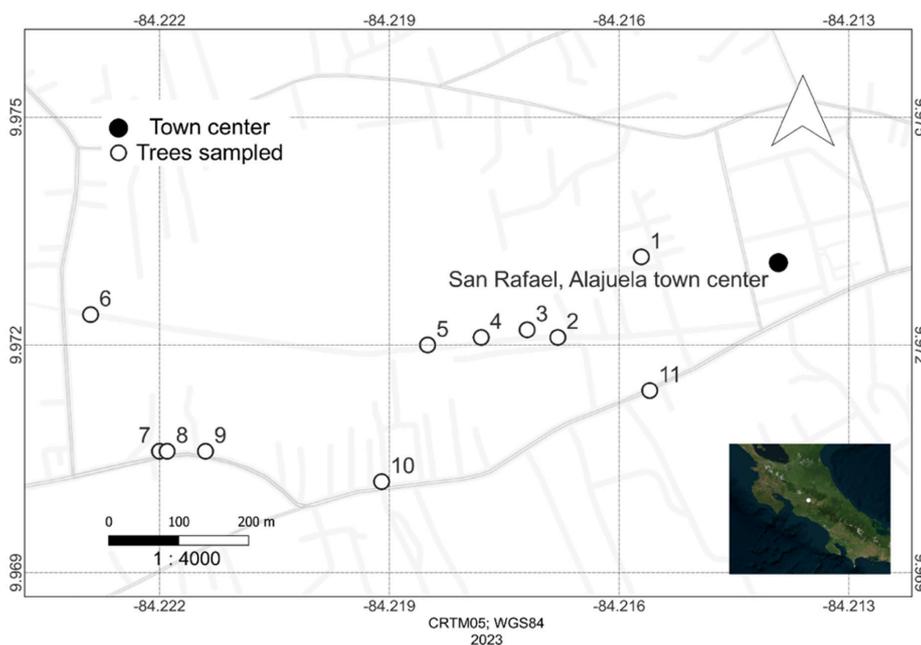


Figure 1. Location of the trees sampled in San Rafael town in the city of Alajuela, Costa Rica, 2022.

Slide mounted specimens were examined with transmitted light using a Swift SW350T Microscope (Swift Optical Instruments, Inc.). Specific identification was confirmed using the keys given in Watson (2002) and Wei *et al.* (2016). Specimens are deposited in the Zoology Museum of the University of Costa Rica. In order to estimate percent of parasitism and predation, adult females in the samples were examined under a stereomicroscope. In many cases the scale insects themselves were missing, but the condition of their wax covering provided evidence of activity by natural enemies. As described by Tooker and Hanks (2000), a circular

hole in the wax covering is evidence of successful emergence by a parasitoid wasp whereas a ragged hole is evidence of predation by an insect with chewing mouthparts. Adult females that had apparently been killed by fungi were excluded.

RESULTS AND DISCUSSION

The armored scale was identified as *Aulacaspis tubercularis* (Diaspididae) (Figures 2 and 3). As indicated by Watson (2002), in life the exposed body of a gravid adult female is 1.5-2.0 mm long and brownish colored (Figure 2a). The scale cover of the adult female is approximately

circular, white and/or transparent, with dark, oval exuviae (Figure 2b). *A. tubercularis* was found infesting fruits (Figure 2c), leaves (Figure 2d) and trunk; as has been reported previously

(Lo Verde *et al.* 2020, del Pino *et al.* 2022). Other Diaspididae identified on the sampled mango trees included *Pseudaonidia trilobitiformis* (Green) and *Ischnaspis longirostris* (Signoret).

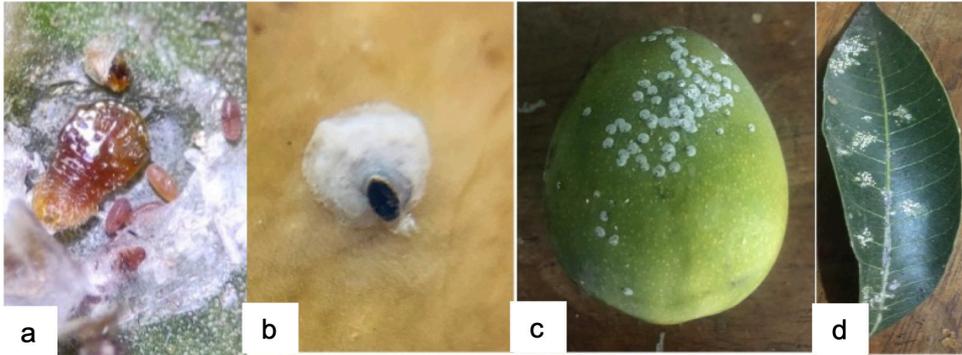


Figure 2. *Live Aulacaspis tubercularis* on mango: a. Adult female b. Female scale cover; c. Mango fruit infested with *A. tubercularis*; d. *A. tubercularis* on mango leaf. Alajuela, Costa Rica, 2020.

The slide-mounted adult female has a swollen, angular or quadrate prosoma, with the body widest at the prominent lateral tubercles, almost level with anterior spiracles (Figure 3a); the posterior spiracles are usually associated with spiracular pores; gland spines and macroducts are absent from the thorax and head. The pygidium

has median lobes linked by internal sclerotization (zygotic), without any setae or gland spines between their bases (Figure 3b); with a pair of elongate scleroses on the base of L1; only 1 dorsal macroduct present on abdominal segment VI (Figure 3c) (Watson 2002, Wei *et al.* 2016).

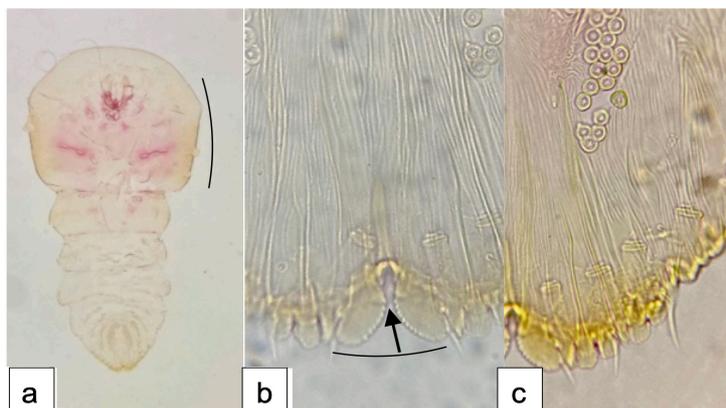


Figure 3. Slide-mounted adult female of *Aulacaspis tubercularis*: a. Whole body; b. Pygidium with arrow indicating zygotic median lobes without any setae or gland spines between their bases; c. Abdominal segments VI-VIII.

Aulacaspis tubercularis was found on 90% of the mango trees sampled. Examination of the scale covers for signs of mortality due to natural enemies showed that 12% of the adult females had evidence of predation and 2.5% had evidence of parasitization (Table 1). However,

these are undoubtedly subestimates of actual mortality since evidence of host feeding by adult parasitoids and predation by arthropods with piercing mouthparts is more difficult to detect (Abram *et al.* 2019).

Table 1. Percent frequency of *Aulacaspis tubercularis*, mean percentage of predation and parasitism on mango trees sampled in Alajuela, Costa Rica, 2022.

| | Mean | Standard Error (SE) |
|-----------------------------|-------|---------------------|
| Frequency of occurrence (%) | 90.00 | - |
| Predation (%) | 12.04 | 3.76 |
| Parasitism (%) | 2.50 | 2.50 |

CONCLUSION

The armored scale *Aulacaspis tubercularis* was recorded for the first time in Costa Rica, affecting 90% of the mango trees examined in an urban environment in the town of San Rafael in the city of Alajuela. This species has previously been recorded from 73 countries including the United States, Mexico, Colombia, Venezuela and several Caribbean countries (García Morales *et al.* 2016). The previous report from Central America is El Salvador, Honduras and Guatemala (Natural History Museum 2022, Azrag *et al.* 2022). *A. tubercularis* is associated with 37 genera of plants in 22 families, often becoming extremely numerous, and this species therefore has considerable quarantine importance (Watson 2002, García Morales *et al.* 2016). Further investigations on the population dynamics and natural enemies are needed to provide useful information in order to implement adequate control strategies.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank M.Sc. Grace Alpízar for teaching the first author how to properly mount scale insects on slides and for assistance in the identification of armored scale insects and Aylin Soto for helping with field work.

LITERATURE CITED

- Abram, PK; Brodeur, J; Urbaneja, A; Tena, A. 2019. Nonreproductive effects of insect parasitoids on their hosts. *Annual Review of Entomology* 64:259-276.
- Azrag, AG; Mohamed, SA; Ndlela, S; Ekesi, S. 2022. Predicting the habitat suitability of the invasive white mango scale, *Aulacaspis tubercularis*; Newstead, 1906 (Hemiptera: Diaspididae) using bioclimatic variables. *Pest Management Science* 78(10):4114-4126.
- del Pino, M; Bienvenido, C; Boyero, JR; Vela, JM. 2020. Biology, ecology and integrated pest management of the white mango scale, *Aulacaspis tubercularis* Newstead, a new pest in southern Spain-a review. *Crop protection* 133:105-160.
- García Morales, M; Denno, BD; Miller, DR; Miller, GL; Ben-Dov, Y; Hardy, NB. 2016. ScaleNet: a literature-based model of scale insect biology and systematics. Database (on line). Reviewed Mar. 20 2023. Available on <http://scalenet.info>
- Lo Verde, G; Cerasa, G; Altamore, B; Farina, V. 2020. First record of *Icerya seychellarum* and confirmed

- occurrence of *Aulacaspis tubercularis* (Hemiptera: Coccoomorpha) in Italy. *Phytoparasitica* 48(2):175-182.
- Miller, DR; Davidson, JA. 2005. Armored scale insect pests of trees and shrubs (Hemiptera: Diaspididae). Ithaca, New York, United States of America. Cornell University Press. 442 p.
- Natural History Museum. 2022. Natural History Museum (London) Collection Specimens. Occurrence dataset (on line). Reviewed Oct. 14 2022. Available on <https://www.gbif.org/occurrence/2556174892>
- Normark, BB; Okusu, A; Morse, GE; Peterson, DA; Itioka, T; Schneider, SA. 2019. Phylogeny and classification of armored scale insects (Hemiptera: Coccoomorpha: Diaspididae). *Zootaxa* 4616(1):1-98.
- Reddy, PVR; Gundappa, B; Chakravarthy, AK. 2018. Pests of mango. In Omkar (ed.). Pests and their management. Singapore, Springer. p. 415-440.
- Tooker, JF; Hanks, LM. 2000. Influence of plant community structure on natural enemies of pine needle scale (Homoptera: Diaspididae) in urban landscapes. *Environmental Entomology* 29(6):1305-1311.
- Ureña-Bogantes, AL; González-Rojas, JM; Meneses-Contreras, R; Alvarado-Barrantes, E. 2007. Agrocadena de Mango. Atenas, Alajuela, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 45 p.
- Watson, GW. 2002. Arthropods of economic importance - Diaspididae of the world. (on line). Reviewed Oct. 14 2022. Available on https://diaspididae.linnaeus.naturalis.nl/linnaeus_ng/app/views/introduction/topic.php?id=3377&epi=155
- Watson, GW; Chandler, LR. 2000. Identification of mealybugs important in the Caribbean Region. Rev. ed. Egham, United Kingdom. CABI Bioscience. 40 p.
- Wei, J; Jing, X; Zhang, H. 2016. A new species of *Aulacaspis* Cockerell, 1893 from China with a key to Chinese species (Hemiptera, Coccoidea, Diaspididae). *ZooKeys* 619:13-24.

NORMAS DE PUBLICACIÓN

La Revista Agronomía Costarricense es una publicación semestral editada y financiada por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, funciona con el respaldo de profesionales de la Universidad de Costa Rica, el Colegio de Ingenieros Agrónomos y el Ministerio de Agricultura y Ganadería que conforman su Consejo Editorial.

OBJETIVO DE LA REVISTA

El objetivo de la Revista Agronomía Costarricense desde su creación en 1977 ha sido publicar, visibilizar y facilitar el acceso de la investigación agropecuaria y forestal con temas de interés y actualidad científica del sector.

TIPO DE PUBLICACIÓN

- Trabajos originales e inéditos de investigación, que tengan mérito científico o técnico a juicio del Consejo Editorial.
- Artículos.
- Notas técnicas, que son avances o resultados paralelos de investigaciones en marcha.
- Análisis y comentarios sobre temas relevantes, solicitados a especialistas.
- Revisiones de literatura exhaustivas sobre un tema específico.
- Reseñas de libros.

NORMAS PARA PUBLICACIÓN

Los trabajos publicados en la Revista Agronomía Costarricense son el resultado de una selección rigurosa, por parte del Consejo Editorial en primera instancia y el arbitraje realizado por especialistas nacionales e internacionales, mediante el sistema de revisión por pares doble ciego.

Una vez que el Consejo Editorial evalúa previamente el mérito científico o técnico de los trabajos, son remitidos con el instrumento de evaluación, a especialistas nacionales e internacionales. El dictamen puede emitir los siguientes criterios:

- El documento se acepta sin reservas.
- Se acepta sólo si se incluyen las observaciones.
- No se acepta del todo para publicación.

En caso de que se presente controversia entre las evaluaciones realizadas para un mismo documento, se somete a otra revisión por parte de nuevas personas especialistas cuya valoración determine el resultado definitivo para publicar o no.

Si el documento es aceptado clasifica en una de las siguientes categorías:

- Artículo.
- Nota técnica.
- Otros: Análisis y comentario, revisión de literatura, reseñas de libros.

La persona editora en conjunto con quienes conforman el Consejo Editorial de la Revista Agronomía Costarricense, determinan si se acepta o rechaza la documentación presentada para posible publicación.

Los trabajos pueden ser escritos en español o inglés. Deben ajustarse a las normas de redacción establecidas para la estructura del manuscrito. Es recomendable que los manuscritos en inglés sean revisados y corregidos previamente por una persona especialista del tema cuya lengua materna sea el inglés. (El aporte del material recibido no será devuelto a las personas autoras).

- Los trabajos de investigación no deben ser mayores de 20 páginas y las notas técnicas no deben exceder las 6 páginas.
- La Revista Agronomía Costarricense no cobra por recibir manuscritos o por publicar investigaciones.
- El trabajo debe estar escrito en una versión actualizada de Word para Windows, a doble espacio y con tipo de letra arial 12.
- Las personas autoras deben seguir las normas del Sistema Internacional de Unidades tanto en el texto como en las tablas que suministren.
- El manuscrito debe ser enviado al correo electrónico de la Revista Agronomía Costarricense.
- Las tablas deben ser presentadas en Word y en Excel las figuras y gráficos en orden ascendente por números y letras según corresponda. Tanto las tablas como las figuras se deben presentar en páginas independientes impresas en buena calidad. Otras figuras y fotografías se deben presentar en formato eps, jpg o tiff con un mínimo de 240-300 dpi.

Los trabajos deben ser enviados o entregados por el autor o la autora principal a nuestra dirección electrónica:

rac.cia@ucr.ac.cr
Teléfono 2511 2080

ESTRUCTURA DEL MANUSCRITO

Título. Debe ser lo suficientemente claro de forma tal que oriente al lector sobre el contenido de la investigación y que no exceda de 15 palabras.

Autor (a). Escribir el nombre completo, con ambos apellidos separados por un guión como se muestra a continuación: Serrano-Velázquez. La instrucción aplica también para las personas coautoras. Deberán agregar al pie de página la afiliación institucional indicada con un número para cada una de las personas participantes en la investigación y sólo el correo electrónico institucional de la persona que el equipo investigador seleccione para correspondencia.

El documento presentado será evaluado dentro de la modalidad de artículo de investigación, nota técnica, revisiones de literatura sobre un tema específico, reseñas de libros y actualizaciones o análisis y comentarios sobre actividades agropecuarias específicas. La decisión final sobre la modalidad para publicación del manuscrito será con base en el criterio de las personas revisoras y recomendaciones de quienes integran el Consejo Editorial y Consejo Editorial Asesor Internacional.

Código ORCID. Sirve para identificar a la persona autora con un código único que le diferenciará de cualquier otra persona que publique. Dicho código es requerido para afiliar tanto a la persona que investiga como a las publicaciones que realice. Deberá registrar nombre completo, correo electrónico y una contraseña en el siguiente enlace: <http://orcid.org/>

El enlace señalado anteriormente generará automáticamente el código ORCID de la persona que publica. En el caso de que en una publicación participen varios (as) autores (as) deberá aparecer el

ORCID de cada una de las personas participantes en la publicación y no sólo la de la persona señalada como contacto para correspondencia. Ese código aparecerá al pie de la página para cada una de las personas participantes en la publicación.

Resumen estructurado. Este es un párrafo donde se debe señalar, en un máximo de 300 palabras, la introducción, el objetivo del trabajo, los materiales y métodos, los principales resultados y las conclusiones. Tratar de incluir cifras. Los términos “Introducción, Objetivo, Materiales y métodos, Resultados y Conclusión” deben ser destacados en negrita para diferenciar esos contenidos dentro del resumen.

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

Palabras clave. Incluir hasta 5 palabras clave que le permitan a un usuario localizar en una plataforma digital la publicación.

Introducción. Debe incluir la justificación del trabajo, los antecedentes más relevantes sobre el tema y el objetivo concreto del trabajo.

Materiales y métodos. Se refiere a todos los materiales y métodos requeridos para el desarrollo de la investigación, con una detallada descripción de los mismos que le permitiera alcanzar resultados específicos del tema tratado. Si la persona autora requiere algún programa especializado debe presentar una descripción y conveniencia de su utilización para alcanzar los resultados.

Resultados y discusión (pueden venir juntos o separados). Su contenido se fundamenta en los resultados obtenidos a partir del objetivo planteado en la investigación. Independientemente de su complejidad, requieren ser expuestos de forma clara y sencilla. Los resultados pueden ser números, categorías o agrupaciones de los objetos o sujetos de estudio. La exposición de los resultados debe caracterizarse por la precisión y legitimidad de los hechos y cifras registradas, por lo que no se admiten resultados que se apoyen únicamente en calificativos como por ejemplo: mucho, poco, más, menos, bastante, pues podría conducir a una interpretación inexacta que debilita la investigación.

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

Literatura citada. Debe redactar las referencias de acuerdo con el Manual “Redacción de referencias bibliográficas: normas técnicas para ciencias agroalimentarias del IICA-CATIE”. Disponible en <http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2016/b4013e.pdf>

Ejemplos:

Revista

Saborío, A; Sánchez, J. 2014. Evaluación de la condición corporal en un hato de vacas Jersey en pastoreo en la zona alta de Cartago. Variaciones durante el ciclo productivo. *Agronomía Costarricense* 38(1):55-65.

Libro

Garita, RA. 2014. La piña. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 568 p.

Capítulo de un libro

Molina, E; Alvarado, A. 2012. Manejo de la acidez y encalado de suelo. *In* Alvarado, A; Raigosa, J (eds.). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. San José, Costa Rica, ACCS. p. 159-177.

Tesis

Reyes, D. 2012. Compuestos GRAS para el control de patógenos poscosecha in vitro en mango (*Mangifera indica* L.), piña (*Ananas comosus* L.) y papaya (*Carica papaya* L.), y pruebas de eficacia in vivo en piña. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 92 p.

Referencias en Internet

Autor, año. Título del trabajo (en línea). Ciudad, país. Fecha de consulta y vínculo. Se debe verificar el tipo de publicación según corresponda libro, revista, etc., para redactar la cita.

DERECHOS DE AUTOR

El autor, la autora o los autores deben autorizar por escrito a la Revista Agronomía Costarricense el derecho de su primera publicación y mención que quedará registrada con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica y conserva todos sus derechos y además, podrán incluir su publicación en un repositorio institucional que especifique su publicación en primera instancia, en la Revista Agronomía Costarricense.

Una vez publicado el volumen del periodo respectivo, se puede acceder a la versión digital, lo que permite gestionar un autoarchivo del documento o documentos de interés, en el sitio seleccionado por la persona autora.

El autor o la autora principal, debe dar fe por escrito, que la información presentada es original y no ha sido publicada en ningún otro medio. Además, desde el momento que entrega la documentación, debe contar con la autorización escrita de la institución donde se realizó la investigación.

POLÍTICA DE DETECCIÓN DE PLAGIO

Mediante herramientas de Google y DupliChecker, la Revista Agronomía Costarricense es vigilante de las fuentes que se utilizan en la dinámica de investigación para determinar el uso de ideas originales sin la citación de la fuente o bien por la utilización de palabras de otros sin citarlos en el documento y en la lista de referencias bibliográficas.

De igual manera se incurre en plagio cuando se falsifican las palabras de otros para asumirlas como propias o bien cuando indica ser el autor o autora de una investigación cuando su propietario es otra persona. De ser detectado un plagio, se indicará por escrito al autor principal como se procederá.

POLÍTICA DE ACCESO ABIERTO

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente la investigación al público, con el propósito de fomentar un mayor intercambio de conocimiento global.

ARCHIVO

La revista cuenta con la preservación de sus archivos digitales, primeramente, los archivos se encuentran integrados en la base de datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, la cual cuenta con un sistemas de respaldo, cuyas Políticas y Normas se pueden encontrar en el enlace: <http://www.mag.go.cr/sg%20mag/Nomas%20y%20Politicasy%20Generales%20de%20TI-2016.pdf>

Asimismo, se cuenta con el respaldo digital del repositorio Kérwá de la Universidad de Costa Rica, y el sistema de administración y publicación de revistas OJS. Además, semestralmente la revista envía un CD, con el volumen respectivo, al Sistema Nacional de Bibliotecas (SINABI); por lo que ahí se encuentra un respaldo de los manuscritos.

La revista también utiliza el sistema CLOCKSS para crear un archivo distribuido entre las bibliotecas participantes, lo que permite a dichas bibliotecas, crear archivos permanentes de la revista con fines de preservación y restauración. Se puede encontrar más información en el siguiente enlace: <http://thekeepers.org/>

CÓDIGO DE ÉTICA

DEBERES DEL O LA EDITORA

El o la editora, debe vigilar por publicaciones originales con mérito científico o técnico, con apoyo del Consejo Editorial. De esta manera, puede aceptar o rechazar un trabajo bajo los criterios expuestos en las normas de publicación de la revista y su contenido intelectual sin distinción de género, orientación sexual, ideología política o religiosa, nacionalidad u origen étnico de las personas. Los textos recibidos serán remitidos a especialistas nacionales e internacionales para su revisión por pares doble ciego. En todo el proceso, el editor o editora debe garantizar la confidencialidad a las partes, así que no puede revelar información acerca del contenido del manuscrito, tampoco los nombres de las personas que solicitan publicar o los nombres de quienes realizan la revisión y evaluación del documento.

DEBERES DE LAS PERSONAS QUE CONFORMAN EL CONSEJO EDITORIAL

Quienes conforman el Consejo Editorial, les corresponde contribuir con la asignación de personas revisoras nacionales e internacionales según la temática del documento recibido; también deben auxiliar en la revisión preliminar de manuscritos sobre materias afines a su profesión y apoyar con la actualización, mejora y evaluación periódica de la revista.

DEBERES DE LAS PERSONAS AUTORAS

Deben seguir los criterios expuestos en las normas de publicación de la Revista Agronomía Costarricense. Asimismo, deben documentar por escrito, que la información presentada es original,

que no ha sido publicada o considerada para su publicación en otro medio; además, debe incluir dentro de la documentación que presente, la autorización escrita de la institución donde se generó el documento. Quienes publiquen deben saber que la utilización de datos, información de otras personas autoras sin citarlas en el documento y en la lista de referencias bibliográficas, así como la adopción de ideas para asumirlas como propias, se podría presumir como plagio y de comprobarse, su texto no se tomaría en cuenta para la publicación. De esta forma deben citar completa y adecuadamente las fuentes bibliográficas de los textos que aportan en el trabajo presentado. Para la autoría, es preciso que se nombren como personas co-autoras, quienes contribuyan significativamente en el desarrollo del estudio. Deben citar en el texto todas las fuentes financieras en las que se apoyaron, al igual que cualquier conflicto económico o de intereses que podría influenciar en los resultados finales del manuscrito.

En los documentos presentados no deben aparecer los nombres de productos o casas comerciales (®), pues compromete su publicación. Por último, si quien publica identificara algún error en su artículo, deberá informarlo 15 días posteriores a la entrega del último documento que presentó para su publicación al correo rac.cia@ucr.ac.cr

DEBERES DE LAS PERSONAS REVISORAS

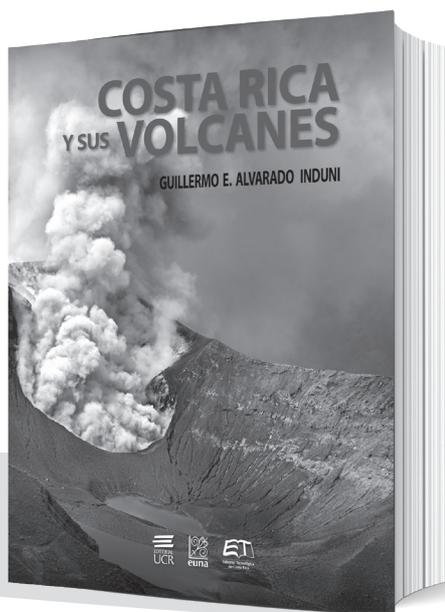
A toda persona especialista le compete notificar al editor o editora, cuando se le consulte, si le es posible revisar el documento que se le solicita evaluar. De aceptar deberá realizar su trabajo de manera objetiva, sus críticas han de tener argumentos sustentados en la ciencia y no ha de tener ningún conflicto de intereses con la información presentada o la autoría, aspectos que deberá indicar antes de aceptar y llevar a cabo la evaluación del documento.

Quienes contribuyen en la revisión de los documentos presentados para posible publicación han de comunicar al editor o editora, acerca de cualquier comportamiento no ético identificado en el manuscrito revisado, además de los aportes de información crítica y constructiva para el mejoramiento del texto, o bien, para el rechazo del mismo. De igual forma, conocen que el material que se les entrega para su evaluación debe ser tratado con absoluta confidencialidad, por lo cual no podrán revelar a terceras personas ningún dato o utilizar la información del documento para proyectos personales.

EDITORIAL UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Costa Rica y sus volcanes

Guillermo Alvarado Induni



1.a ed. 2021
21,83 cm x 28,42 cm
976 pp.
ISBN 978-9968-46-776-6

Se presenta un cuadro sinóptico y actualizado sobre los volcanes de Costa Rica, su formación y actividad eruptiva, historia, influencia socioeconómica y cultural, hasta llegar a un grado de conocimiento y desarrollo vulcanológico, que posiciona a Costa Rica a nivel internacional.


EDITORIAL
UCR

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



Esta revista se terminó de imprimir en la
Sección de Impresión del SIEDIN, en xxxx 2023.

Universidad de Costa Rica
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA EN LÍNEA

Si desea visitar la Revista Agronomía Costarricense puede hacerlo a través de:

Ministerio de Agricultura y Ganadería http://www.mag.go.cr/rev_agr/index.html

Portal de Revistas Académicas de la Universidad de Costa Rica <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost>

Centro de Investigaciones Agronómicas www.cia.ucr.ac.cr

CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial Universidad de Costa Rica
administracion.siedin@ucr.ac.cr
www.editorial.ucr.ac.cr
Apartado Postal 11501
2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Costa Rica

Número suelto:

Costa Rica

₡ 3060.00 incluye el 2% de IVA

Suscripción anual:

Costa Rica

₡ 8160.00

América Latina,

US\$ 20.40

Asia y África

US\$ 71.40

Resto del mundo

CANJES

Universidad de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información
Unidad de Selección y Adquisiciones
-CANJE
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Costa Rica

DIRECCIÓN

REVISTA AGRONOMÍA COSTARRICENSE

Centro de Investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
Teléfono 2511-2080
Fax 2234-1627
Correo electrónico: rac.cia@ucr.ac.cr

Contents

Scientific papers

- 1- Characterization of yeasts associated with postharvest pineapple peduncle mold.
Patricia Oreamuno-Fonseca and Gerardina Umaña-Rojas 9-21
- 2- Addition of microbial inoculum and optimized processing conditions in a commercial compost.
Fernando Castro-Hernández, Juan Ramón Navarro-Flores and Leida Castro-Barquero 23-46
- 3- Foliar nutritional effect of silicon for banana (*Musa* spp.) Crop in Ecuador.
Jean Sanmartín-Galván, Andrea Cuenca-Moreno, Ángel Luna-Romero, Edison Jaramillo-Aguilar and Diego Villaseñor-Ortiz 47-56
- 4- In vitro survival of nodal segments of *Cordia trichotoma*.
Maura Isabel Díaz-Lezcano, Angel Manuel Duarte-Asilvera, Luis Gonzalez-Segnana and Mirtha Lucía Vera de Ortiz 57-66
- 5- Costs of growing timber trees in agroforestry systems with coffee in Costa Rica.
Olman Murillo-Gamboa and Yorlery Badilla-Valverde 67-77
- 6- Descriptors validation for the morphological characterization of five cas accesions [*Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Niedenzu] in Costa Rica.
Jonathan Monge-Solis and Fabián Echeverría-Beirute 79-00

Technical notes

- 7- Effect of three tillage implements on physical properties of an Andisol soil in Tierra Blanca, Cartago.
Silvia Marín-Araya and Mario Villatoro-Sánchez 95-109
- 8- Effect of the use of a mixture of gluconeogenic compounds in dairy cows in transition.
Carlos Rafael Arita-Portillo and Jorge Alberto Elizondo-Salazar 111-120
- 9- First record of *Aulacaspis tubercularis* (Hemiptera: Diaspididae) in Costa Rica, a scale insect affecting mango (*Mangifera indica*) in Alajuela urban environments.
Minor Solano-Gutiérrez and Paul Hanson-Snortum 121-126