

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](http://www.cia.ucr.ac.cr)  
[www.mag.go.cr/rev\\_agr/index.html](http://www.mag.go.cr/rev_agr/index.html)



Julio - Diciembre 2021

Volumen 45

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 “Evaluación in vitro del extracto etanólico de hojas de borraja (*Borago officinalis*) contra la actividad fungistática de Villota-Burbano y Vazquez-Ochoa.



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

Carlos Henríquez Henríquez  
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.  
Primo Luis Chavarría  
Colegio de Ingenieros Agrónomos. Costa Rica.  
Floria Bertsch Hernández  
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.  
Elizabeth Arnáez Serrano  
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.  
Fernando Mojica Betancur  
Colegio de Ingenieros Agrónomos. Costa Rica.  
Daniel Zúñiga van der Laet  
Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica.  
Jorge Alberto Elizondo Salazar  
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.  
Mario Villatoro Sánchez  
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

## CONSEJO EDITORIAL ASESOR INTERNACIONAL

Aixa Ofelia Rivero Guerra  
European Centre for Applied Statistics S. L., Spain  
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 Agronómico 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 Tobias Vásquez  
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala  
Jorge Etchevers Barra  
Colegio de Posgraduados, México  
Jorge Hernán Chiriboga Pareja  
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Brasil  
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  
Agocampus Ouest, Francia  
Renato de Mello Prado  
Universidade Estadual Paulista–UNESP, Brasil  
Rogelio Nogales Vargas-Machuca  
Estación Experimental del Zaidín, España  
Raúl E. Jaramillo Velastegui  
International Plant Nutrition Institute, Ecuador

ISSN 0377-9424

# AGRONOMÍA COSTARRICENSE

---

**REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

COLEGIO DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

Volumen 45

2021

Número 2

  
EDITORIAL  
UCR

## REVISORES ESPECIALIZADOS

### Revisores Nacionales

Adrián Pinto  
Adriana Murillo  
Albán Rosales  
Alexandra Urbina  
Alfredo Alvarado H.  
Alfredo Bolaños  
Alfredo Durán  
Allan González  
Alonso Acuña  
Álvaro Castro  
Álvaro Jiménez C.  
Álvaro Ramírez  
Amelia Paniagua  
Ana Abdelnour  
Ana Cecilia Segreda  
Andrés Hernández P.  
Anthony Valverde  
Antonio Bogantes  
Argerie Cruz  
Arturo Brenes A.  
Bernal Azofeifa  
Bernal Herrera  
Bernal Rodríguez  
Bernal Valverde  
Bernardo Vargas  
BK Singh  
Bryan Alemán  
Carlos Alfaro  
Carlos Alpizar  
Carlos Araya  
Carlos Henríquez  
Carlos Luis Loria  
Carlos Luna T.  
Carlos Mario Rodríguez  
Carlos Méndez  
Carlos Pomareda  
Carlos Ramírez M.  
Carlos Rodríguez V.  
Carmela Velásquez  
Carmen González  
César Rodríguez  
Claudia Charpentier  
Claudia Fernández  
Claudia Martínez  
Cristina Chinchilla  
Cristina Vargas  
Cristóbal Villanueva  
Dagoberto Arias  
Daniel Saborio  
David Mora  
Denis Hine  
Dennis León  
Diego Berrocal  
Diógenes Cubero  
Dora Flores  
Douglas Marín  
Edgar Aguilar  
Edgar Alvarado  
Edgar Gutiérrez  
Edgar Rojas  
Edgar Vidal  
Edgardo Alpizar  
Eduardo Barrantes  
Eduardo Salas  
Edwin Esquivel  
Edwin Orozco  
Elizabeth Arnáez  
Eloy Molina  
Emerson Herrera  
Enrique Ulloa  
Eric Guevara  
Eric Mora N.  
Eugenio Corea  
Eugenio González  
Fabio Blanco

Federico Albertazzi  
Felipe Arauz C.  
Felipe Arguedas  
Fermín Subirós R.  
Fernando Araya  
Florencia Antillón  
Francisco Marín  
Francisco Mesén  
Francisco Romero  
Francisco Saborio  
Franklin Herrera  
Freddy Soto  
Geiner Matamoros  
Geovanny Garro  
Gerardina Umaña  
Gerardo Avalos  
Gilbert Barrantes  
Gilberto Cabalceta  
Gloria Meléndez  
Guillermo Araya  
Gustavo Fallas  
Gustavo Quesada  
Héctor Medrano  
Helga Blanco M.  
Hernán Castro E.  
Hugo Aguilar  
Ileana Moreira  
Isabel Carpio M.  
Ismael Hernández  
Javier Obando  
Jenny Reynolds  
Jimmy Gamboa  
Johan Lotz A.  
Jorge Camacho  
Jorge C. Rodríguez  
Jorge Elizondo  
Jorge Leiva  
Jorge Mora B.  
Jorge Sandoval  
Jorge Segura  
José Bejarano  
José 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 Mata  
Julio Rodríguez  
Karolina Villagra  
Kenneth Largaespada  
Kenneth Madriz  
Laura Segura  
Laura Solís  
Lea Wexler  
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 Camacho  
Marco Adamson  
Marco Lobo  
Marco V. Sáenz  
Marcos Chaves  
María Fernanda Reyes  
María Isabel González  
Maricruz Ramírez  
Mario Araya  
Mario Arias  
Mario Morales  
Mario Piedra  
Mario Saborio  
Mario Villatoro  
Marta Montero  
Marta Valdéz M.  
Marvin Araya  
Marvin Vargas  
Marvin Villalobos  
Miguel Barquero  
Miguel González A.  
Miguel Obregón  
Miguel Quesada  
Milagro Granados  
Milton Villarreal  
Mónica Blanco  
Natalia Barboza  
Natalia Soto  
Néstor Chaves  
Olman Murillo  
Orlando Carrillo  
Orlando Chinchilla  
Oscar Acuña  
Oscar Castro  
Oscar Obando  
Oscar Quesada  
Patricia Quesada  
Patricia Ramírez  
Paul Esker  
Rafael Arguello  
Rafael Mata  
Rafael Salas C.  
Rafael Segura  
Ramiro Alizaga  
Ramón Mexzón  
Randy Chinchilla  
Raúl Botero  
Rebeca Zamora  
Renato Jiménez  
Ricardo Piedra  
Roberto Azofeifa  
Roberto Camacho  
Roberto Ramírez  
Roberto Villalobos  
Roddy Ortega  
Rodolfo Araya  
Rodrigo Jiménez  
Rodrigo Rosales  
Roger Fallas  
Roger Molina Coto  
Roger Muñoz  
Ronald Chaves  
Ronald Vargas  
Roy Artavia  
Rubén Calderón  
Rubén Ortiz  
Ruth de la Asunción  
Ruth León G.  
Sergio Abarca  
Susana Cascante  
Sisgo Acuña  
Victor Hugo Porras  
Victoria Aronnis  
Victoria García  
Vidal Vega

Viviana Madrigal  
Walter Marín M.  
Walter Peraza  
Walter Quirós  
Warren Forsythe  
Werner Rodríguez  
Wilbert Phillips  
William Hernández  
William Meléndez  
William Rivera  
William Sánchez  
Wilson Beita  
Yannery Gómez

### Revisores Internacionales

Abellino Pitty (Honduras)  
Adriana Escudero (España)  
Ana Scopel (Argentina)  
André Finkler (Brasil)  
Beatriz Eibl (Argentina)  
Bernardo Villegas (Colombia)  
Carolina Zamorano (Colombia)  
Cesáreo Rodríguez H. (México)  
Corina Bernigaud (Uruguay)  
Consuelo Estevez (Puerto Rico)  
Daniel Carreira (Argentina)  
Edgar Amezcua (Colombia)  
Emilio Olivares Sáenz (México)  
Enrique Comat (Colombia)  
Florencia Montagnini (EE.UU.)  
Francisco Coll (Cuba)  
Francisco Ibarra (México)  
Francisco P. Chaimsohn (Brasil)  
Guadalupe Valdovinos (Puerto Rico)  
Guillermo Reyes (Nicaragua)  
Héctor Mario Andrade (México)  
Hernán Chiriboga (Ecuador)  
Hugo del Cid H. (Guatemala)  
Ildefonso Pla Sentis (España)  
Jack Ewell (EE.UU.)  
Jorge Etchevers (México)  
José L. Barrera Violet (Colombia)  
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)  
Lérida Almaguel (Cuba)  
Luis Castresana (España)  
Manuel Reigosa (España)  
Manuel Sandoval (México)  
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)  
Ramiro Ramírez P. (Colombia)  
Raúl Zapata (Colombia)  
Roberto Fernández (Argentina)  
Roberto Ferreira (Brasil)  
Rolando Cifuentes (Guatemala)  
Ronald Ochoa (EE.UU.)  
Rubén Cabanillas Cruz (México)  
Santiago M. Sáenz (Colombia)  
Sergio Hernández (México)  
Thomas J. Smyth (EE.UU.)  
Víctor Ordaz Chaparro (México)  
Yisa María Ochoa (México)  
Yolanda Moguel (México)

# 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](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](http://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                   ¢ 3000.00

#### Suscripción anual:

Costa Rica                   ¢ 8000.00

América Latina,

Asia y África               US\$ 20.00

Resto del mundo           US\$ 70.00

## 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 45**

**2021**

**NÚMERO 2**

### Artículos científicos

Evaluación in vitro del extracto etanólico de hojas de borraja (*Borago officinalis*) contra la actividad fungistática ..... 9-27  
*Juan Esteban Villota-Burbano y Olga Yaneth Vazquez-Ochoa*

Evaluación de tamaño de cladodios y bio-estimulantes de enraizamiento para la propagación de pitahaya ..... 29-40  
*Gabriel Garbanzo-León, Edgar V. Vega-Villalobos, Jocelyn Rodríguez-Cisneros, Cesar Urbina-Briceño, Wendy Lázaro-Rojas, Karla Alvarado-Jara, Ronald Barrientos-Bolaños, Krissia Duarte-Ortiz, Jairo Mora-Prendas, Victor Trujillo-Olivas y Joselyn Rojas-Varela*

Identificación morfológica y molecular de *Meloidogyne javanica* en una plantación de papaya (*Carica papaya* L.) en Pococí, Limón, Costa Rica ..... 41-55  
*Walter Peraza-Padilla*

Identificación de *Fusarium* en granos de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en Costa Rica ... 57-69  
*Ana Zulay Guido-Mora, Mónica Blanco-Meneses, María del Milagro Granados-Montero y María Viñas-Meneses*

Caracterización de sistemas ganaderos del caribe seco para cuantificación de índices de calidad de suelo ..... 71-87  
*José Luis Contreras-Santos, Judith Martínez-Atencia, Cindy Katherine Falla-Guzmán, Jeyson Fernando Garrido-Pineda y José Luis Rodríguez-Vitola*

### Notas técnicas

“Tayní”: variedad de frijol común Mesoamericano de grano rojo brillante ..... 89-101  
*Néstor Felipe Chaves-Barrantes, Juan Carlos Hernández-Fonseca, Rodolfo Araya-Villalobos y Juan Carlos Rosas-Sotomayor*

Influencia de la densidad de siembra sobre producción y desarrollo de mucuna (*Mucuna puriens* L. DC) ..... 103-113  
*Estefanny García-Abarca y Rubén Calderón-Cerdas*

Vigor en plantas de plátano ( <i>Musa</i> AAB cv. Hartón) y su relación con características físicas, químicas y biológicas del suelo . . . . .	115-134
<i>Hebandreyna González-García, Ana F. González-Pedraza, Gustavo Rodríguez-Yzquierdo, Rommel León-Pacheco y Mónica Betancourt-Vásquez</i>	
Calidad nutricional y consumo por cabras de forraje de botón de oro ( <i>Tithonia diversifolia</i> ) . . . . .	135-142
<i>Jorge Alberto Elizondo-Salazar</i>	
Manejo del minador de la hoja ( <i>Leucoptera coffeella</i> ) en el cultivo de café en Costa Rica . . . . .	143-153
<i>Daniel Ramírez-Valerio y Fiorella García-Jiménez</i>	

## EVALUACIÓN IN VITRO DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE HOJAS DE BORRAJA (*Borago officinalis*) CONTRA LA ACTIVIDAD FUNGISTÁTICA

Juan Esteban Villota-Burbano<sup>1/\*</sup>, Olga Yaneth Vazquez-Ochoa<sup>2</sup>

**Palabras clave:** *Fusarium* sp; *Alternaria* sp; ITS; metabolitos secundarios; maleza.

**Keywords:** *Fusarium* sp; *Alternaria* sp; ITS; secondary metabolites; weed.

**Recibido:** 15/05/2020

**Aceptado:** 21/09/2020

### RESUMEN

**Introducción.** *Fusarium* sp y *Alternaria* sp son hongos fitopatógenos que causan serios problemas en cultivos y en el sector agrícola, situación que genera pérdidas económicas importantes. Además, debido a la producción de micotoxinas representan una amenaza para la salud de los consumidores y para las plantas. **Objetivo.** Evaluar la actividad antifúngica del extracto etanólico de hojas de borraja (*Borago officinalis*) sobre *Fusarium* sp y *Alternaria* sp. **Materiales y métodos.** Se realizó la identificación cualitativa y cuantitativa de los metabolitos secundarios presentes en el extracto etanólico de *B. officinalis*, posteriormente, *Fusarium* sp y *Alternaria* sp. fueron secuenciadas por estudios moleculares mediante la amplificación de la región ITS (espaciador transcribible interno) del ADN ribosomal y finalmente, se evaluó la actividad antifúngica del extracto sobre las cepas previamente reconocidas mediante la prueba de crecimiento radial por técnica de difusión en agar. **Resultados.** El extracto etanólico de las hojas de *B. officinalis* contiene alcaloides,

### ABSTRACT

**In vitro evaluation of ethanol extract from borraja leaves (*Borago officinalis*) against fungistatic activity. Introduction.** *Fusarium* sp and *Alternaria* sp are phytopathogenic fungi that cause serious problems in crops and in the agricultural sector, situation that generates significant economic losses. In addition, due to the production of mycotoxins, they pose a threat to the health of consumers and plants. **Objective.** To evaluate the antifungal activity of the ethanolic extract of borraja leaves (*Borago officinalis*) on *Fusarium* sp and *Alternaria* sp. **Materials and methods.** Qualitative and quantitative identification of the secondary metabolites present in the ethanolic extract of *B. officinalis* was carried out, later, *Fusarium* sp and *Alternaria* sp were sequenced by molecular studies by amplifying the ITS (internal transcribable spacer) region of ribosomal DNA and finally, antifungal activity of the extract on previously recognized strains was evaluated by means of radial growth test using agar diffusion technique. **Results.** Ethanolic extract of *B. officinalis* leaves contains

\* Autor para correspondencia. Correo electrónico: Jvillotab@ucentral.edu.co

1 Universidad Central, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Semillero de Biotecnología ambiental, Bogotá, Colombia.

 0000-0002-1554-3628.

2 Universidad Central, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Semillero de Biotecnología ambiental, Bogotá, Colombia.

 0000-0002-3595-8177.

flavonoides, fenoles, polifenoles y saponinas, de los cuales los polifenoles y los flavonoides presentan una concentración de  $19,08 \pm 0,01$  miligramos equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de extracto y  $28,12 \pm 0,06$  miligramos equivalentes de catequina (Qe) por gramo de extracto, respectivamente. La secuenciación de los aislamientos evaluados mostró una alta similitud ( $>98\%$ ) con varias especies de *Fusarium* sp y *Alternaria* sp, mientras que los ensayos de actividad antifúngica del extracto mostraron actividad fungistática por parte de *B. officinalis* al ser  $16 \text{ mg.l}^{-1}$  el tratamiento más efectivo para ambos aislamientos evaluados con un porcentaje de inhibición de  $90,3 \pm 0,9\%$  para *Alternaria* sp y  $86,6 \pm 2,2\%$  para *Fusarium* sp, donde *Alternaria* sp presentó mayor susceptibilidad frente al extracto de las hojas de *B. officinalis*. **Conclusión.** Los resultados de esta investigación proporcionan uno de los primeros reportes de la actividad antifúngica de *Borago officinalis* sobre *Fusarium* sp y *Alternaria* sp.

## INTRODUCCIÓN

Hongos fitopatógenos como *Fusarium* sp y *Alternaria* sp producen micotoxinas las cuales provocan daños graves a frutas y vegetales durante los procesos de recolección, transporte y almacenamiento, aspecto que afecta su vida útil, además de hacerlos no aptos para el consumo humano (Galvano *et al.* 2001, Pavón-Moreno *et al.* 2012, Tirumale y Wani 2018). Estos hongos son responsables del marchitamiento vascular, decadencia radicular, putrefacción, lesiones necróticas, manchas en hojas y tallos. Asimismo, su presencia también representa una amenaza para la salud de personas consumidoras debido a la producción de micotoxinas (Agrios 2005, Pal y Gardener 2006, Pavón-Moreno *et al.* 2012).

Colombia representa regiones susceptibles al ataque de organismos fitopatógenos capaces

alkaloids, flavonoids, phenols, polyphenols and saponins, of which polyphenols and flavonoids have a concentration of  $19.08 \pm 0.01$  milligrams equivalent of gallic acid (EAG) per gram of extract and  $28.12 \pm 0.06$  milligrams equivalent of catechin (Qe) per gram of extract, respectively. Molecular sequencing of the evaluated isolates showed a high similarity ( $> 98\%$ ) with several species of *Fusarium* sp and *Alternaria* sp, while antifungal activity tests of the extract showed fungistatic activity by *B. officinalis*, with  $16 \text{ mg.l}^{-1}$  being the most effective treatment for both isolates evaluated with an inhibition percentage of  $90.3 \pm 0.9\%$  for *Alternaria* sp and  $86.6 \pm 2.2\%$  for *Fusarium* sp, where *Alternaria* sp presented greater susceptibility to the extract of *B. officinalis* leaves. **Conclusion.** The results of this investigation provide one of the first reports of the antifungal activity of *Borago officinalis* on *Fusarium* sp and *Alternaria* sp.

de generar pérdidas millonarias en el sector agrícola. Es un sector creciente que representa el 11,9% del territorio nacional (5 099 744 ha). De este, el 40,2% se utiliza para cultivos como café, palma de aceite, caña de azúcar, entre otros, y un 20,3% se dedica a los cereales (DANE 2017). Adicionalmente, se encuentran los cultivos de musáceas como banano del subgrupo Cavendish, que ocupan un área de 561 922 ha del territorio, donde el 11,27% del área es destinado para su producción y exportación y el otro 88,76% es destinado para el consumo interno (ICA 2019).

El interés generado por empresas exportadoras para ingresar en los mercados internacionales de productos provenientes de la actividad agrícola, ha promovido el incremento de los estándares de calidad que a la vez generan sobrecostos de producción, entre los cuales resalta el control de plagas y enfermedades.

Tradicionalmente, el control de enfermedades de origen fúngico ha dependido del tratamiento con agroquímicos (Chávez y Aquino 2012). Los agroquímicos representan un riesgo para el ambiente y la salud humana, los cuales pueden llegar a ser cancerígenos; además su uso genera residuos que contaminan el suelo, el aire, los cuerpos de agua y en algunos casos, son perjudiciales para la biota responsable del control natural de plagas y patógenos potenciales (Abdel-Monaim *et al.* 2011, Rodríguez-Maturino *et al.* 2015, Tirumale y Wani 2018). Ante este problema, una de las posibles alternativas que permiten reducir las enfermedades en plantas causadas por hongos fitopatógenos es el uso de extractos vegetales, los cuales han demostrado tener efectos como controladores de ácaros, roedores, nematodos, bacterias, virus, hongos e insectos (Celis *et al.* 2009, Boadu *et al.* 2011). Además, poseen poca o ninguna toxicidad contra el ser humano y son rápidamente degradados en el suelo en comparación con los agroquímicos utilizados actualmente (Corato *et al.* 2010, Mahlo *et al.* 2010, Rodríguez-Maturino *et al.* 2015).

Para un país en el que los sistemas agrícolas representan una de las formas de uso del suelo más importantes, a su vez deberá ser parte de sus prioridades, la cual depende en parte, del buen mantenimiento y control biológico de fitopatógenos (Moreno-Velandia *et al.* 2018). Complementariamente, se debe considerar que Colombia posee entre 40 000 y 45 000 especies de plantas lo que lo convierte en el segundo país a nivel mundial de diversidad de especies de las cuales al menos 6000 poseen propiedades medicinales (Giraldo-Quintero *et al.* 2015), tradicionalmente es un país con una larga historia de uso de plantas como alimentos, medicina, vestuario y rituales ancestrales (Gómez-Fonnegra y Villa-Londoño 2011).

Especies de plantas consideradas como malezas, tal como *B. officinalis*, son ampliamente utilizadas con fines medicinales y culinarios, entre los que resaltan como una fuente rica de ácido gamma linoleico, precursor de prostaglandinas antiinflamatorias; además, de poseer

actividad antioxidante laxante, emoliente diurético entre otros (Galle *et al.* 1993, Ratz-Lyko *et al.* 2014, Fernandes *et al.* 2019). Diversos estudios sobre las propiedades fitoquímicas de *B. officinalis* también han identificado la presencia de actividad antimicrobiana frente a diversos patógenos de interés (Mhamdi *et al.* 2009, Arévalo 2009, Nieto-Navarro 2012, Basar *et al.* 2013, Miceli *et al.* 2014, Ávila 2016).

Algunos extractos naturales presentan actividad antifúngica por sus principios activos o “metabolitos secundarios”, los cuales son compuestos químicos que suelen estar presentes en fuentes botánicas, además, no representan un peligro para la salud humana (Lock *et al.* 2016). Los metabolitos secundarios presentes pueden ser terpenoides, compuestos fenólicos, fenilpropanoides, estilbenos, alcaloides, saponinas, entre otros (Dixon 2001, Okwu y Nnamdi 2008). Algunos como los fenoles y flavonoides son responsables de actividad antimicrobiana, reportados principalmente contra *Escherichia coli* y *Candida* spp (Cushnie y Lamb 2005, Corato *et al.* 2010, Echavarría *et al.* 2016, Abu *et al.* 2017, Jasso de Rodríguez *et al.* 2019). En el caso de hongos se considera que la actividad antimicrobiana de los metabolitos secundarios, está relacionada con la inhibición de la germinación de los conidios por parte de los hongos o por la inactivación de la síntesis de aminoácidos esenciales (Cushnie y Lamb 2005, Pietarinen *et al.* 2006, Kappel *et al.* 2008, De Castro *et al.* 2010).

En la actualidad existen pocos datos publicados acerca de la actividad de *B. officinalis* sobre especies de hongos fitopatógenas, por lo cual el objetivo de este estudio fue evaluar in vitro la actividad antifúngica del extracto etanólico de hojas de Borraja (*B. officinalis*) sobre hongos fitopatógenos productores de micotoxinas que provocan daños graves a cultivos de frutas y verduras como *Fusarium* sp y *Alternaria* sp. Para lograr este objetivo, se identificaron metabolitos secundarios presentes en *B. officinalis*; además, se cuantificó el contenido de fenoles y flavonoides totales presentes en el extracto etanólico de hojas de *B. officinalis*. Además,

*Fusarium* sp y *Alternaria* sp fueron caracterizados por estudios moleculares y bioinformáticas mediante la amplificación de la región ITS del ADN ribosomal y finalmente, se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento del extracto de las hojas de *B. officinalis* sobre los aislamientos previamente identificados mediante la prueba de crecimiento radial por técnica de difusión en agar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Obtención del material vegetal.** El material vegetal de la maleza conocida con el nombre de Borraja (*B. officinalis*) fue obtenido en noviembre de 2018 en Mendoza. Durante ese proceso se consideró que las plantas fueran ejemplares adultos y no presentaran signos de enfermedad aparente, como la presencia de pigmentos marrones, amarillos u oscuros en las hojas. Con el fin de corroborar la especie utilizada, 4 muestras de *B. officinalis* fueron prensadas, con el protocolo para la entrega de colecciones botánicas y depositadas en el herbario de la Universidad Nacional de Colombia con la utilización del servicio de identificación taxonómica para muestras botánicas para proporcionar la correcta clasificación.

**Obtención del extracto.** El extracto de las hojas de *B. officinalis* se obtuvo a partir de 1000 g de

hojas frescas separadas manualmente del tallo. Estas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio 1% y, posteriormente, lavadas con agua destilada y secadas al aire durante 24 horas a temperatura ambiente; después, fueron trituradas con una picadora y sumergidas en etanol 98% en relación 1:2 en un recipiente de vidrio. Posteriormente, el recipiente fue envuelto en papel aluminio y se dejó en reposo durante 10 días. Después, el extracto fue filtrado y el material vegetal se colocó de nuevo en el recipiente de vidrio con etanol 98% para reposar nuevamente durante 10 días. Este proceso se repitió en 3 ocasiones. Finalmente, el filtrado se secó en rota evaporador durante 3 horas a 40°C con una presión de 125 mbar. El secado final del extracto fue en cabina de extracción de gases durante 5 horas a 30°C.

**Identificación cualitativa y cuantificación de los metabolitos secundarios.** Con el fin de determinar la composición general de metabolitos secundarios presentes en *B. officinalis*, se realizó un proceso fitoquímico propuesto por Lock (2016) (Figura 1). Para la fenoles se utilizó la prueba de cloruro férrico; para esteroides y metilesteroides, la de Salkowski; para esteroides y terpenos, la de Liberman-Buchard; para coumarinas, se utilizó la de hidróxido de sodio; para saponinas, la de espuma y para leucoantocianidinas, la de HCl concentrado (Robles *et al.* 2016, Navarrete *et al.* 2017).

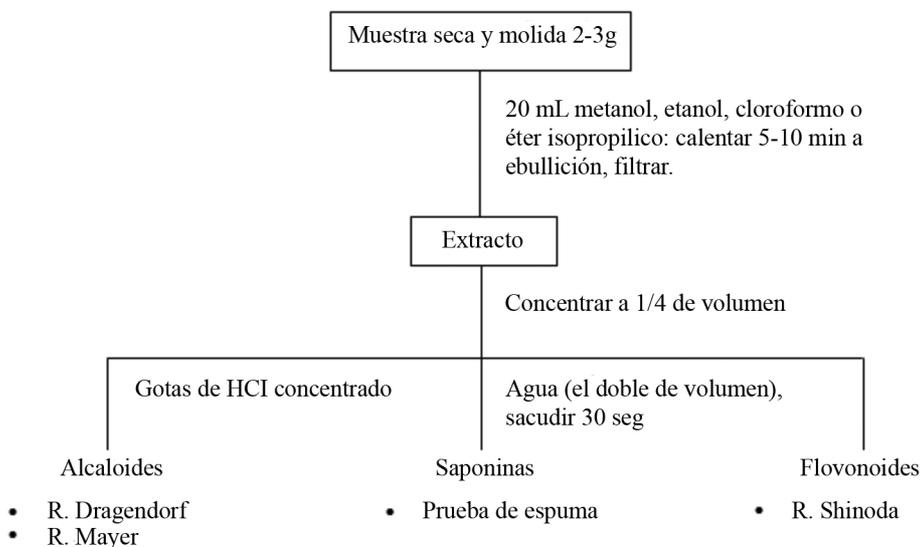


Figura 1. Identificación cualitativa de Alcaloides, Saponinas y Flavonoides, a partir de “Investigación Fitoquímica: Métodos en el estudio de productos naturales” (Lock 2016).

**Cuantificación de polifenoles y flavonoides.** Los fenoles y flavonoides son considerados los responsables de la actividad antimicrobiana en plantas (Kappel *et al.* 2008, De Castro *et al.* 2010), por lo cual se consideró importante su cuantificación. El contenido de total de polifenoles se determinó por el método Folin-Ciocalteu (Fo-Cio) y se siguió el método propuesto por Cicco *et al.* (2009). Se mezclaron 100  $\mu\text{L}$  de ácido gálico (reactivo analítico) con 200  $\mu\text{L}$  del reactivo Folin-Ciocalteu al 10%, después de 4 minutos se agregaron 800  $\mu\text{L}$  de solución acuosa de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (700 mM). La mezcla se agitó y calentó en baño maría a 40°C durante 20 minutos, la curva estándar se preparó con el estándar ácido gálico (15, 25, 40, 75, 100, 120 en  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Para determinar el contenido de fenoles totales, se expresó en miligramos equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de extracto, la cuantificación de polifenoles se realizó por triplicado a 720 nm en espectrofotómetro (Thermo Scientific 840-210300).

Además, el contenido total de flavonoides se determinó mediante los métodos propuestos

por Nabavi *et al.* (2008). Se mezclaron 100  $\mu\text{L}$  del estándar catequina (Qe) al 10% con 800  $\mu\text{L}$  de metanol, luego se adicionó 100  $\mu\text{L}$  de  $\text{AlCl}_3$  (10%) junto con 100  $\mu\text{L}$  de acetato de sodio (0,1M), finalmente, se dejaron reposar durante 30 minutos a temperatura ambiente. La curva estándar se preparó al utilizar como estándar catequina (15, 25, 35, 50, 75, 100 y 125  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). El total de flavonoides se expresó en miligramos equivalentes de catequina (Qe) por gramo de extracto. La cuantificación de flavonoides se realizó por triplicado a 420 nm en espectrofotómetro.

**Identificación molecular de los aislamientos de hongos.** Con el fin de caracterizar molecularmente los aislamientos de *Fusarium* sp y *Alternaria* sp de un cepario de hongos de la Universidad Central donde fue realizado el estudio para posteriormente ser conservados en glicerina 15% a una temperatura de -20°C. Los aislados fueron reactivados mediante la siembra en superficie en el medio de cultivo papa, dextrosa-agar (PDA) e incubados a 27°C durante 72 horas. La extracción del ADN de los aislamientos

se realizó con el kit de extracción Genomic DNA™ Tissue MiniPrep (Zymo Research, Irvine, EEUU), se siguieron las instrucciones del fabricante y se verificó en gel de agarosa. Posteriormente se realizó una PCR para amplificar la región ITS del ADNr con los *primers* universales descritos por White *et al.* (1990). ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') e ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3'). La mezcla para la amplificación se realizó en un volumen de 90 µL con 12,5 µL de 10X PCR *buffer* MgCl<sub>2</sub> (1,5Mm), 1 µL MgCl<sub>2</sub>, 3,75 µL de dNTP'S, ITS1 e ITS4, 1,25 µL de Taq ADN polimerasa y 1 µL ADN el cual fue estandarizado a 10 ng. La amplificación se realizó en un termociclador (BIO-RAD C1000 thermal cycler) con un ciclo inicial de 94°C por 5 minutos, 35 ciclos a temperatura de desnaturalización de 94°C por 1 minuto, una temperatura de anillado de 56°C por 30 segundos, una temperatura de extensión de 72°C por 30 segundos y un ciclo final a 72°C por 7 minutos.

Asimismo, los productos de PCR fueron purificados con el uso del kit de purificación de Zymo Research, Irvine, EEUU. Fueron secuenciados mediante el método Sanger por servicio técnico en el SIGMOL. La identificación de los aislamientos se determinó mediante el programa BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) del NCBI, estos resultados se compraron con la base de datos RDP de Michigan State University con el programa Classifier Fungal ITS Warcup por medio de un porcentaje de similitud de 95%.

#### Selección del vehículo de siembra.

Varios fármacos y extractos experimentales no se disuelven en agua o soluciones salinas y se requiere de otros solventes, como detergentes o aceites vegetales, que sean inocuos a los organismos, este es el caso del Dimetilsulfóxido

(DMSO) y Tween 20 que son 2 reactivos comúnmente utilizados como vehículos por la industria farmacéutica (Castro *et al.* 1995, Sánchez-Recillas *et al.* 2020). Para la selección del vehículo, se evaluó la actividad antifúngica *in vitro* del extracto etanólico de las hojas de *B. officinalis*, mediante la prueba de crecimiento radial por técnica de difusión en agar. Para ello se utilizó como medio de cultivo PDA con el extracto etanólico disuelto en DMSO o en Tween 20, ambos al 5% (Nieto Navarro 2012). Los trozos (6 mm de diámetro) de los aislamientos de *Fusarium* sp y *Alternaria* sp, de 7 días de crecimiento, fueron ubicados en el centro de la caja de Petri para luego ser incubados durante 9 días a 27°C. Cada 3 días se realizó lectura del crecimiento radial del micelio y el proceso fue realizado por triplicado. Como controles negativos se utilizó DMSO al 5% y Tween 20 al 5% en Agar PDA sin de extracto vegetal y, como, control positivo se utilizó un antifúngico comercial, el cual contiene propamocarb-HCl + metalaxyl a una concentración de 36 mg.l<sup>-1</sup>, según especificaciones del fabricante.

**Ensayos de actividad antifúngica del extracto.** La actividad antifúngica del extracto de las hojas de *B. officinalis* se llevó a cabo con DMSO al 5% como vehículo y por la técnica de difusión en agar, con concentraciones de 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15 y 16 mg.l<sup>-1</sup> de extracto vegetal (Nieto Navarro 2012). Para el análisis de los resultados, se calculó el porcentaje de crecimiento micelial o radial respecto al control del medio inoculado con los hongos, se consideró como el 100% del crecimiento radial o 0% de inhibición del crecimiento micelial mediante la siguiente ecuación (Ezziyyani *et al.* 2004, Marquez-Vizcaino *et al.* 2007, Saúl *et al.* 2011, Bautista *et al.* 2016).

$$\% \text{ inhibición micelial o radial} = \frac{\text{Control negativo} - \text{Tratamiento}}{\text{Control negativo}} \times 100$$

**Análisis estadístico.** Para evaluar el porcentaje de inhibición del crecimiento *Fusarium* sp y *Alternaria* sp frente a *B. officinalis*, todas las medidas fueron tomadas por triplicado y expresadas como el valor  $\pm$  la desviación estándar. Además, los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA). De continuo, se comprobaron los supuestos de normalidad y homoscedasticidad seguido de una prueba de comparación múltiple de Tukey con el uso de la herramienta IBM spss statistics v25 2017.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Identificación del material vegetal.** El material vegetal fue identificado en el laboratorio según la descripción de Galle *et al.* (1993), De Smet (1993) y Abu *et al.* (2017) como *Borago officinalis* (Figura 2) donde se presenta tallo ramificado, presencia de pubescencia por toda la planta hasta las hojas. Se identificaron hojas alternas, anchas que decrecen hacia el ápice de la rama; las hojas basales son pecioladas, ovales, las caulinares, sésiles y lanceoladas. Por su parte las flores que tienen forma de estrella de color azul, con estambres negros (Simpson 1993).



Figura 2. Hojas y flores de *Borago officinalis*. A) Tallo ramificado, hojas alternas, anchas que decrecen hacia el ápice de la planta. B) Flores de *B. officinalis* en forma de estrella de color azul, con estambres negros.

Además, se utilizó el servicio de estudio taxonómico para verificar la identificación de *B. officinalis* realizado por el Herbario Nacional de Colombia de la Universidad Nacional de Colombia, donde se obtuvo una verificación de *Borago officinalis* con designación de muestra BO1 y número de colección 612220.

**Identificación cualitativa de metabolitos secundarios.** De acuerdo con los protocolos establecidos durante los ensayos cualitativos preliminares, se identificó la presencia de alcaloides, flavonoides, fenoles y saponinas; además, la presencia de esteroides y metilesteroides, esteroides y terpenos, coumarinas y leucoantocianidinas que fue negativa (Tabla 1). Los resultados

coincidieron con los obtenidos por Echavarría *et al.* (2016) quienes reportan resultados similares a excepción de polifenoles; por otra parte, Leos (2010) reportó la ausencia de flavonoides al aplicar la prueba de  $H_2SO_4$ . Otras investigaciones reportaron, de igual manera, la ausencia de compuestos como esteroides, esteroides y terpenos (Mhamdi *et al.* 2009, Abu *et al.* 2017, Saadatian *et al.* 2017). La presencia de compuestos como los fenoles y flavonoides sugiere que *B. officinalis* puede presentar distintas propiedades entre las que destacan la capacidad antioxidante, antimicrobiana y antifúngica (Reddy *et al.* 2007, Siva *et al.* 2008, Robles *et al.* 2016, Carvalho *et al.* 2018).

Tabla 1. Identificación de metabolitos secundarios en el extracto de las hojas de *B. officinalis*.

Metabolitos	Hojas de <i>B. officinalis</i>
Alcaloides	+
Flavonoides	+
Fenoles	+
Esteroides y Metilesteroides	-
Esteroides y Terpenos	-
Coumarinas	-
Saponinas	+
Leucoantocianidinas	-

Presencia = +

Ausencia = -

**Cuantificación de polifenoles y flavonoides.** El contenido total de polifenoles de las hojas de *B. officinalis* fue de  $19,08 \pm 0,01$  ( $r^2=0,97$ ) reportado en miligramos equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de extracto. Por otro lado, el contenido de flavonoides de las hojas de *B. officinalis* fue de  $28,12 \pm 0,06$  ( $r^2=0,99$ ), reportado como miligramos equivalentes de catequina (Qe) por gramo de extracto. El contenido total de polifenoles de las hojas de *B. officinalis* concuerda con los resultados obtenidos por Segovia *et al.* (2014), en el que sus resultados variaron de 19,16 a 27,49 mg equivalentes de ácido gálico. $g^{-1}$  de extracto, en las hojas de *B. officinalis* a partir de un extracto etanólico;

sin embargo, el contenido total de polifenoles es significativamente menor en comparación con los reportados por Zemmouri *et al.* (2014), quienes reportaron un contenido total de polifenoles presentes en hojas de *B. officinalis* a partir de un extracto etanólico de  $94,09 \pm 1,72$  mg equivalentes de ácido gálico. $g^{-1}$  de extracto.

El contenido de polifenoles totales concuerda con el registrado para varias plantas aromáticas y de uso medicinal (Zheng y Wang 2007). Además, el contenido de flavonoides totales difiere de los resultados obtenidos por Zemmouri *et al.* (2014) en su estudio de la composición química y antioxidante de *B. officinalis*, pues se obtuvo como resultado  $37,6 \pm 3,9$  miligramos equivalentes de catequina (Qe). $g^{-1}$  de extracto. La presencia de polifenoles y flavonoides en este estudio podrían indicar acción antifúngica (De Castro *et al.* 2010, Leon Duran y Mancheno Cárdenas 2021).

**Identificación molecular de los aislamientos de hongos.** Las secuenciaciones de regiones ribosomales con marcadores ITS sugieren que los aislamientos, identificados previamente por su morfología pueden ser *Fusarium* sp y *Alternaria* sp. La amplificación de la banda para los *primers* utilizados fue la esperada (500 pb) según las secuenciaciones de Villavicencio (2013), Vanegas Berrouet *et al.* (2014) y Salazar (2016), para *F. oxysporum* fue de 550 pb mientras que para *Alternaria* sp fue 580 pb.

El análisis de la secuencia ITS realizado con la herramienta BLASTn del NCBI mostró una identidad de la secuencia del 99,83% para *Fusarium* sp y la información fue depositada en el GenBank del NCBI con el número de acceso KP942940.1. La secuencia para *Alternaria* sp mostró una identidad del 99% con varias especies como *Alternaria arborescens* y *Alternaria alternata* (números de acceso GenBank: MK460794.1, JQ910882.1, MK461082.1, MN044802.1), por lo que no se logró especificar claramente la especie y, por tanto, fue denominada *Alternaria* sp.

Con el fin de constatar los resultados señalados, las secuencias se compararon con la base de datos RDP de Michigan State University, mediante el programa Classifier Fungal ITS Warcup, el cual mostró resultados similares para ambos casos, que sugieren la presencia de *F. oxysporum* con un umbral de confianza del 95%; mientras que *Alternaria* sp obtuvo 56% de identidad con *Alternaria alternata* con un umbral de confianza del 95%, sin embargo, es definida como *Alternaria* no identificada. Según los resultados, se toma la decisión de no atribuir ninguna especie para el caso de *Alternaria* sp. No obstante, la secuenciación de la región ribosomal con marcadores ITS puede no ser concluyente para la correcta identificación molecular de los aislamientos de *Fusarium* sp y

*Alternaria* sp, ya que debido a la gran cantidad de polimorfismo que existe entre especies estrechamente relacionadas, se recomienda el uso de más *primers* como TEF-1 $\alpha$  o RPB2 (Geiser *et al.* 2004, Salazar-González *et al.* 2016, Rangel-Castillo *et al.* 2017), razón por la cual se decidió no atribuir ninguna especie para los aislamientos secuenciados.

**Selección del vehículo de siembra.** El crecimiento radial de *Fusarium* sp y *Alternaria* sp se afectó de manera negativa por el extracto de *B. officinalis* mediante los vehículos DMSO al 5% y Tween 20 al 5%. Sin embargo, el extracto de *B. officinalis* presentó mayor porcentaje de inhibición para los 2 aislamientos evaluados con DMSO-5% (Figura 3).

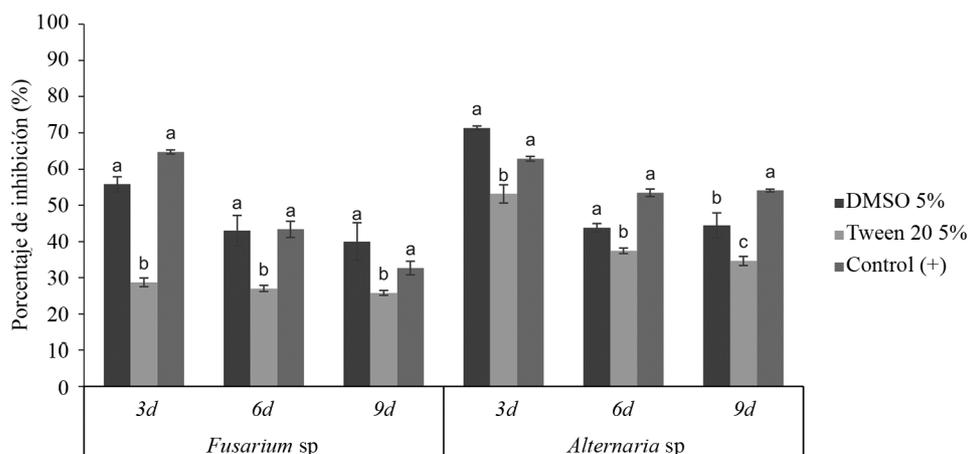


Figura 3. Efecto antifúngico del extracto de las hojas de *B. officinalis* sobre *Fusarium* sp y *Alternaria* sp después de 3, 6 y 9 días mediante DMSO 5% y Tween-20 5%.

En el caso de *Fusarium* sp, los tratamientos se dividieron en 2 grupos estadísticamente diferentes (ANOVA  $p < 0,05$ ) en los 3 primeros días. El primer grupo incluyó los ensayos realizados con DMSO-5% y el control (+) y el segundo grupo incluyó los ensayos con Tween 20-5%. Los tratamientos que conformaron el primer grupo presentaron mayor porcentaje de

inhibición donde el control (+) fue el tratamiento más efectivo frente a *Fusarium* sp ( $64,7 \pm 0,5\%$ ), seguido por el extracto vegetal disuelto en el vehículo DMSO-5% ( $55,7 \pm 2,0\%$ ), mientras que el segundo grupo conformado por el extracto vegetal disuelto en Tween-20 al 5% presentó un porcentaje de inhibición significativamente menor ( $28,7 \pm 1,2\%$ ).

En la Figura 3, se observa que la inhibición de *B. officinalis* sobre *Fusarium* sp, disminuye a través del tiempo (6 y 9 días), ya que es el extracto disuelto en DMSO-5% el tratamiento más efectivo frente a *Fusarium* sp ( $40,0 \pm 5,1\%$ ) al final del experimento.

Para el caso de *Alternaria* sp se observó que el extracto de las hojas de *B. officinalis* inhibió el crecimiento en mayor porcentaje con respecto al *Fusarium* sp (Figura 3). Los resultados se dividieron en 2 grupos estadísticamente diferentes (ANOVA  $p < 0,05$ ). El primer grupo (DMSO-5% y control (+)) presentó mayor porcentaje de inhibición donde el control (+) fue el tratamiento más efectivo frente a *Alternaria* sp ( $71,3 \pm 0,5\%$ ) seguido por el extracto disuelto en DMSO-5% ( $62,8 \pm 0,6\%$ ). El segundo grupo conformado por Tween 20-5% presentó un porcentaje de inhibición menor ( $53,1 \pm 2,5\%$ ).

Al igual que para el caso de *Fusarium* sp, la efectividad del extracto de las hojas de *B. officinalis* sobre *Alternaria* sp disminuyó a través del tiempo. Es importante resaltar que por 9 días, se conformaron 3 grupos, el primero formado por el control (+), el segundo por DMSO-5% y tercero por Tween 20 al 5%; donde el control (+) fue el tratamiento más efectivo frente a *Alternaria* sp ( $53,4 \pm 0,3\%$ ).

Vehículos de dilución como DMSO funcionan como potenciadores de los extractos vegetales, ya que incrementan la penetración de sus principios activos, además, la asociación de extractos vegetales de origen acuosos, etanólicos y metanólicos aumentó la efectividad, en este caso el porcentaje de inhibición del crecimiento radial para los 2 aislamientos

evaluados (Figura 3) (Ravindran *et al.* 2011, Bobadilla Alvarez y Reyes Castro 2020).

Algunos vehículos, como Tween 20, pueden disminuir la actividad locomotora del extracto al impedir la correcta dilución en el medio inoculado, lo cual reduce su eficiencia (Castro *et al.* 1995). Recursos como Tween 20 y Tween 80 pueden inactivar compuestos fenólicos que han sido reportados como los encargados de la actividad antimicrobiana presente en los extractos de plantas (Dixon 2001, Akhila 2009). La selección previa del medio de dilución del extracto es importante, ya que estos pueden presentar efecto de inhibición de la actividad biológica del extracto así como efectos tóxicos sobre el organismo evaluado (Jaeschke *et al.* 2006, Ravindran *et al.* 2011).

Aunque DMSO-5% como agente fue más eficiente, DMSO-5% y Tween 20-5% fueron efectivos frente a *Fusarium* sp y *Alternaria* sp, ya que presentaron un porcentaje de inhibición  $\geq 20\%$  al cabo de 9 días (Marquez-Vizcaino *et al.* 2007). Según los resultados observados, se seleccionó como recurso para los ensayos de actividad DMSO-5% pues presentó mayor efectividad sobre la inhibición del crecimiento de *Fusarium* sp y *Alternaria* sp.

**Ensayos de actividad antifúngica del extracto etanólico.** Los ensayos de la actividad antifúngica del extracto etanólico de las hojas de *B. officinalis* se realizaron con diferentes concentraciones de extracto con DMSO-5% como agente, para determinar la concentración más efectiva a través del tiempo (3, 6 y 9 días) (Figura 4).

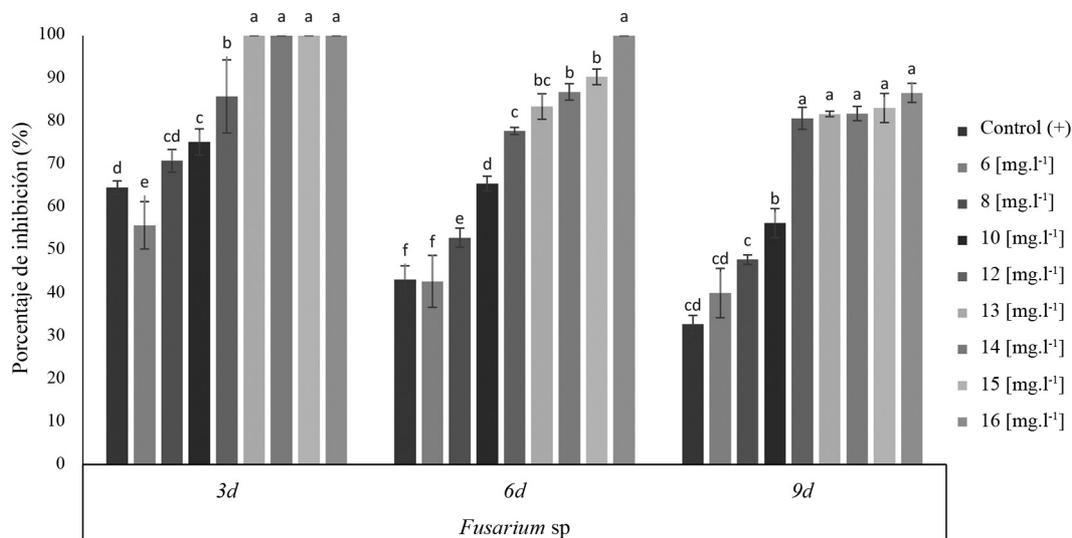


Figura 4. Efecto antifúngico de diferentes dosis del extracto de las hojas de *B.officinalis* sobre *Fusarium sp* después de 3, 6 y 9 días.

Para el caso de *Fusarium sp*, los tratamientos se dividieron en 6 grupos estadísticamente diferentes (ANOVA  $p < 0,05$ ) y al cabo de 3 días, se observaron los que presentaron mayor porcentaje de inhibición del crecimiento. El grupo conformado por los tratamientos 13, 14, 15 y 16 mg.l<sup>-1</sup> mostró un porcentaje de inhibición de 100%. Adicionalmente, tratamientos con 12 mg.l<sup>-1</sup> y 10 mg.l<sup>-1</sup> presentaron un porcentaje de inhibición de 85,4±8,5% y 75,2±3,0%, respectivamente (Figura 4). La tendencia de disminución de la inhibición del crecimiento se observó conforme se redujo la concentración del extracto, pues fue

el último grupo conformado por el tratamiento con concentración de 6 mg.l<sup>-1</sup> y mostró menor inhibición del crecimiento (39,9±5,7%).

Al cabo de 6 días los tratamientos se dividieron en 7 grupos estadísticamente diferentes (ANOVA  $p < 0,05$ ). El primer grupo conformado por 16 mg.l<sup>-1</sup> fue el único que presentó un porcentaje de inhibición de 100%. También se observó que la inhibición de *B. officinalis* sobre *Fusarium sp* disminuyó a través del tiempo (6 y 9 días), donde el tratamiento de 16 mg.l<sup>-1</sup> fue el más efectivo frente a *Fusarium sp* (86,6±2,2%) al final del experimento (Figura 5).

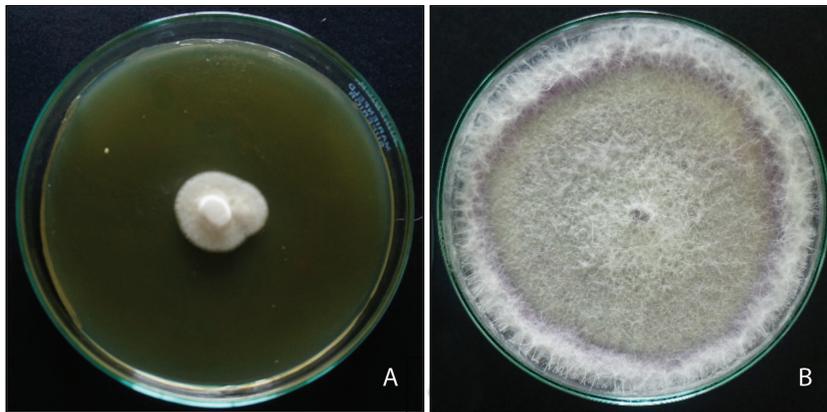


Figura 5. Actividad de *Borago officinalis* contra *Fusarium* sp. A) *Fusarium* sp al cabo de 9 días de tratamiento a una concentración de 16 mg.l<sup>-1</sup>. B) Control (-) *Fusarium* sp al cabo de 9 días.

En contraste con los resultados obtenidos por Nieto-Navarro (2012), quien evaluó el efecto antifúngico de varias plantas medicinales entre ellas *B. officinalis* con concentraciones similares del extracto sobre *Fusarium* sp, reportó la ausencia de actividad antifúngica. Sin embargo, no reportó uso de un vehículo de dilución del extracto. Castro *et al.* (1995), Bobadilla-Alvarez y Reyes-Castro (2020) corroboran la importancia en la selección de un medio para ensayos de actividad de extractos vegetales el cual podría mejorar la actividad biológica. Sin embargo, *Fusarium* sp es un fitopatógeno multiresistente y los extractos vegetales con capacidad antifúngica con frecuencia están limitados por el desarrollo de resistencia enzimática o por procesos de sustitución genética.

Para el caso de *Alternaria* sp los tratamientos se dividieron en 3 grupos estadísticamente diferentes (ANOVA  $p < 0,05$ ). Después de 3 días, se observó que presentaron mayor porcentaje de inhibición del crecimiento. El primer grupo se conformó con los tratamientos de mayor concentración (12, 13, 14, 15 y 16 mg.l<sup>-1</sup>) mediante un porcentaje de inhibición del 100%. El segundo grupo se conformó por tratamientos de 8 y 10 mg.l<sup>-1</sup> de concentración que presentaron un porcentaje de inhibición de 89,5±2,2% y 85,6±9,0%, respectivamente. El tercer grupo fue conformado con una concentración de 6 mg.l<sup>-1</sup> y el control (+) que presentaron 71,3±2,5% y 62,8±2,5% (Figura 6).

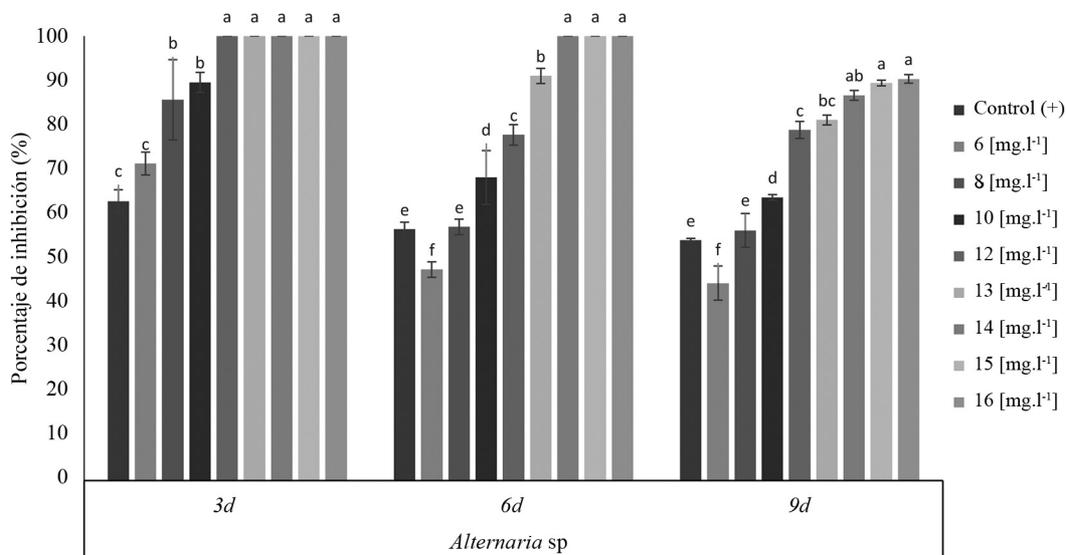


Figura 6. Efecto antifúngico de diferentes dosis del extracto de las hojas de *B.officinalis* sobre *Alternaria* sp después de 3, 6 y 9 días.

Al igual que para el caso de *Fusarium* sp, la inhibición de *B. officinalis* sobre *Alternaria* sp disminuyó a través del tiempo (6 y 9 días). Después de 6 días, los tratamientos se dividieron en 6 grupos estadísticamente diferentes, donde el

primer grupo fue conformado por los tratamientos de 14, 15 y 16 mg.l<sup>-1</sup> los cuales presentaron más efectividad frente a *Alternaria* sp (100%). El tratamiento más efectivo al final de 9 días fue 16 mg.l<sup>-1</sup> frente a *Alternaria* sp (90,3±0,96%) (Figura 7).

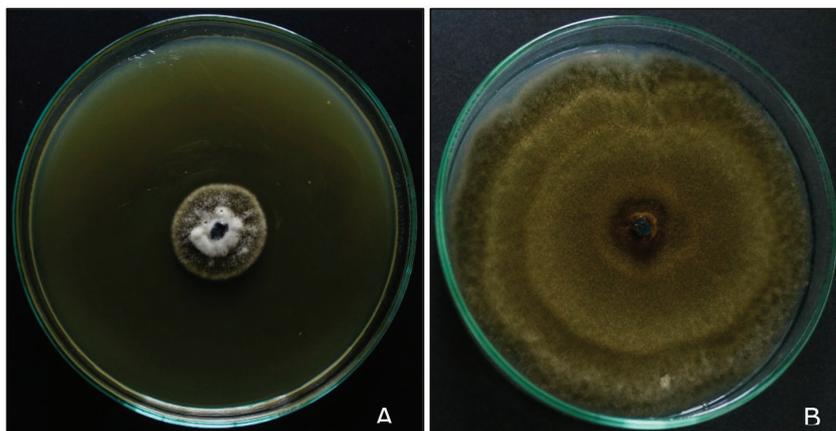


Figura 7. Actividad de *Borago officinalis* contra *Alternaria*. sp. A) *Alternaria* sp al cabo de 9 días de tratamiento a una concentración de 16 mg.l<sup>-1</sup>. B) Control (-) *Alternaria* sp al cabo de 9 días.

Se evidenció un contraste con los resultados obtenidos por Arévalo (2009), quien solo reportó actividad antifúngica frente a *Alternaria* sp. Khafari *et al.* (2014) evaluaron el efecto de *B. officinalis* sobre *Alternaria* sp en una concentración de 5 mg diluidos sobre discos de papel, ya que reportaron la ausencia de actividad antifúngica, a diferencia de los obtenidos en el presente estudio, que fue la concentración mínima evaluada de 6 mg.l<sup>-1</sup> con el uso de la técnica de dilución en agar con vehículo de dilución (DMSO-5%).

La inhibición observada se considera altamente efectiva de acuerdo con Marquez-Vizcaino *et al.* (2007) al presentar un porcentaje de  $\geq 20\%$ . Sin embargo, el extracto de *B. officinalis* mostró la presencia de actividad fungistática, ya que el crecimiento de *Fusarium* sp y *Alternaria* sp fue reactivado al cabo de 3 días para la mayoría de las concentraciones evaluadas, excepto 16 mg.l<sup>-1</sup> donde el crecimiento fue reactivado después 6 días (Soylu *et al.* 2010, Moreno 2011).

Los resultados obtenidos pueden relacionarse con la presencia de compuestos fenólicos por parte de *B. officinalis*, comúnmente relacionados con la actividad antimicrobiana de los extractos vegetales (Gatto *et al.* 2011, Rodríguez-Maturino *et al.* 2015, Fabrikov *et al.* 2019). La presencia de compuestos fenólicos en el extracto de *B. officinalis* corroboraron la presencia de la actividad antifúngica que actúa como repelente, además de inhibir la acción enzimática por oxidación de las topoisomerasas implicadas en procesos de transcripción y reparación del ADN (Lizcano González 2007, De Castro *et al.* 2010, Azuero *et al.* 2016, Mesa *et al.* 2019). Además, atacan la membrana citoplasmática del patógeno, lo cual afecta la capacidad selectiva y permite el escape de componentes intracelulares (Nychas 1995).

La pérdida de actividad fungicida del extracto de las hojas de *B. officinalis* sobre *Fusarium* sp y *Alternaria* sp respondió a sus mecanismos de resistencia entre los que destaca la resistencia metabólica por parte de especies patógenas mediante la acción enzimática. Incluso para el caso de hongos y malezas son capaces

de reducir la sensibilidad en el sitio de acción de manera que antifúngico no pueda fijarse al sitio de acción, al inhibir o reducir significativamente su efectividad (Hernández 2012).

Existe un riesgo intrínseco en la aplicación de las dosis de los extractos vegetales o fungicidas, además, de la subdivisión de las mismas, ya que se ejerce mayor presión de selección, lo cual favorecería la supervivencia de una parte de la población de hongos menos sensibles a los principios activos aplicados, en ese sentido el fungicida ejerce presión sobre el hongo y mata solo a la población sensible (Hobbelen *et al.* 2011, Gressel 2011, Hollomon 2012, Grimmer *et al.* 2015, Carmona y Sautua 2017).

Eidi *et al.* (2014) reportan la presencia de actividad antifúngica de *B. officinalis* en 3 especies de hongos fitopatógenos del género de *Aspergillus* (*A. fumigatus*, *A. niger* y *A. flavus*), resultados que corroboran el potencial antifúngico por parte de *B. officinalis*. Gatto *et al.* (2011) también reportaron la presencia de actividad antifúngica de *B. officinalis* sobre *Botrytis cinerea*, *Monilia laxa*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus carbonarius*, entre otros.

## CONCLUSIONES

El extracto etanólico de las hojas de *Borago officinalis* expuso un alto contenido de fenoles y flavonoides totales que hacen de esta planta una especie promisoría por los beneficios que podría ofrecer en el control biológico de hongos fitopatógenos.

El extracto etanólico de las hojas de *Borago officinalis* fue efectivo en el control in vitro de *Fusarium* sp y *Alternaria* sp, con resultados similares al fungicida comercial propamocarb-HCl + metalaxyl, el cual es de uso común.

Se demostró la actividad antifúngica del extracto etanólico de las hojas de *Borago officinalis*, lo que sugiere que su aplicación puede ser una alternativa para su empleo en el manejo agroecológico de los hongos fitopatógenos.

La investigación reportó la evaluación del extracto etanólico de *Borago officinalis*

planta considerada como maleza en regiones del país no obstante, se evidencia el valor agregado que puede ofrecer dentro de la cadena agroproductiva.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el fraccionamiento y obtención estructural de los metabolitos secundarios en *Borago officinalis* que presenten actividad antifúngica sobre *Fusarium* sp y *Alternaria* sp.

Asimismo, evaluar la actividad antifúngica de *B. officinalis* sobre otras especies de hongos fitopatógenos. Es recomendable establecer la concentración mínima inhibitoria del extracto y realizar ensayos en aplicaciones sucesivas con el fin de evitar que los hongos creen resistencia a los metabolitos secundarios presentes en el extracto.

## AGRADECIMIENTOS

Las personas autoras agradecen a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Universidad Central donde fue llevado a cabo el estudio. También a María Camila Escobar, Gladys Cardona, Marcela Carrillo, William Quintero del instituto SINCHI y a Jorge Robles de la Pontificia Universidad Javeriana por su ayuda y orientación en este trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Abdel-Monaim, MF; Abo-Elyousr, KAM; Morsy, KM. 2011. Effectiveness of plant extracts on suppression of damping-off and wilt diseases of lupine (*Lupinus termis* Forsik). *Crop Protection* 30(2):185-191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.09.016>.
- Abu, M; Nyeem, B; Haque, MS; Hoque, MA; Islam, MM; Islam, S. 2017. Phytoconstituents and pharmacological activity of Gauzaban (*Borago officinalis* Linn ): A Review 2(1):148-152. DOI: <https://doi.org/2017>.
- Agrios, G. 2005. *Plant pathology*: 5 ed. s.l., Academic Press. 922 p.
- Akhila, A. 2009. *Essential Oil-Bearing Grasses: The genus Cymbopogon*. Akhila, A (ed.). Boca Raton, FL, USA, CRC Press. 131 p.
- Arévalo, J. 2009. Obtención de extractos vegetales con actividad biocontroladora ante hongos fitopatógenos. Cuenca, Ecuador, Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología. 55 p.
- Ávila, JJ. 2016. Efecto Antifúngico de seis extractos vegetales sobre el hongo *Mycosphaerella* sp en el cultivo de banano. s.l., Universidad Técnica de Machala. 29 p.
- Azuero, A; Jaramillo Jaramillo, C; San Martin, D; D'Armas Regnault, H. 2016. Análisis del efecto antimicrobiano de doce plantas medicinales de uso ancestral en Ecuador / Analysis of antimicrobial effect of twelve medicinal plants of ancient use in Ecuador. *Ciencia Unemi* 9(20):11. DOI: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp11-18p>.
- Basar, SN; Rani, S; Farah, SA; Zaman, R. 2013. Review on *Borage Officinalis*: A Wonder Herb. *International Journal of Biological & Pharmaceutical Research* 4(8):582-587.
- Bautista, M; Cristóbal, J; Tun, J; Reyes, A. 2016. Actividad in vitro de *Bacillus* spp. en la inhibición de crecimiento micelial de *Fusarium equiseti* y *Fusarium solani* aislado de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agronciencia* 62(08):1123-1135.
- Boadu, KO; Tulashie, SK; Anang, MA; Kpan, JD. 2011. Production of natural insecticide from Neem leaves (*Azadirachta indica*). *Asian Journal of Plant Science and Research* 1(4):33-38.
- Bobadilla-Alvarez, M; Reyes-Castro, S. 2020. Efecto tóxico de los extractos de semillas de *Annona muricata* potenciados con dimetilsulfóxido sobre larvas IV y pupas de *Aedes aegypti*. *Revista Peruana de Biología* 27(2):215-224. DOI: <https://doi.org/doi:http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v27i2.17877>.
- Carmona, M; Sautua, F. 2017. La problemática de la resistencia de hongos a fungicidas. Causas y efectos en cultivos extensivos (en línea). *Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 37(1):1-19. Consultado 19 set. 2019. Disponible en <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/agronomiyambiente/2017carmonamarcelo.pdf>
- Carvalho, RS; Carollo, CA; de Magalhães, JC; Palumbo, JMC; Boaretto, AG; Nunes e Sá, IC; Ferraz, AC; Lima, WG; de Siqueira, JM; Ferreira, JMS. 2018. Antibacterial and antifungal activities of phenolic compound-enriched ethyl acetate fraction from *Cochlospermum regium* (mart. Et. Schr.) Pilger roots: Mechanisms of action and synergism with tannin and gallic acid. *South African Journal of Botany* 114:181-187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.11.010>.

- Castro, CA; Hogan, JB; Benson, KA; Shehata, CW; Landauer, MR. 1995. Behavioral effects of vehicles: DMSO, ethanol, Tween-20, Tween-80, and emulphor-620. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior* 50(4):521-526. DOI: [https://doi.org/10.1016/0091-3057\(94\)00331-9](https://doi.org/10.1016/0091-3057(94)00331-9).
- Celis, A; Mendoza, C; Pachón, ME. 2009. Review: Plant Extracts Used As Biocontrol in Management of Plagues, Diseases and Weeds. *Temas Agrarios* 14(1):5-16.
- Chávez, AR; Aquino, AS. 2012. Control de los hongos del suelo *Rhizoctonia* sp., *Fusarium* sp. y *Sclerotium* sp. con extractos vegetales. *Investigación Agraria* 17(6):478-485.
- Cicco, N; Lanorte, MT; Paraggio, M; Viggiano, M; Lattanzio, V. 2009. A reproducible, rapid and inexpensive Folin-Ciocalteu micro-method in determining phenolics of plant methanol extracts. *Microchemical Journal* 91(1):107-110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2008.08.011>.
- Corato, U De; Maccioni, O; Trupo, M; Di Sanzo, G. 2010. Use of essential oil of *Laurus nobilis* obtained by means of a supercritical carbon dioxide technique against post harvest spoilage fungi. *Crop Protection* 29(2):142-147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.10.012>.
- Cushnie, TPT; Lamb, AJ. 2005. Antimicrobial activity of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents* 26(5):343-356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2005.09.002>.
- DANE. 2017. Boletín Técnico Encuesta (en línea). Encuesta Nacional Agropecuario:1-31. Consultado 08 oct. 2019. Disponible en [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2017/boletin\\_ena\\_2017.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2017/boletin_ena_2017.pdf)
- De Castro, HG; de Moura Perini, VB; dos Santos, GR; Leal, TCAB. 2010. Evaluation of content and composition of the essential oil of *Cymbopogon nardus* (L.) in different harvest times. *Revista Ciencia Agronomica* 41(2):308-314. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000200020>.
- De Smet, PAGM. 1993. *Borago officinalis*. Adverse Effects of Herbal Drugs 2:147-152. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-48906-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-48906-8_10).
- Dixon, RA. 2001. Natural products and plant disease resistance. *Nature* 411:843-847. DOI: <https://doi.org/10.1038/35081178>.
- Echavarría, A; D'Armas Regnault, H; Lisbeth, N; Matute, L; Jaramillo, C; Rojas de Astudillo, L; Benitez, R. 2016. Evaluación de la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios de extractos de dieciséis plantas medicinales / Evaluation of antioxidant capacity and secondary metabolites of sixteen medicinal plants extracts. *Ciencia Unemi* 9(20):29-35. DOI: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp29-35p>.
- Eidi, S; Ghodrati Azadi, H; Ghanbari Nehbandani, H. 2014. Comparative Evaluation of the Antifungal Activity of Borage (*Borago officinalis*) and *Camellia sinensis* (Green tea) leaves against various *Aspergillus* and *Candida* strains. *Journal of Biologically Active Products from Nature* 4(1):29-36. DOI: <https://doi.org/10.1080/22311866.2014.890063>.
- Ezziyiani, M; Pérez Sánchez, C; Requena, M; Sid Ahmed, A; Candela Castillo, M. 2004. Evaluación del biocontrol de «*Phytophthora capsici*» en pimiento (*Capsicum annum* L.) por tratamiento con «*Burkholderia cepacia*». *Anales de biología* (26):61-68.
- Fabrikov, D; Guil-guerrero, JL; González-Fernández, MJ; Rodríguez-García, I; Gómez-Mercado, F; Urrestarazu, M; Teresa, M; Rincón-Cervera, MÁ; Álvaro, JE; Lyashenko, S. 2019. Journal of Food Composition and Analysis Borage oil : Tocopherols, sterols and squalene in farmed and endemic-wild Borage species. *Journal of Food Composition and Analysis* 83:103299. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103299>.
- Fernandes, L; Pereira, JA; Saraiva, JA; Ramalhosa, E; Casal, S. 2019. Phytochemical characterization of *Borago officinalis* L. and *Centaurea cyanus* L. during flower development. *Food Research International* 123:771-778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.014>.
- Galle, AM; Joseph, M; Demandre, C; Guerche, P; Dubacq, JP; Oursel, A; Mazliak, P; Pelletier, G; Kader, JC. 1993. Biosynthesis of  $\gamma$ -linolenic acid in developing seeds of borage (*Borago officinalis* L.). *BBA - General Subjects* 1158(1):52-58. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4165\(93\)90096-Q](https://doi.org/10.1016/0304-4165(93)90096-Q).
- Galvano, F; Piva, A; Ritiene, A; Galvano, G. 2001. Dietary strategies to counteract the effects of mycotoxins: A review. *Journal of Food Protection* 64(1):120-131. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-64.1.120>.
- Gatto, MA; Ippolito, A; Linsalata, V; Cascarano, NA; Nigro, F; Vanadia, S; Di Venere, D. 2011. Activity of extracts from wild edible herbs against postharvest fungal diseases of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 61(1):72-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.02.005>.
- Geiser, DM; Jiménez-Gasco, MDM; Kang, S; Makalowska, I; Veeraraghavan, N; Ward, TJ; Zhang, N; Kuldau, GA; O'Donnell, K. 2004. FUSARIUM-ID v. 1.0: A DNA sequence database for identifying *Fusarium*. *European Journal of Plant Pathology* 110(5-6):473-479. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:EJPP.0000032386.75915.a0>.
- Giraldo-Quintero, SE; Bernal-Lizarazú, MC; Morales-Robayo, A; Pardo-Lobo, AZ; Gamba-Molano, L. 2015. Descripción del uso tradicional de plantas medicinales en mercados populares de Bogotá, D.C. *Nova* 13(23):73. DOI: <https://doi.org/10.22490/24629448.1707>.

- Gómez-Fonnegra, R; Villa-Londoño, J. 2011. Plantas medicinales usadas en algunas veredas de municipios del altiplano del oriente antioqueño. *Actualidades Biológicas* 33(95):219-250.
- Gressel, J. 2011. Low pesticide rates may hasten the evolution of resistance by increasing mutation frequencies. *Pest Management Science* 67(3):253-257. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.2071>.
- Grimmer, MK; van den Bosch, Fk; Powers, SJ; Paveley, ND. 2015. Fungicide resistance risk assessment based on traits associated with the rate of pathogen evolution. *Pest Management Science* 71(2):207-215. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3781>.
- Hernández, J. 2012. Distribución y utilización de plaguicidas directrices sobre la prevención y manejo de la resistencia a los plaguicidas. s.l., s.e., vol. 3. 61 p.
- Hobbelen, PHF; Paveley, ND; Van Den Bosch, F. 2011. Delaying selection for fungicide insensitivity by mixing fungicides at a low and high risk of resistance development: A modeling analysis. *Phytopathology* 101(10):1224-1233. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-10-0290>.
- Hollomon, DW. 2012. Do we have the tools to manage resistance in the future? *Pest Management Science* 68(2):149-154. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.2291>.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2019. Marchitez Por *Fusarium* Raza 4 Tropical-Foc R4T. Bogota, Colombia, s.e. s.p.
- Jaeschke, H; Cover, C; Bajt, ML. 2006. Role of caspases in acetaminophen-induced liver injury. *Life Sciences* 78(15):1670-1676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.07.003>.
- Jasso de Rodríguez, D; Gaytán-Sánchez, NA; Rodríguez-García, R; Hernández-Castillo, FD; Díaz-Jiménez, L; Villarreal-Quintanilla, JA; Flores-López, ML; Carrillo-Lomelí, DA; Peña-Ramos, FM. 2019. Antifungal activity of *Juglans* spp. and *Carya* sp. ethanol extracts against *Fusarium oxysporum* on tomato under greenhouse conditions. *Industrial Crops and Products* 138(May):111442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.005>.
- Kappel, VD; Costa, GM; Scola, G; Silva, FA; Landell, MF; Valente, P; Souza, DG; Vanz, DC; Reginatto, FH; Moreira, JCF. 2008. Phenolic content and antioxidant and antimicrobial properties of fruits of *Capsicum baccatum* L. var. *pendulum* at different maturity stages. *Journal of Medicinal Food* 11(2):267-274. DOI: <https://doi.org/10.1089/jmf.2007.626>.
- Khafari, AZ; Bahraminejad, S; Abbasi, S. 2014. Evaluation of the anti-*alternaria solani* activity of *allium hirtifolium* boiss. *Pakistan Journal of Botany* 46(2):741-747.
- Leon Duran, M; Mancheno Cardenas, M. 2021. Actividad antifúngica de compuestos frente a *Fusarium graminearum* Antifungal activity of tara (*Caesalpinia spinosa*) Phenolic compounds against *Fusarium graminearum* 12(1):39-50.
- Leos, C. 2010. Estudio de la actividad biológica de los extractos de tres plantas de la familia Boraginaceae por (en línea). s.l., Universidad Autónoma de Nuevo León. 108 p. Consultado 20 ene. 2020. Disponible en <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/2166>
- Lizcano González, MC. 2007. Evaluación de la actividad antifúngica del extracto de tomillo (*Thymus vulgaris*) contra *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* y *Sclerotinia sclerotiorum*. Bogota, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana 71 p.
- Lock, O; Perez, E; Villar, M; Flores, D; Rojas, R. 2016. Bioactive compounds from plants used in peruvian traditional medicine. *Natural Product Communications, USA*. p. 1-10.
- Lock, OR. 2016. Investigación Fitoquímica. Métodos en el estudio de productos naturales. Pontificia Universidad Católica del Perú (ed.). Lima, Peru, Pontificia Universidad Católica del Perú. 287 p.
- Mahlo, SM; Mcgaw, LJ; Eloff, JN. 2010. Antifungal activity of leaf extracts from South African trees against plant pathogens. *Crop Protection* 29(12):1529-1533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.08.015>.
- Marquez-Vizcaino, R; De la Rosa-Torres, C; Mercado-Pérez, A. 2007. Actividad antifúngica del extracto total en etanol de las hojas frescas de *pedilanthus tithymaloides* L poit (ultimorrial). *Scientia et Technica* 1(33):155-159. DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.6171>.
- Mesa, A; Marin Pavaas, D; Ocampo, O; Calle, J; Monsalve, Z. 2019. Fungicidas a partir de extractos vegetales: Una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 45(1):23-30.
- Mhamdi, B; Wannes, WA; Bourgou, S; Marzouk, B. 2009. Biochemical characterization of borage (*Borago officinalis* L.) seeds. *Journal of Food Biochemistry* 33(3):331-341. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00221.x>.
- Miceli, A; Aleo, A; Corona, O; Sardina, MT; Mammina, C; Settanni, L. 2014. Antibacterial activity of *Borago officinalis* and *Brassica juncea* aqueous extracts evaluated invitro and *in situ* using different food model systems. *Food Control* 40(1):157-164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.12.006>.
- Moreno-Velanda, CA; Cotes, AM; Beltrán-Acosta, C; Bettiol, W; Elad, Y. 2018. Control biológico de fitopatógenos del suelo. s.l., Agrosava. p. 204.
- Moreno, JP. 2011. Actividad antifúngica de los extractos vegetales de *Piper eriopodon* y *Zanthoxylum monophyllum* y sus metabolitos secundarios mayoritarios sobre dos hongos fitopatógenos de clavel (*Dianthus caryophyllus*). s.l., Universidad Nacional de Colombia. 159 p.

- Nabavi, SM; Ebrahimzadeh, MA; Nabavi, SF; Jafari, M. 2008. Free radical scavenging activity and antioxidant capacity of *Eryngium caucasicum* Trautv and *Frörpia subpinnata*. *Pharmacologyonline* 3:1925.
- Navarrete, KB; Jaramillo, CJ; Martín, DS; D'Armas, H. 2017. Estudio de la calidad bacteriológica de doce plantas medicinales de uso común en Ecuador (en línea). *Facsalud-Unemi* 1(1):12-17. Consultado 15 nov. 2019. Disponible en <http://ojs.unemi.edu.ec/ojs/index.php/facsalud-unemi/article/view/539/452>
- Nieto-Navarro, F. 2012. Evaluación de la actividad antifúngica de plantas medicinales de baja californiana sur contra *Fusarium oxysporum* en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). s.l., Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S, Mexico. 58 p.
- Nychas, GJE. 1995. Natural antimicrobials from plants. s.l., s.e. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2105-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2105-1_4).
- Okwu, D; Nmamdi, FU. 2008. Evaluation of the chemical composition of *Dacryodes edulis* and *Raphia hookeri* mann and wendl exudates used in herbal medicine in south eastern nigeria. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines* 5:194-200.
- Pal, KK; Gardener, BM. 2006. Biological Control of Plant Pathogens. *The Plant Health Instructor* p. 1-25. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHI-A-2006-1117-02>.
- Pavón-Moreno, MÁ; González-Alonso, I; Martín de Santos, R; García-Lacarra, T. 2012. Importancia del género *Alternaria* como productor de micotoxinas y agente causal de enfermedades humanas. *Nutricion Hospitalaria* 27(6):1772-1781. DOI: <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.6.6017>.
- Pietarinen, SP; Willför, SM; Vikström, FA; Holmbom, BR. 2006. Aspenknots, arichsourceofflavanoids. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 26(3):245-258. DOI: <https://doi.org/10.1080/02773810601023487>.
- Rangel-Castillo, A. Eugenia; Valadez-Moctezuma, Ernestina; Lozoya Saldaña, H. 2017. Caracterización molecular y patogénesis de *Fusarium* asociado al amarillamiento del trigo *Fusarium* associated to wheat yellowing. *Rev. Fitotec. Mex* 40(4):439-450.
- Ratz-Lyko, A; Herman, A; Arct, J; Pytkowska, K. 2014. Evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of *Oenothera biennis*, *Borago officinalis*, and *Nigella sativa* seedcake extracts. *Food Science and Biotechnology* 23(4):1029-1036. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0140-2>.
- Ravindran, R; Juliet, S; Gopalan, AKK; Kavalimakkil, AK; Ramankutty, SA; Nair, SN; Narayanan, PM; Ghosh, S. 2011. Toxicity of DMSO, Triton X 100 and Tween 20 against *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus*. *Journal of Parasitic Diseases* 35(2):237-239. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12639-011-0054-3>.
- Reddy, MK; Gupta, SK; Jacob, MR; Khan, SI; Ferreira, D. 2007. Antioxidant, antimalarial and antimicrobial activities of tannin-rich fractions, ellagitannins and phenolic acids from *Punica granatum* L. *Planta Medica* 73(5):461-467. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2007-967167>.
- Robles, M; Aguilar, J; Gutiérrez, M; Rodríguez, F; Morales, J; Guerrero, P; Madrigal, J; Del Toro, C. 2016. Identificación cualitativa de metabolitos secundarios y determinación de la citotoxicidad de extractos de tempisque (*Sideroxylum capiri* Pittier). *Biocencia XVIII* (3):3-8. DOI: <https://doi.org/10.18633/BIOTECNIA.V18I3.328>.
- Rodríguez-Maturino, A; Troncoso-Rojas, R; Sánchez-Estrada, A; González-Mendoza, D; Ruiz-Sánchez, E; Zamora-Bustillos, R; Ceceña-Duran, C; Grimaldo-Juárez, O; Aviles-Marin, M. 2015. Efecto antifúngico de extractos fenólicos y de carotenoides de chiltepin (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) en *Alternaria alternata* y *Fusarium oxysporum*. *Revista Argentina de Microbiología* 47(1):72-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2014.12.005>.
- Saadatian, M; Aghaei, M; Farahpour, M; Aghaei, M. 2017. Chemical Compositions of Flowers extract of Borage (*Borago officinalis* L.) in wild population from Urmia district, Iran. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants* 20(1):289-292. DOI: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2015.1086283>.
- Salazar-González, C; Serna-Cock, L; Gómez-López, E. 2016. Caracterización molecular de *Fusarium* asociado a pudrición basal del fruto en pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Agronomía Mesoamericana* 27(2):277. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.21269>.
- Salazar, C. 2016. Caracterización molecular y morfológica de aislamientos de *Fusarium* spp. productores de micotoxinas (en línea). s.l., Universidad Nacional de Colombia. 103 p. Consultado 06 dic. 2019. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/53757/>
- Sánchez-Recillas, A; Aragón-Castillo, SL; Arroyo-Herrera, AL; Araujo-León, JA; Ortiz-Andrade, RR. 2020. Efecto espasmolítico y antibacteriano de la especie *Bursera graveolens* (Kunth). *Polibotánica* 0(49):135-147. DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.9>.
- Saúl, J; Pérez, B; Montes-belmont, R; Ayala, FC; Flores-moctezuma, HE; Angel, M; Cruz, S. 2011. Propiedades antifúngicas en especies del género *Tagetes*. *Revista Mexicana de Micología* 34:83-88.
- Segovia, F; Lupo, B; Peiró, S; Gordon, MH; Almajano, MP. 2014. Extraction of antioxidants from borage (*Borago officinalis* L.) leaves—optimization by response surface method and application in oil-in-water emulsions. *Antioxidants* 3(2):339-357. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox3020339>.
- Simpson, MJA. 1993. A description and code of development of borage *Borago officinalis*. *Annals of Applied Biology* 123(1):187-192. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04085.x>.

- Siva, N; Ganesan, S; Banumathy, N. 2008. Antifungal effect of leaf extract of some medicinal plants against *Fusarium oxysporum* causing wilt disease of *Solanum melogena* L. *Ethnobotanical Leaflets* 12:156-163.
- Soylu, EM; Kurt, Ş; Soyly, S. 2010. In vitro and in vivo antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis cinerea*. *International Journal of Food Microbiology* 143(3):183-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.08.015>.
- Tirumale, S; Wani, N. 2018. Biological control of phytopathogenic fungi using different extracts of *Chaetomium cupreum*. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* 11(9):328-332. DOI: <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i9.26836>.
- Vanegas Berrouet, KM; Gutiérrez Sánchez, PA; Marín Montoya, MA. 2014. Molecular Identification of Fungi Isolated from Bean Tissues with Anthracnose Symptoms. *Acta Biológica Colombiana* 19(2):143. DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v19n2.39154>.
- Villavicencio, SA. 2013. Identificación molecular de aislados de hongos nematófagos asociados a *Meloidogyne hapla* Chitwood. (en línea). s.l., Universidad Austral de Chile. 66 p. Consultado 06 dic. 2019. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/myaccess.library.utoronto.ca/pubmed/11720961>
- White, TJ; Bruns, T; Lee, S; Taylor, J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-372180-8.50042-1>.
- Zemmouri, H; Ammar, S; Boumendjel, A; Messarah, M; El Feki, A; Bouaziz, M. 2014. Chemical composition and antioxidant activity of *Borago officinalis* L. leaf extract growing in Algeria. *Arabian Journal of Chemistry* 12(8):1954-1963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.11.059>.
- Zheng, W; Wang, S. 2007. Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry* 105(3):940-949. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.038>.





## EVALUACIÓN DE TAMAÑO DE CLADODIOS Y BIO-ESTIMULANTES DE ENRAIZAMIENTO PARA LA PROPAGACIÓN DE PITAHAYA

*Gabriel Garbanzo-León<sup>1</sup>, Edgar V. Vega-Villalobos<sup>2</sup>, Jocelyn Rodríguez-Cisneros<sup>3</sup>, Cesar Urbina-Briceño<sup>4</sup>, Wendy Lázaro-Rojas<sup>5</sup>, Karla Alvarado-Jara<sup>6</sup>, Ronald Barrientos-Bolaños<sup>7</sup>, Krissia Duarte-Ortiz<sup>8</sup>, Jairo Mora-Prendas<sup>9</sup>, Victor Trujillo-Olivas<sup>10</sup>, Jocelyn Rojas-Varela<sup>11</sup>*

**Palabras clave:** Hylocereus; brotación; esquejes; hormonas; alometría.

**Keywords:** Hylocereus; shoots; cuttings; hormone; allometry.

**Recibido:** 14/12/2020

**Aceptado:** 15/03/2021

### RESUMEN

**Introducción.** La pitahaya, que pertenece a la familia de las cactáceas, es una fruta exótica de múltiples usos gastronómicos y nutracéuticos, y se consume desde tiempos precolombinos. En Costa Rica su consumo no es tradicional y el cultivo comercial no es muy conocido por los agricultores, por lo que es necesario estimular el interés como cultivo alternativo y económicamente rentable principalmente para la región Chorotega y Región Pacífico Central. **Objetivo.** Evaluar el efecto de diferentes tamaños de cladodios y soluciones naturales (bioestimulantes),

### ABSTRACT

**Cladode size and rooting biostimulants evaluation for the propagation of dragon fruit. Introduction.** Dragon fruit, which belongs to the cactacea family, is an exotic fruit with multiple gastronomic and nutraceutical uses, and has been consumed since pre-Columbian times. In Costa Rica its consumption is not traditional and commercial cultivation is not well known by farmers, thus it is necessary to stimulate interest as an alternative and economically profitable crop, mainly for the Chorotega and Central Pacific region. **Objective.** To evaluate the effect

\* Autor para correspondencia: Correo electrónico: [juan.garbanzo@ucr.ac.cr](mailto:juan.garbanzo@ucr.ac.cr)

1 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.  
 0000-0003-2848-6199.

2 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Departamento de Cultivos, San José, Costa Rica.  
 0000-0002-5678-1710.

3 Ministerio de Agricultura y Ganadería, Departamento de Control Fitosanitario, Servicio Fitosanitario de Estado, San José, Costa Rica.  
 0000-0001-7249-9988.

4 Universidad de Costa Rica Sede de Guanacaste, Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.  
 0000-0001-9305-5059.

5 Ministerio de Agricultura y Ganadería, Departamento de Control Fitosanitario, Servicio Fitosanitario de Estado, San José, Costa Rica.  
 0000-0002-8914-446X.

6 Universidad de Costa Rica Sede de Guanacaste, Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

 0000-0002-2385-539X.

7 BioEco, Departamento Técnico y Ventas, Alajuela, Costa Rica.

 0000-0003-3823-6628.

8 Universidad de Costa Rica Sede de Guanacaste, Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

 0000-0001-7808-859X.

9 Universidad de Costa Rica Sede de Guanacaste, Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

 0000-0002-6195-935X.

10 Inversiones Guanaranja S.A., Departamento de Agronomía, Finca Birmania, Guanacaste, Costa Rica.

 0000-0002-2160-0916.

11 NICOVERDE S.A. Departamento de Producción y Sistema de Gestión Integrado, Alajuela, Costa Rica.

 0000-0002-7647-8698.

sobre el crecimiento, desarrollo de raíces y brotes. **Materiales y métodos.** El experimento se desarrolló en la Finca Experimental de Santa Cruz de la Universidad de Costa Rica, durante 2016 – 2017. Se desarrollaron dos experimentos; en el primero se utilizaron cladodios de 40 cm bajo tres soluciones naturales (agua de pipa, coco y lentejas) a concentraciones de 150, 300 y 600 ml.L<sup>-1</sup>. En el segundo, se evaluó el tamaño de los cladodios entre los 20 y 110 cm. Todos los cladodios se sembraron durante 60 días en bolsas de vivero (2 L) y luego se midió el largo y ancho del brote, longitud y número de raíces, peso seco y fresco de raíces, y la medida alométrica “LxA”. **Resultados.** La solución con agua de coco a 300 y 600 ml.L<sup>-1</sup> mostró 8 cm más de longitud del brote que el testigo, mientras que el agua de pipa a 300 ml.L<sup>-1</sup> evidenció el mayor peso seco y fresco de las raíces. Asimismo, se demostró que a un mayor tamaño del cladodio se presenta una mayor brotación. **Conclusión.** Tamaños de cladodios de 400 cm<sup>2</sup> en LxA (> 60 cm) garantiza el mejor desarrollo de la semilla asexual y los cladodios que presenten un área de 200 y 400 cm<sup>2</sup> (≈ 30 - 60 cm) son de calidad media.

of different cladode sizes and natural solutions (biostimulants) on growth, root development and shoots. **Material and methods.** The experiment was conducted at the Santa Cruz Experimental Farm of the University of Costa Rica, during 2016 and 2017. Two experiments were developed; in the first, 40 cm cladodes were used under three natural solutions (green coconut water, mature coconut water, and lentil extract) at concentrations of 150, 300 and 600 ml.L<sup>-1</sup>. In the second, cladode size between 20 and 110 cm was evaluated. All cladodes were sown for 60 days in nursery bags (2 L) and then length and width of the shoots, length and number of roots, dry and fresh weight of roots, and the allometric measurement “LxA” were measured. **Results.** The solution with mature coconut water at 300 and 600 ml.L<sup>-1</sup> showed 8 cm longer shoots than the control, while green coconut water at 300 ml.L<sup>-1</sup> showed the highest dry and fresh root weight. Likewise, it was shown that a larger cladode size presents greater shoots. **Conclusion.** Cladode size of 400 cm<sup>2</sup> in LxA (> 60 cm) guarantee the best development of the asexual seed and cladodes with an area of 200 – 400 cm<sup>2</sup> (≈ 30 - 60 cm) are of medium quality.

## INTRODUCCIÓN

Los géneros *Hylocereus* sp. y *Selenicereus* sp. son Cactaceae que se utilizan para la producción de frutas exóticas. Estas plantas conocidas por el nombre de “Pitahaya” o “Dragon fruit”, son cultivadas en regiones tropicales (Flores 2011, Esquivel y Araya 2012). Crecen en regiones estacionalmente secas, su cosecha es anual, ya que su floración activa y fructificación se presentan entre mayo y noviembre de forma natural. Las especies predominantes en Costa Rica son: *H. costaricensis*, *H. stenopterus* y *H. monacanthus* (Bauer 2003) con variaciones de forma fenotípica en algunas estructuras como

colores, grosor, configuración de espinas, areolas o tamaños en las frutas entre otros.

La planta es un cactus de forma epífita o hemiepífita, lo que favorece su adaptabilidad en los sitios donde crece, ya sea en bosques o en superficies compactas (Mizrahi 2014). Las personas agricultoras utilizan comúnmente estructuras para guiar su crecimiento, como tutores vivos que pueden ser árboles con baja cantidad de sombra o muertos como postes de madera o de concreto. La planta al ser un cultivo perenne, necesita tutores de alta resistencia y durabilidad en el tiempo, ya que se han encontrado plantaciones con más de 30 años de existencia en Costa Rica.

El cultivo puede reproducirse sexual y asexualmente. Los agricultores en Costa Rica comercializan los tallos de la pitahaya conocidos comúnmente como cladodios. En ocasiones se utilizan bolsas de viveros para la brotación de raíces; en otras ocasiones utilizan camas en el suelo, o bien se siembran directamente en el terreno posterior a su poda. Los tallos presentan estructuras muy definidas en su dureza y edad. Se clasifican en 4 categorías: a) primarios que son los tallos basales generalmente de la semilla asexual que se utilizó para sembrar la planta; b) secundarios, que corresponden a una continuación de los brotes de los tallos primarios; c) terciarios, correspondientes a los tallos que hacen una bifurcación cuando llegan a la parte superior del tutor vivo o muerto; d) cuaternarios, que brotan de los tallos terciarios, en ocasiones por reacciones de poda o inducción de las yemas por alguna anomalía en tallo terciario, muchos productores les llaman chupones (Suárez 2011). Estos tallos no tienen un tamaño definido, por lo cual se pueden encontrar de distintos tamaños, grosor y aristas (Garbanzo *et al.* 2019).

El uso de los cladodios para el desarrollo de nuevas plantaciones es una práctica común que se utiliza en el país. Es frecuente utilizar diferentes tamaños entre el largo y el grosor de cada tallo, sin embargo, esas características no poseen parámetros de calidad, en donde se establezcan medidas esenciales e ideales para determinar la calidad de las semillas asexuales utilizadas en el cultivo (Flores 2011). Algunas personas autoras mencionaron que el cultivo de la pitahaya no cuenta con medidas estandarizadas para acortar el tiempo de emisión de raíces y la formación uniforme y vigorosas de estas (Habid *et al.* 2006, López y Guido 2002).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes tamaños de cladodios y soluciones naturales, sobre el crecimiento, desarrollo de las raíces y brotes en semilla asexual de pitahaya en la zona de Guanacaste, Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el periodo 2015 – 2017 en la Finca Experimental de Santa Cruz de la Universidad de Costa Rica en la Sede de Guanacaste (FESC), localizada en Barrio Limón, dentro de un bosque tropical estacionalmente seco, con coordenadas geográficas de LN 10°17'08" y LO 85°35'30", altitud de 54 msnm, precipitación anual promedio de 1718,8 mm.año<sup>-1</sup>, temperatura máxima media anual de 32,8°C, mínima de 22,8°C con diferencia media entre máximas y mínimas de 10,0°C, humedad relativa media anual de 75% y velocidades de viento medias anuales de 8,0 km.h<sup>-1</sup> (M. Araya. 2013. Promedios mensuales de datos climáticos de la Estación meteorológica UCR-IMN N°. 74053 promedio 18 años, 1995-2012 (correo electrónico; San José, Costa Rica).

Se realizaron 2 experimentos y sus respectivas validaciones con el fin de determinar una recomendación precisa en la calidad de la semilla para siembras en pitahaya. Los tallos utilizados se obtuvieron de plantaciones de *H. costaricensis* y *H. monacanthus* ubicados en la FESC y en plantaciones comerciales en la zona de Liberia Guanacaste. Las plantas madre seleccionadas fueron aquellas que cumplieron con más de 2 años de crecimiento para garantizar una madurez fisiológica del cladodio, además que estuviera libre de patógenos, plagas y de diversos largos y grosores.

Se preparó un sustrato comúnmente utilizado en viveros para la siembra de cladodios semillas de pitahaya, para lo cual se generó una mezcla de 40% de cascarilla de arroz (granza) y un 60% de suelo oscuro (textura franca). Esto con el fin de generar un sustrato con buena aireación, consistencia y poca retención de agua para evitar patógenos. Posteriormente se llenaron bolsas de vivero de 2 L de capacidad y se dejaron por un periodo de 7 días para su estabilización bajo una casa malla. No se esterilizaron ni se realizaron análisis microbiológicos al sustrato, con el fin de simular condiciones similares a la reproducción de plantaciones en la zona.

**Efecto de soluciones naturales bioestimulantes en el crecimiento de raíces.** Se seleccionaron cladodios de 40 cm independientemente del tipo (Primario, secundarios, terciarios o cuaternarios), que fueron desinfectados con una solución al 100 SL de extracto de semilla de cítricos de efecto fungicida y bactericida en agua a una dosis de 5,0 ml.L<sup>-1</sup> de agua durante 7 minutos. Posteriormente fueron colocados en una zona aireada y bajo sombra durante 24 horas para ayudar a la cicatrización.

Para la elaboración de las soluciones bioestimulantes de enraizamiento, se preparó una solución de lentejas, se extrajo agua de coco y de pipa (coco sin madurez fisiológica), utiliza de forma habitual por los agricultores de la zona. El extracto de lentejas se elaboró con una tasa de ese grano en un recipiente al cual se le adicionaron 4 tasas de agua y se dejó reposar por 24 horas. Después ese contenido se licuó, se filtró, se separó lo sólido

de la solución y se colocó en refrigeración. El agua de coco se extrajo de drupas que presentarían una cáscara de coloración oscura, mientras que el agua de pipa se extrajo de drupas recién cosechadas con una coloración verde y que no mostrara desarrollo de endocarpio (cartílago comestible).

Para la preparación de los tratamientos, los extractos fueron diluidos en concentraciones de 150, 300 y 600 ml.L<sup>-1</sup> con agua (Tabla 1). Para las secciones que iban a estar en contacto con el sustrato, se sumergió durante 2 minutos para cada solución correspondiente al tratamiento y luego se sembraron los cladodios en las bolsas de vivero (2 L) rellenas con el sustrato. Una vez establecidos los tratamientos los cladodios se dejaron crecer durante 60 días; se realizó un registro de datos y posteriormente se realizó otro ensayo con las mismas dosificaciones, con el fin de efectuar una validación de los datos obtenidos.

Tabla 1. Soluciones naturales utilizadas para la propagación de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en condiciones de vivero. Santa Cruz, Guanacaste. 2015.

Tratamiento	Descripción de los tratamientos	Dosis (ml.L <sup>-1</sup> )
Test	Testigo solo agua	0
SL150	Solución a base de lentejas	150
SL300	Solución a base de lentejas	300
SL600	Solución a base de lentejas	600
SAC150	Solución agua de coco	150
SAC300	Solución agua de coco	300
SAC600	Solución agua de coco	600
SAP150	Solución agua de pipa	150
SAP300	Solución agua de pipa	300
SAP600	Solución agua de pipa	600

A los 60 días después de sembrado (dds), se realizó un muestreo destructivo de las plantas. Para mantener la menor destrucción de raíces, se realizó un lavado de los adobes sobre tamiz (14 Merch), con la precaución de no perder raíces durante la ejecución. Se midió el largo de las raíces desde la base del tallo hasta el meristemo de la raíz más larga, con una escala en centímetros.

También se obtuvo el peso fresco de las raíces de cada cladodio y se pesaron con una balanza digital (marca T-Scale, modelo ROW -15++). Adicionalmente las raíces se secaron a 70°C durante 48 horas en un horno (resistencia 1800 Watts, potencia 208v monofásico temperatura 0 – 150 °C) y por último, se obtuvo el peso seco de las raíces, todo el procedimiento se realizó en la FESC.

**Efecto del tamaño del cladodio sobre la brotación en las plantas.** Para las pruebas de brotación donde se utilizaron distintos tamaños de cladodios, se procedió a seleccionar materiales de distinto grosor y tamaño. Esta prueba consistió en 2 etapas. Experimento A, donde se evaluó la brotación entre 20 y 50 cm de longitud, según el tamaño usado por las personas productoras. Experimento B, se experimentó con cortes entre los 40 y 110 cm. Para ambas pruebas se obtuvieron cladodios frescos, es decir, se cosecharon y se sembraron el mismo día. Estos fueron medidos con

una cinta métrica y cortado según el tamaño correspondiente a cada tratamiento (Tabla 2). Cada cladodio fue desinfectado con un extracto de semilla de cítricos de efecto fungicida y bactericida (100 SL), a una dosis de 5,0 ml.L<sup>-1</sup> en mezcla con agua. Individualmente para la sección que estuvo en contacto con el sustrato, fue sumergida durante 7 minutos y se dejó reposar durante 60 minutos antes de ser sembrado en las bolsas de vivero de 2 L. Los cladodios utilizados en ambos experimentos se dejaron crecer durante 60 días y se evaluaron mediante muestreos destructivos.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos utilizados para la propagación de pitahaya roja (*Hylocereus* sp.) en condiciones de vivero. Santa Cruz, Guanacaste. 2015.

Experimento A		Experimento B	
Tratamiento	Longitud de corte (cm)	Tratamiento	Longitud de corte (cm)
Long 20	20	Long 40	40
Long 25	25	Long 50	50
Long 30	30	Long 60	60
Long 35	35	Long 70	70
Long 40	40	Long 80	80
Long 45	45	Long 90	90
Long 50	50	Long 100	100
-	-	Long 110	110

Las variables de crecimiento evaluadas fueron el largo y ancho de los brotes, número, longitud, peso fresco y seco de las raíces por planta a los 60 dds. Para esto se procedió a medir el grosor del brote en las 3 caras del cladodio a partir de una medición ascendente, luego se promediaron los datos para estimar un parámetro

promedio por cladodio. Asimismo, se midió el largo del brote que consistió en medir desde la base del brote hasta el meristemo apical. Para unir ambos factores, se realizó una multiplicación del largo x ancho (LxA) para generar un parámetro ajustado de crecimiento y luego calcular el área foliar mediante la ecuación de regresión:

$Y = 3,00074x + 10,76532$  ( $r^2 = 0,97$ ), donde “X” es el LxA y “Y” es el área foliar (Garbanzo *et al.* 2019).

Adicionalmente, se pesaron las raíces de cada repetición mediante una balanza digital (marca T-Scale, modelo ROW -15++), con el fin de estimar el peso fresco de las raíces. Por último, los brotes y las raíces se secaron a 70°C durante 48 horas y se obtuvo la variable peso seco.

**Análisis de los datos.** El diseño experimental para todos los experimentos fue un diseño irrestricto completamente al azar, con 10 tratamientos y 10 repeticiones para el experimento de extractos naturales en el crecimiento de raíz, 7 tratamientos con 10 repeticiones para el “experimento A” y 8 tratamientos con 10 repeticiones para el “experimento B” sobre tamaño del cladodio y brotación. Las variables fueron analizadas mediante pruebas de Shapiro Will para determinar la normalidad de los datos y posteriormente fueron sometidos a pruebas estadística de Kruskal Wallis ( $\alpha= 0,05$ ) para determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos. También se realizó un análisis de regresión lineal para algunas variables mediante el modelo estadístico:

$$y = \beta + \beta_1 X + \varepsilon$$

Donde

y = variable dependiente “peso seco del brote”.

X = variable independiente “LxA semilla cladodio”.

$\beta$  y  $\beta_1$  constantes del modelo.

$\varepsilon$  = error.

Todos los datos fueron calculados mediante el programa estadístico Infostat versión 2017.

## RESULTADOS

**Efecto de soluciones naturales en el crecimiento de raíces de los cladodios.** Las soluciones naturales de lentejas, agua de coco y pipa mostraron un aumento en el desarrollo de raíces (Tabla 3). Al evaluar el primer experimento la longitud de raíces brotadas de los cladodios no mostró un efecto significativo, solo una tendencia de mayor longitud ( $> 14,20$  cm) en las soluciones de agua de coco, pipa y lentejas en comparación al testigo (11,25 cm). Los tratamientos SAC600, SAP150, SAP600, SL150 y SL300 mostraron un mayor número de raíces ( $> 6,20$ ) significativamente ( $p<0,01$ ) que las demás soluciones ( $< 5,70$ ) y el agua (3,60). Las soluciones SAC300 y SL150 mostraron el mayor peso fresco de raíz (7,90 y 6,05 g) que los demás tratamientos, mientras que el peso seco de raíces no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 3. Efecto y validación de 3 distintas concentraciones de lentejas, agua de coco y agua de pipa sobre el crecimiento de raíces en cladodios sembrados en viveros de pitahaya. Santa Cruz, Guanacaste.

Tratamientos	Longitud raíz (cm)	Número raíces (u)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco raíz (g)
Experimento 1				
Test (agua)*	11,25 <sup>+</sup>	3,50 ab	2,53 a	1,31
SL150	23,10	6,20 bc	6,02 bc	3,03
SL300	20,80	6,50 bc	4,35 b	2,36
SL600	14,20	3,10 a	2,89 ab	1,56
SAC150	19,20	5,10 ab	5,03 b	2,51
SAC300	21,15	5,10 ab	3,77 ab	2,29
SAC600	20,20	7,60 c	7,90 c	3,48
SAP150	18,25	7,90 c	4,74 b	2,68
SAP300	20,35	5,70 ab	3,81 ab	1,93
SAP600	26,20	6,80 bc	3,88 ab	2,36
Shap. Wilks	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p-value	< 0,1316	< 0,0093	< 0,0551	< 0,2203
Validación				
Test	23,58 a	3,17 ab	3,28 a	0,37 a
SL150	23,42 a	4,50 de	4,24 ab	0,59 bc
SL300	25,08 a	5,33 e	4,86 ab	0,68 bc
SL600	30,92 cd	2,58 a	5,09 bc	0,60 bc
SAC150	26,58 ab	3,75 cd	4,11 ab	0,54 ab
SAC300	31,75 d	3,83 cd	5,04 bc	0,70 bc
SAC600	31,08 d	4,67 de	4,75 ab	0,66 bc
SAP150	27,67 bc	3,83 cd	5,51 bc	0,81 cd
SAP300	25,50 ab	5,33 e	9,76 d	1,18 d
SAP600	25,83 ab	3,50 ab	6,94 cd	0,74 cd
Shap. Wilks	0,290	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p-value	< 0,014	< 0,001	< 0,001	< 0,001

\* Test= control 100% agua, SL= solución de lentejas, SAC= soluciones de agua de coco, SAP= solución de agua de pipa. En concentraciones de 150, 300 y 600 mL.L<sup>-1</sup>.

+ Medias seguidas por una misma no representan diferencias estadísticas según la prueba de Kruskal Wallis ( $\alpha = 0,05$ ).

Se realizó una validación del efecto de los extractos naturales en el crecimiento de las raíces de los cladodios y se observó un mayor incremento con el uso de las soluciones. Los tratamientos con soluciones SAC300 (31,75 cm) y SAC600 (31,08 cm) presentaron mayor longitud de raíces en comparación al testigo (23,58 cm). Mientras que la solución SAP300 y SL300 mostró la mayor presencia de raíces (>5,33) en comparación al resto de las soluciones. En la biomasa de las raíces, la solución SAP300 mostró el mayor peso fresco y seco (9,76 y 1,18 g) significativamente ( $p < 0,01$ ) en comparación a los demás y el tratamiento testigo (100% agua) fue el que mostró menos biomasa de raíces.

**Efecto del largo del cladodio sobre la brotación en viveros de pitahaya.** El tamaño del cladodio tuvo un efecto altamente significativo ( $p < 0,001$ ) en el crecimiento de los brotes. Al

evaluar el tamaño de las semillas de cladodios de pitahaya se encontró una relación proporcional creciente ( $coe = 0,98$ ,  $r^2 = 0,96$ ) entre la longitud del cladodio y la variable largo por ancho (LxA) en la semilla (Tabla 4). En el experimento A, se encontró que los cladodios con una longitud mayor de 40 cm mostraron el mayor largo de brote (>50,25 cm) significativamente ( $p < 0,01$ ) en comparación al largo de los brotes (<30,20 cm) de los cladodios por debajo de 35 cm de longitud. Este mismo comportamiento se encontró en las variables: ancho (>4,47 cm), LxA (>298 cm<sup>2</sup>) y área foliar del brote (>728,5 cm<sup>2</sup>) significativamente ( $p < 0,01$ ). En el experimento B, se encontró que la brotación en los cladodios de 90 cm de largo (o un LxA mayor a 500 cm<sup>2</sup>) mostró el mayor largo (>63 cm), ancho (>8,25 cm), LxA (>587 cm) y área foliar del brote (>7570 cm<sup>2</sup>) en comparación al resto de los tratamientos.

Tabla 4. Efecto del largo del cladodio sobre la emergencia del brote en viveros de pitahaya. Santa Cruz, Guanacaste.

Tratamiento	LxA Cladodio (cm <sup>2</sup> )	Largo Brote (cm)	Ancho Brote (cm)	LxA Brote (cm <sup>2</sup> )	Área foliar Brote (cm <sup>2</sup> )
----- Experimento A -----					
Long 20*	73	19,45 a <sup>+</sup>	2,70 a	53,73 a	172,01 a
Long 25	90	28,77 a	2,85 a	81,37 a	254,89 a
Long 30	104	24,40 a	2,85 a	76,78 a	241,12 a
Long 35	113	30,20 a	3,92 ab	111,01 ab	343,82 ab
Long 40	140	50,25 b	4,47 bc	298,07 bc	878,15 bc
Long 45	167	51,50 b	4,58 bc	239,19 bc	728,50 bc
Long 50	200	53,70 b	5,85 c	262,85 c	799,49 c
Shap. Wilks		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p-value		< 0,002	< 0,004	< 0,001	< 0,001
----- Experimento B -----					
Long 40	238	38,00 a	5,99 ab	243,19 a	740,51 a
Long 50	268	46,86 ab	5,71 a	316,67 a	961,01 a
Long 60	394	45,00 a	6,94 ab	343,78 ab	1042,36 ab
Long 70	402	46,57 a	7,40 ab	423,47 ab	1279,94 ab
Long 80	445	58,71 ab	6,64 ab	716,50 ab	2156,73 ab
Long 90	514	131,43 c	17,51 c	2519,26 c	7570,41 c
Long 100	562	63,00 ab	8,25 ab	587,36 ab	1773,27 ab
Long 110	610	93,57 bc	12,75 bc	1422,92 bc	4280,58 bc
Shap. Wilks		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p-value		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

\*Long= longitud del cladodio a: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 cm. +Medias seguidas por una misma no representan diferencias estadísticas según la prueba de Kruskal Wallis ( $\alpha= 0,05$ ).

Los cladodios al presentar mayor tamaño en función de su ancho y largo tienen un comportamiento a mayor acumulación de biomasa fresca y seca en sus brotes. (Figura 1). Las regresiones lineales demostraron que el largo de la semilla tiene

un efecto significativo ( $r^2 = 0,86$ ) en la acumulación de biomasa seca (peso seco de brote), este mismo efecto se encontró cuando se compararon ( $r^2 = 0,83$ ) el ancho y el largo (LxA) de los cladodios semilla con relación en el peso seco del brote.

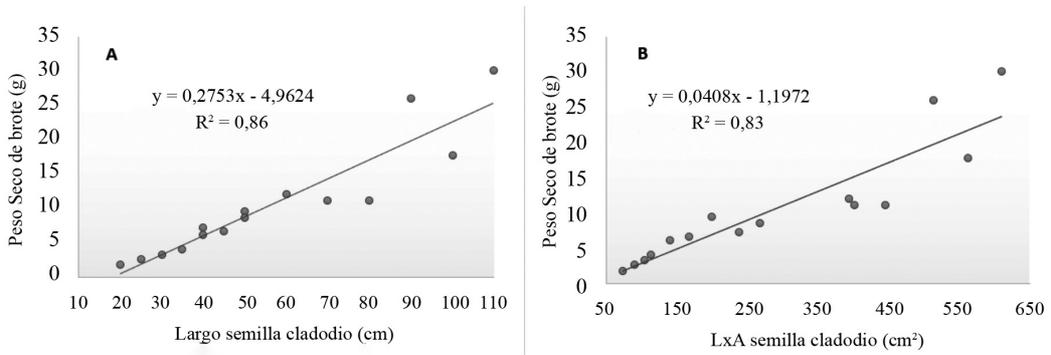


Figura 1. Regresión lineal del largo (A) y LxA (B) de semilla cladodio en la producción de biomasa seca de brote de pitahaya en viveros. Santa Cruz, Guanacaste.

Los cladodios al presentar mayor ancho y largo presentaron un comportamiento creciente en la biomasa de raíces (Tabla 5). Al evaluar el efecto del tamaño de cladodios semilla entre 20 y 50 cm de longitud en el crecimiento de las raíces, se encontró un mayor peso fresco y seco en las raíces ( $p < 0,01$ ). Esto se demostró al analizar estadísticamente

los tamaños de 45 y 50 cm en comparación a semillas de menor longitud. En el experimento B, al analizar los tamaños entre 40 y 110 cm de longitud, se encontró que las semillas superiores a 90 cm mostraron el mayor peso fresco y seco de raíces ( $p < 0,01$ ) en comparación a tamaños de cladodios inferiores 80 cm en su longitud.

Tabla 5. Efectos del largo del cladodio sobre el crecimiento de las raíces de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en viveros a los 60 días después de siembra.

Experimento A				Experimento B			
Tratamientos	LxA Cladodio (cm <sup>2</sup> )	Peso fresco raíz (g)	Peso seco raíz (g)	Tratamientos	LxA Cladodio (cm <sup>2</sup> )	Peso fresco raíz (g)	Peso seco raíz (g)
Long 20*	73	1,13 a+	0,39 a	Long 40	238	21,57 c	2,80 a
Long 25	90	1,43 ab	0,54 b	Long 50	268	25,59 c	3,83 ab
Long 30	104	1,77 bc	0,74 b	Long 60	394	49,67 b	6,82 bc
Long 35	113	2,34 de	1,05 c	Long 70	402	35,72 bc	4,49 ab
Long 40	140	2,09 cd	0,97 c	Long 80	445	50,26 b	6,53 bc
Long 45	167	2,52 de	1,11 d	Long 90	514	67,40 a	9,16 de
Long 50	200	3,56 e	1,54 d	Long 100	562	70,82 a	13,94 e
-	-	-	-	Long 110	610	71,33 a	11,57 de
Shap. Wilks	-	< 0,001	< 0,015	Shap. Wilks	-	< 0,001	< 0,015
p-value	-	< 0,001	< 0,001	p-value	-	< 0,001	< 0,001

\*Long= longitud del cladodio a: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 cm.

+Medias seguidas por una misma no representan diferencias estadísticas según la prueba de Kruskal Wallis ( $\alpha = 0,05$ ).

## DISCUSIÓN

Se encontró que las soluciones naturales tuvieron un efecto positivo en el crecimiento de las raíces y brotación de los cladodios de pitahaya en viveros. Se observó que el agua de coco en solución mostró un incremento significativo en el crecimiento de raíces y brotes. El uso de estos productos es muy utilizado por productores en las zonas rurales para estimular el desarrollo de raíces en esquejes y semillas con el fin de evitar el uso de insumos sintéticos. Algunas investigaciones han utilizado el agua de coco para la germinación y estimulación de los brotes, donde encontraron una mayor germinación y brotación al usar agua de coco en comparación con de ácido giberélico ( $100 \text{ mg.L}^{-1}$ ) y escarificación (Patiño *et al.* 2011). Otras personas autoras han comparado el efecto del agua de coco mezclado con otros extractos naturales (sábila), e identificaron que el agua de coco y el gel de sábila mostraron las mayores brotaciones significativamente a los 60 dds (Alvarado y Munzón 2020). Está bien demostrado el efecto del agua de coco en la estimulación del crecimiento de las células en los tejidos, debido a que contiene concentraciones importantes de auxinas, ácido abscísico, giberelina y citoquininas (Ge *et al.* 2004, Yong *et al.* 2009, García 2008, Quinto *et al.* 2009, Bertolini *et al.* 2014, Malsawmkimi-Ringphawan y Alila 2019). Estas hormonas están asociadas a la estimulación en los meristemos apicales en los procesos de elongación, división y diferenciación celular, que promueven el crecimiento de las raíces y brotes en las plantas (Chapman y Estelle 2009, Zhao 2010, Bellini *et al.* 2014, Alcántara *et al.* 2019).

Dicho aspecto podría apuntar al efecto positivo que mostró el agua de coco en el aumento del número de raíces y peso en los cladodios con soluciones concentradas de agua de coco y pipa. Es importante mencionar que este trabajo no identificó cualitativamente los compuestos presentes (hormonas) en las distintas soluciones (lentejas, agua de pipa y coco), sin embargo, la validación mostró un respaldo estadísticamente significativo ( $p < 0,01$ ) sobre el efecto en el crecimiento de raíces y la brotación en cladodios de pitahaya.

Se encontró que los cladodios de pitahaya de mayor tamaño presentaron una mejor brotación y crecimiento. Al analizar el crecimiento de distintos tamaños de cladodios en vivero se encontró una relación proporcional al comparar el tamaño o el largo por ancho del cladodio (LxA) con la brotación. Con la regresión lineal se demostró que tanto el tamaño como el grosor tienen un efecto significativo ( $p < 0,01$ ) en la brotación. Es probable que los cladodios de mayor dimensión guarden mayor cantidad de asimilados de reserva que ayude al esqueje a brotar con mayor rapidez (Álvarez-Herrera *et al.* 2007, Melnyk 2017). Balaguera *et al.* (2010) encontraron el mismo efecto al usar tamaños de 40 cm y 60 cm en *Selenicereus megalanthus* Haw, (pitahaya de frutos amarillos) con el uso de dosis crecientes de ácido indolbutírico. Asimismo, es probable que los cladodios usados como semillas con mayor cantidad de  $\text{cm}^2$  de exposición (o LxA) tienen mayor probabilidad de fotosintetizar, ya que esta estructura cumple la función de generar los fotoasimilados en las plantas de pitahaya (Mizrahi *et al.* 1997, Mizrahi 2014, Li *et al.* 2019).

El uso del largo por ancho podría ser una alternativa estandarizada para evaluar la calidad de la semilla asexual del cladodio. Esta medida se ha desarrollado y usado en otros trabajos para la cuantificación del crecimiento es una variable alométrica de investigación para cuantificar el desarrollo del crecimiento en los cladodios de *Hylocereus* sp. (Garbanzo *et al.* 2019). Los parámetros más usados para la comercialización y reproducción de los cladodios es la longitud o tamaño, sin embargo, según el manejo del cultivo los cladodios en términos generales presentan tendencias a grosores heterogéneos. Es por esta razón que una buena referencia para valorar la calidad de la semilla asexual de pitahaya se encontraría con el uso del largo por el ancho (LxA), es decir un tamaño superior a  $400 \text{ cm}^2$  garantizaría un mejor desarrollo de la semilla asexual, mientras que un cladodio entre  $200 - 400 \text{ cm}^2$  se categoriza de calidad media y un cladodio menor a  $200 \text{ cm}^2$  de calidad baja. Este mismo efecto sobre el tamaño del esqueje se ha encontrado en la reproducción de otras especies (Álvarez-Herrera *et al.* 2007, Tate y Page 2018,

Rianawati 2020). En síntesis, las calidades en los cladodios semillas mostraron un comportamiento distinto en las siembras en campo, para rescatar que los de mayor tamaño, presentaron un desarrollo más rápido de las plantas de pitahaya.

## LITERATURA CITADA

- Alcantara, J; Acero, J; Alcántara, J; Sánchez, R. 2019. Principales Reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. NOVA 17(32):109-129.
- Alvarado, A; Munzón, M. 2020. Evaluación de la efectividad de gel de sábila y agua de coco como enraizantes naturales en diferentes sustratos para propagación asexual de árboles de *Ficus benjamina*. Agronomía Costarricense 44(1):65-77.
- Álvarez-Herrera, J; Rodríguez, S; Chacón, E. 2007. Efecto de diferentes tamaños de esqueje y sustratos en la propagación del Romero (*Rosmarinus officinalis* L.). Agronomía Colombiana 25(2):224-230.
- Balaguera, H; Morales, E; Almanza, P; Balaguera, W. 2010. El tamaño del cladodio y los niveles de auxina influyen en la propagación asexual de pitahaya (*Selinicereus megalanthus* Haw). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 4(1):33-42.
- Bauer, R. 2003. A synopsis of the tribe *Hylocereus* F. Buxb. Cactaceae Syst. Initiat. 17:3-63.
- Bellini, C; Pacurar, D; Perrone, I. 2014. Adventitious Roots and lateral Roots: similarities and differences. Annu. Rev. Plant. Biol. 65(1):639-666.
- Bertolini, V; Damon, A; Rojas, A. 2014. Quelato de hierro y agua de coco en la germinación in vitro de *rossioglossum grande* (Orchidaceae). Acta Agronómica 63(3):229-237.
- Chapman, E; Estelle, M. 2009. Mechanism of Auxin-regulated gene expresión in plant. Annu. Rev. Genet. 43(1):265-285.
- Esquivel, P; Araya, Y. 2012. Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. Rev. Venez. Cienc. Tecnol. Alim. 3(1):113-129.
- Flores, L. 2011. Indicadores de rentabilidad en la producción de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en San Juan Ixcaquixtla, Puebla. Tesis MSc. Texcoco, Edo. de México, México, Colegio de Postgraduados. 138 p.
- Garbanzo, G; Chavarría, G; Vega, E. 2019. Correlaciones alométricas en *Hylocereus costaricensis* y *H. monacanthus* (pitahaya): una herramienta para cuantificar el crecimiento. Agronomía Mesoamericana 30(2):425-436. DOI: 10.15517/am.v30i2.33574.
- García, M. 2008. El Cocotero, «Árbol de la vida». Revista CitriFru 25(1):65-77.
- Ge, I; Hong Yong, J; Goh, Nk; Chia, Is; Tan Sn, Ong Es. 2004. Analysis of some cytokinins in coconut (*Cocos nucifera* L.) water by micellar electrokinetic capillary chromatography after solid-phase extraction. Journal Chromatografy A. 1048(1):119-126.
- Habid, M; Geraldo, A; Aparecida, R. 2006. Enraizamiento de estacas de pitahaya vermelha en diferentes sustratos. Revista Caatinga 19(1):61-64.
- Li, Wang; Xue, Zhang; Yuhua, Ma; Yonghua, Qing; Huicong, Wang; Xuming, Huang. 2019. The highly drought-tolerant pitaya (*Hylocereus undatus*) is a non-facultative CAM plant under both well-watered and drought conditions. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 94(5):643-652. DOI: 10.1080/14620316.2019.1595747.
- López, H; Guido, A. 2002. Cultivo de la pitahaya, Guía Tecnológica N°. 6. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Managua, Nicaragua. 38 p.
- Malsawmkimi Ringphawan, W; Alila, P. 2019. Effect of varios levels of IBA and stem cutting sizes on propagation of Dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). Current Horticulture 7(1):64-68. DOI: 10.5958/2455-7560.2019.00011.6.
- Melnyk, CW. 2017. Plant grafting: insights into tissue regeneration. Regeneration. 4(1):3-14. DOI: <https://doi.org/10.1002/reg.2.71>.
- Mizrahi, T; Nerd, A; Nobe, P. 1997. Cacti as crops. Hort. Rev. 18:291-320.
- Mizrahi, Y. 2014. Vine-Cacti pitayas – the new crops of the world. Rev. Bras. Frutic. 36:124-138. DOI:10.1590/0100-2945-452/13.
- Patiño, C; Mosquera, F; González, R. 2011. Efecto inductor del agua de coco sobre la germinación de semillas y brotamiento de cormos de la hierba de la equis *Dracontium grayumianum*. Acta Biol. Colombiana 16(1):133-142.
- Quinto, L; Martínez, P; Pimentel, L; Rodríguez, D. 2009. Alternativas para mejorar la germinación de semillas de tres árboles tropicales. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 15(1):23-28.
- Rianawati, S. 2020. Effect of donor plants and rooting medium on the stem cutting propagation of faloak (*Sterculia quadrifida*). Tropical Drylands 4(2):31-35.
- Suárez, R. 2011. Evaluación de métodos de propagación en pitahaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (Haw.) Britt & Rose y pitahaya roja *Hylocereus polyrhizus* (Haw.) Britt & Rose. Tesis M.Sc. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 109 p.
- Tate, HT; Page, T. 2018. Cutting propagation of Santalum austrocaledonicum: the effect of genotype, cutting source, cutting size, propagation medium, IBA and irradiance. New Forests 49:551-570. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9638-4>.
- Yong, Jw; Ge, I; Ng, Yf; Tan, Sn. 2009. The chemical composition and biological properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) water. Molecules 14:5144-5164.
- Zhao, Y. 2010. Auxin biosynthesis and its role in plant development. Annu. Rev. Plant Biol. 61:49-64.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a [rac.cia@ucr.ac.cr](mailto:rac.cia@ucr.ac.cr)

## IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE *Meloidogyne javanica* EN UNA PLANTACIÓN DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) EN POCOCÍ, LIMÓN, COSTA RICA

Walter Peraza-Padilla<sup>1</sup>

**Palabras clave:** Nematodo agallador; patrones perineales; análisis molecular.

**Keywords:** Root-knot nematode; perineal patterns; molecular analysis.

**Recibido:** 14/07/2020

**Aceptado:** 11/12/2020

### RESUMEN

**Introducción.** *Meloidogyne* es un género de nematodos fitoparásitos de importancia agrícola mundial. La diagnosis correcta de estas debe incluir el uso de diferentes herramientas de identificación, ya que representa muchas especies. **Objetivo.** Identificar morfológica y molecularmente una población de *Meloidogyne* asociada a una parcela de papaya (*Carica papaya* L.) en Costa Rica. **Materiales y métodos.** En abril de 2015, en el cantón de Pococi-Limón, se detectaron agallas en el sistema radical de una plantación de papaya. Se recolectaron raíces agalladas y se extrajeron hembras, masas de huevos y juveniles (J<sub>2</sub>) de *Meloidogyne* sp. Se examinaron patrones perineales de hembras, así como su taxonomía. Los estadios juveniles se identificaron morfológica y molecularmente mediante PCR-RFLP. Se amplificó una región intergénica del genoma mitocondrial (COII/16S) con los imprimadores C2F3 y 1108 y se generaron productos de PCR de 1,7 kb. **Resultados.** Al tratar los productos de PCR con endonucleasas,

### ABSTRACT

**Morphological and molecular identification of *Meloidogyne javanica* in a papaya orchard (*Carica papaya* L.) in Pococi, Limon, Costa Rica.** **Introduction.** *Meloidogyne* is a genus of phytoparasitic nematodes of agricultural importance worldwide. The correct diagnosis must include the use of different identification tools, since it represents many species. **Objective.** To morphologically and molecularly identify a *Meloidogyne* population associated with a papaya (*Carica papaya* L.) plot in Costa Rica. **Materials and methods.** In April 2015, in Pococi-Limon, galls were detected in the radical system of a papaya plantation. Plant material with root galls were collected, and females, egg masses and juveniles (J<sub>2</sub>) of *Meloidogyne* sp. were extracted. Perineal patterns of females were examined as well as their taxonomy. Juvenile stages were morphologically and molecularly identified by RFLP-PCR. An intergenic region of the mitochondrial genome (COII/16S) was amplified with primers C<sub>2</sub>F<sub>3</sub> and

1 Universidad Nacional, Laboratorio de Nematología, Escuela de Ciencias Agrarias. Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: walter.peraza.padilla@una.ac.cr  
 0000-0003-4651-5555.

se produjeron tres fragmentos, uno de 1000, 460 y 250 pb con la enzima *AluI*, cinco fragmentos, uno de 660, 600, 150, 105 y 85 pb con la enzima *DraI* y no hubo corte del producto PCR con la enzima *HinfI*, es decir, fue de 1,7 pb. Por medio de las técnicas se logró la caracterización de *Meloidogyne javanica* asociada al sistema radical del cultivo. **Conclusión.** La correcta identificación de una especie de nematodo es primordial para evitar su propagación a otros sitios donde aún no está presente y es un aspecto relevante para conocer cuáles de esas especies están asociadas a un determinado cultivo, para definir estrategias de combate.

## INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.) es la tercera fruta tropical más producida y consumida en el mundo después del mango y la piña. Es originaria de Centroamérica y el sur de México, donde ya era cultivada antes del descubrimiento de América. Este fruto, es uno de los más importantes desde el punto de vista económico y social, ya que es fuente de ingresos para miles de familias y se posiciona como una fuente de ingreso de divisas para muchos países gracias a su demanda internacional (Valencia *et al.* 2017).

Esta fruta se produce en más de 60 países principalmente tropicales y subtropicales en donde se propaga rápidamente, debido a la abundancia y viabilidad de sus semillas; además de los requerimientos de suelos fértiles y abundantes lluvias (De La Cruz *et al.* 2003). También, es reconocida por sus cualidades médico-gastrointestinales, así como insumo para la industria de los jugos (SAGARPA 2017).

Actualmente se cultivan alrededor de 440 000 ha en todo el mundo, con una producción de casi 12,5 millones de toneladas. La India y Brasil

1108 and 1.7 kb PCR products were generated.

**Results.** PCR products subject to endonuclease digestion generated three fragments of 1000, 460 and 250 bp with *AluI*, five fragments of 660, 600, 150, 105 and 85 bp with the *DraI* enzyme and there was no cut of the PCR product with the *HinfI* enzyme, it was 1.7 bp. The use of these techniques allowed the characterization of *Meloidogyne javanica* associated with the radical system of the crop. **Conclusion.** The correct identification of a nematode species is essential to prevent its spread to other sites where it is not yet present and it is a relevant aspect to know which of these species are associated with a certain crop, in order to define control strategies.

son los principales productores de papaya; sin embargo, también destacan países como México, Nigeria e Indonesia. El mercado internacional está dominado por México que exporta más de 130 000 toneladas al principal consumidor de papaya en el mundo que es Estados Unidos. Anualmente, la Unión Europea, el Reino Unido, Holanda y Alemania importan alrededor de 8000 toneladas anuales cada uno, mientras que España supera las 5000 toneladas anuales (Hueso *et al.* 2017).

En Costa Rica existen 3264 fincas dedicadas a la producción de papaya, las cuales representan un total 1393,5 ha. Las principales zonas productoras se encuentran en las provincias de Limón con 514,8 ha, seguido de Alajuela y Puntarenas respectivamente (INEC 2014). De acuerdo con la Promotora de Comercio Exterior (PROCOMER 2017), en 2016, la exportación de esta fruta alcanzó los \$3 millones y 3889 toneladas, donde Canadá es el principal país importador con un 52%, seguido de España (14%) y finalmente, Holanda (5%).

La variabilidad de papayas en Costa Rica representa un potencial para el desarrollo de nuevas variedades o híbridos. Actualmente se

produce la variedad Pococí, conocida como “papaya perfecta” que destaca por sus altos rendimientos, calidad de la fruta, uniformidad de las plantaciones, sabor y aroma. Este híbrido es protegido y desarrollado por el Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA), adscrito al Ministerio de Agricultura y Ganadería, y la Universidad de Costa Rica (Bogantes *et al.* 2011).

El cultivo de papaya puede ver afectada su producción debido a la interacción de patógenos como hongos, bacterias, virus y nematodos. De estos últimos microorganismos, solo *Meloidogyne* spp. y *Rotylenchulus* spp. parecen tener importancia económica y se identifican mundialmente en ese cultivo (Inserra y Cartia 1976, Lamberti *et al.* 1980 y 1993, McSorley 1983 y 1992, Cohn y Duncan 1990, Luc *et al.* 2005). El daño que provocan las especies *M. hapla*, *M. incognita* y *M. javanica* en este cultivo, fue previamente reportada en Brasil (Chaful y De’Arc 1994).

En Colombia, Espinosa *et al.* (2004) y Jaraba *et al.* (2007), encontraron las especies *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. incognita*, esta última, la especie más frecuente. Asimismo, en México, Cid del Prado *et al.* (2011) reportaron en los estados de Michoacán y Morelos a *M. incognita* raza 1 y *M. arenaria* en el estado de Morelos. En Pakistán, Khan *et al.* (2007, 2008) reportaron la presencia de *M. incognita*; y en Hawái Hine *et al.* (1965) identificaron la misma especie asociada a plantaciones de papaya. Además, Koenning *et al.* (1999), hallaron pérdidas del 15 al 20% en el rendimiento de esta fruta en Hawái causadas por *Meloidogyne* sp. y *Rotylenchulus* sp. Finalmente, en España Castillo y Gómez-Barcina (1993), indicaron la presencia de *M. javanica* en este cultivo.

Los géneros y especies mencionadas anteriormente afectan el sistema radical de la planta, donde ocasionan daños mecánicos y la formación de agallas (Chaful y De’Arc 1994). Cohn y Duncan (1990) mencionan que *Meloidogyne* spp. es capaz de ocasionar pudrición de la raíz lo cual disminuye la vida útil de las plantas de papaya,

así como la reducción drástica de su productividad. Estos patógenos limitan el rendimiento y la producción de la fruta, pero en Costa Rica no existen datos sobre las pérdidas ocasionadas por nematodos en este cultivo.

Estudios realizados por Ramakrishnan y Rajendran (1998) en India, estimaron una disminución en el rendimiento del 15,9 al 36,6% en el número y peso promedio de frutos de papaya, es decir, por cada aumento de nematodos en 5 g de raíz hallaron una pérdida de 0,35% en el rendimiento de la fruta (0,811 g por árbol) debido a *M. incognita*. Además, determinaron que el nivel de agresividad de *M. incognita* fue un juvenil por g de suelo, suficiente para reducir los parámetros de crecimiento de las plantas y para alterar la fisiología del fruto.

En Costa Rica, el género *Meloidogyne* spp. está asociado a una gran variedad de cultivos de importancia agrícola de hortalizas como brócoli, coliflor, culantro, chile, tomate, zanahoria, raíces y tubérculos como papa, ñampi, ñame, yuca, frutales entre ellos mango, durazno, papaya, guanábana y otros (Esquivel y Peraza 2010). No existe información que relacione el daño de las plantas con la presencia de esta plaga, o la caracterización a nivel de especie. La correcta identificación de este nematodo facilitaría la implementación de técnicas de combate, como el uso de cultivares resistentes y la ejecución de medidas cuarentenarias (Vovlas *et al.* 2005). Los procedimientos de identificación a nivel de género o especie basados en la observación de caracteres morfológicos y morfométricos son lentos, requieren de tiempo, un amplio conocimiento sobre taxonomía de nematodos y en algunos casos no son concluyentes (Taylor y Sasser 1978, Brito *et al.* 2004).

Actualmente, los procedimientos tradicionales de identificación se combinan con técnicas moleculares de análisis del genoma que permiten una caracterización más precisa. Dentro de los análisis moleculares se utiliza la reacción en cadena de la polimerasa (PCR por sus siglas en inglés) (Mullis *et al.* 1986), la técnica RFLP (Polimorfismo en la Longitud de los

Fragmentos de Restricción) y la secuenciación con las cuales se obtiene un patrón de digestión único para cada especie. Luego mediante el uso de primers/indicadores, amplifican una región conservada y polimórfica en su longitud que son de diferente tamaño para cada especie (Montero *et al.* 2007).

En la presente investigación, se integraron métodos morfológicos y moleculares para determinar la especie de *Meloidogyne* responsable de producir agallas en el sistema radical de plantas de papaya, provenientes de una plantación comercial en Pococí, Limón, Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio de muestreo.** Se llevó a cabo en abril de 2015 en una parcela de aproximadamente 0,5 ha con una densidad de siembra de 900 plantas.ha<sup>-1</sup>. La parcela pertenece al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Pococí, Guápiles, Limón (10°15'28.56"N y 83°46'14.62"O), se encuentra a una altura de 150 msnm con una precipitación anual de 3500 a 5000 mm anuales y una temperatura promedio de 17 a 23°C, lo que la ubica en bosque muy húmedo tropical (bmh-T) (Holdridge 1982).

Se tomaron 20 submuestras de suelo de 100 g y diez submuestras de 5 g al azar, las cuales se llevaron al Laboratorio de Nematología de la Escuela de Ciencias Agrarias (ECA) de la Universidad Nacional para su análisis.

**Extracción de nematodos e identificación morfométrica.** Se extrajeron hembras, juveniles y masas de huevos de *Meloidogyne* sp. a partir de raíces con agallas por medio de una aguja de disección y un estereoscopio a 45X. Luego, varias hembras se colocaron en portaobjetos para observar e identificar la especie de acuerdo con el método descrito por Franklin (1962). Se comparó la morfología de los diseños perineales con descripciones e ilustraciones elaboradas por Esser *et al.* (1976), López y Dickson

(1977), Taylor y Sasser (1978), Whitehead (1968). Un total de 25 juveniles y diez hembras se identificaron con base en sus características morfológicas mediante las claves taxonómicas de Luc *et al.* (1990) y Mai *et al.* (1964). Se midió en los juveniles, la longitud del cuerpo, ancho del cuerpo, ancho del cuerpo a nivel del ano, longitud del estilete, ancho de la región labial, desembocadura de la glándula faríngea, distancia de la cabeza hasta el poro excretor, longitud del esófago, longitud de la cola, porción de la región hialina. Asimismo, se tomaron otras medidas para relacionar la proporción de los juveniles con respecto al largo del nematodo versus ancho del cuerpo, longitud del esófago, longitud de la cola y finalmente, ancho del cuerpo a nivel del ano. En el caso de los machos únicamente se realizaron mediciones de la longitud del estilete y de la desembocadura de la glándula faríngea dorsal desde la base del estilete (DGO). Se tomaron imágenes de hembras, huevos y juveniles con una cámara digital integrada y adaptada a un microscopio con contraste de interferencia diferencial (DIC). Cada fotografía se editó con el programa Photoshop CS6®.

## Análisis molecular

**Extracción de ADN.** Se utilizaron 10 juveniles que individualmente se transfirieron a un tubo de PCR de 0,2 ml con 47 µl de Tris-HCl 0,2 M (pH 8,0) y 5 µl de proteinasa K (20 mg.ml<sup>-1</sup>). Los tubos con los nematodos se colocaron en un baño maría ultrasónico (Branson 2510, Branson Ultrasonidos™) durante 10 min a 60°C y posteriormente se incubaron durante 30 min a 60°C en un termociclador termociclador. Después se mezclaron con ayuda de un agitador tipo vórtex, se incubaron a -20°C durante 15 min y a 90°C durante 10 min. Posteriormente, la mezcla se volvió a agitar y se repitió nuevamente el ciclo de congelación/descongelación anterior. Por último, las muestras se agitaron en el vórtex durante 30 s y se centrifugaron durante 2 min a 2000 rpm (Solano-González *et al.* 2015). Las suspensiones con el ADN se almacenaron a -20°C para su posterior uso en PCR.

**Amplificación del ADN mitocondrial y análisis RFLP.** Por medio de PCR se amplificó la región entre la subunidad II del citocromo oxidasa (COII) y la subunidad grande (16S) del ADN mitocondrial (ADNmt) con los primers C2F3 (5'-GGTCAATGTTTCAGAAATTTGTGG-3') y 1108 (5'-TACCTTTGACCAATCACGCT-3') (Powers y Harris 1993). Se prepararon reacciones de PCR en tubos de 0,2 mL con un volumen final de 25  $\mu$ L que contenían la siguiente mezcla de reacción: buffer de la Taq polimerasa 1X, dNTPs 0,08 mM, MgCl<sub>2</sub> 1,0 mM, imprimadores a 0,8  $\mu$ M cada uno, 0,8 U de Taq polimerasa y 15  $\mu$ L de ADN. La amplificación del ADN se llevó a cabo en un termociclador (Veriti 96-Well, Thermo Scientific®) de 96 pozos bajo las siguientes condiciones de temperatura: una fase de desnaturalización inicial a 94°C durante 2 min, seguida de 35 ciclos de 10 seg de desnaturalización a 94°C, 30 seg de alineamiento a 48°C y 2 min de extensión a 68°C y una fase final de extensión a 72°C durante 2 min.

Los productos de PCR se trataron posteriormente con las enzimas de restricción *AluI* y *DraI* en forma independiente, según las indicaciones por la casa fabricante. Para ello se prepararon reacciones de 15  $\mu$ L (5  $\mu$ L de producto de PCR, 1  $\mu$ L de enzima, 1,5  $\mu$ L del buffer de

reacción de la enzima a 1X, 7,5  $\mu$ L de agua ultrapura) y se incubaron durante 1 h a 37°C en el termociclador.

Los fragmentos de PCR y RFLP se separaron por medio de electroforesis en geles de agarosa de 1,5 y 2% respectivamente, preparados con TBE 1X. Los geles se corrieron dentro de una cámara de electroforesis a 90V durante 1 h y 30 min. Los fragmentos de ADN se visualizaron y se digitalizaron en un fotodocumentador con un transiluminador de luz UV después de teñir los geles con Gel Red a 3X.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las raíces recolectadas mostraron síntomas severos de agallamiento (Figura 1). Se extrajeron un total de 200 J<sub>2</sub>/100 cc de suelo y 3952 J<sub>2</sub>/10 g en raíz de *Meloidogyne javanica*. En el campo no se observaron síntomas de clorosis, enanismo, escaso desarrollo vegetativo o poca producción lo que podría estar relacionado a un buen manejo de la plantación. De acuerdo con Rojas (2010), la salud general observada en una parcela o finca se relacionada a prácticas de manejo en el uso de fertilización y materia orgánica.



Figura 1. A y B. Agallamiento inducido por *M. javanica* en raíces de papaya (*C. papaya* L.). Cultivada en Pococi, Limón, Costa Rica. 2015.

Actualmente en Costa Rica no existen referencias acerca de límites de tolerancia y umbrales económicos; sin embargo, los

resultados de estudio muestran altas densidades poblacionales principalmente en raíz que se presume podrían afectar la producción de este

cultivo. En ocasiones se observaron en lotes o fincas, algunos árboles con poco crecimiento con respecto a los demás, también clorosis, marchitez y hasta una disminución en fructificación. Según Khan y Husain (1991), se debe considerar no solo las condiciones experimentales y ambientales, sino también la virulencia de la población de nematodos. En algunas ocasiones la infestación con otros patógenos puede formar un complejo *plaga-hospedante* difícil de controlar como es el caso de este nematodo que causa un daño severo a la raíz y posibilita la entrada de *Phytophthora* sp (Díaz 2002).

**Identificación morfológica y morfo-métrica.** El patrón perineal de las 25 hembras mostró un arco dorsal alto e incisiones laterales (estriás transversales) marcadas que separan las regiones dorsal y ventral y que a su vez se extienden a ambos lados del extremo de la cola y que son únicas para la especie *M. javanica* (Figura 2). Además, se observó que las crestas recorren todo el ancho del patrón, pero desaparecen gradualmente cerca del extremo de la cola. Las estriás son lisas o ligeramente onduladas y algunas pueden doblarse hacia los bordes vulvares (Figura 2). Estos resultados coinciden con los reportados por Chaful y De'Arc (1994) en Brasil, Espinosa *et al.* (2004), Jaraba *et al.* (2007) en Colombia y Cid del Prado *et al.* (2011) en México.

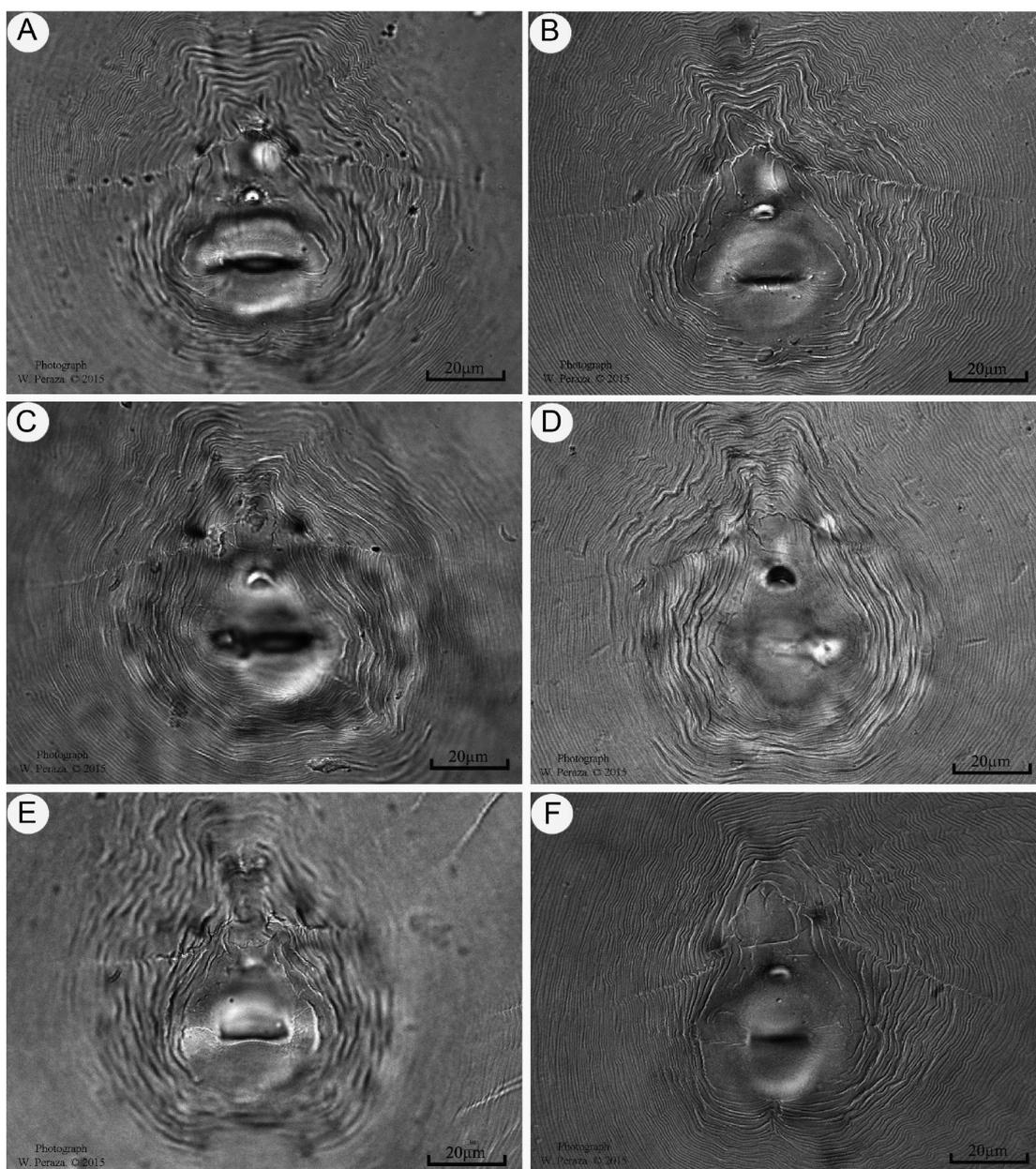


Figura 2. A-F. Fotomicrografías a escala = 20  $\mu\text{m}$  del patrón perineal de hembras de *M. javanica* provenientes de una plantación de papaya (*C. papaya* L.). Cultivada en Pococí, Limón, Costa Rica. 2015.

El patrón perineal es una característica valiosa y utilizada en la identificación de especies del género *Meloidogyne* (Chitwood 1949, Eisenback *et al.* 1980, Hirschmann 1985). No obstante, debido a la variabilidad intraespecífica y similitudes morfológicas dificulta en muchas ocasiones una correcta identificación (Pamjav *et al.* 1999). En el presente estudio, no hubo dificultad en la identificación de los diseños, ya que todos ellos presentaron características similares para la especie. En el caso *M. arenaria*, presenta un diseño perineal con un arco dorsal bajo, redondeado, pero a diferencia de *M. javanica*, sin líneas laterales evidentes marcadas por estrías cortas, irregulares y bifurcadas (Eisenback 1985).

Asimismo, el patrón perineal de *M. incognita*, presenta un arco dorsal alto y cuadrado sin líneas laterales y la presencia de bifurcaciones en las estrías a diferencia de *M. javanica* (Eisenback 1985). Sin embargo, es importante mencionar que en estudios realizados por Brito *et al.* 2004, observaron variaciones morfológicas en un patrón perineal para una especie en específico, las cuales podrían coincidir o ser similares para otra especie.

En la medición de las 10 hembras, se determinó que el largo fue de  $608,0 \pm 42,1$  ( $547,7-643,2 \mu\text{m}$ ), el ancho de  $392,2 \pm 17,2$  ( $355,3-432,8 \mu\text{m}$ ), la longitud del cuello de  $219,4 \pm 10,8$  ( $194,2-254,7 \mu\text{m}$ ). Con respecto al estilete, presentó una

longitud de  $16,0 \pm 0,72$  ( $14,8-16,9 \mu\text{m}$ ) mientras que la distancia del orificio de la glándula dorsal esofágica (DGO) fue de una longitud de  $4,2 \pm 0,16$  ( $4,0-4,5$ ) (Figura 3). En investigaciones realizadas, Jepson (1987) determinó que en promedio el largo de hembras de hembras de *M. javanica* fue de  $672,5 \mu\text{m}$  con un rango entre 545 a  $800 \mu\text{m}$ , mientras que el ancho del cuerpo  $422,5 \mu\text{m}$  con un rango entre 300 a  $545 \mu\text{m}$ . Finalmente, el largo del estilete tuvo un promedio de  $16 \mu\text{m}$  con un rango entre 14 a  $18 \mu\text{m}$ . Por su parte, en estudios taxonómicos realizados por Kaur *et al.* (2016) para esta misma especie, encontró que, las hembras presentaban en promedio un largo de  $654,5 \mu\text{m}$  con un rango entre 519 a  $790 \mu\text{m}$ ; el ancho fue de  $402 \mu\text{m}$  con un rango de 287 a  $517 \mu\text{m}$  y por último, la longitud del cuello con un promedio de  $214,5 \mu\text{m}$  y un rango entre 129 a  $300 \mu\text{m}$ . En el caso del estilete un promedio de  $16 \mu\text{m}$  con un rango entre 14 a  $18 \mu\text{m}$  y el DGO un promedio de  $3,8 \mu\text{m}$  con un rango entre 2,9 a  $4,8 \mu\text{m}$ . Asimismo, Espinosa *et al.* (2004), determinaron los parámetros morfométricos de la longitud del estilete de  $15,4 \mu\text{m} \pm 0,7 \mu\text{m}$  ( $14-16 \mu\text{m}$ ) y del DGO  $3,2 \mu\text{m} \pm 0,6 \mu\text{m}$  ( $2-4 \mu\text{m}$ ) los cuales junto con las otras investigaciones se encuentran dentro del rango para la descripción original de la especie y coinciden con la población de *M. javanica* de este estudio.

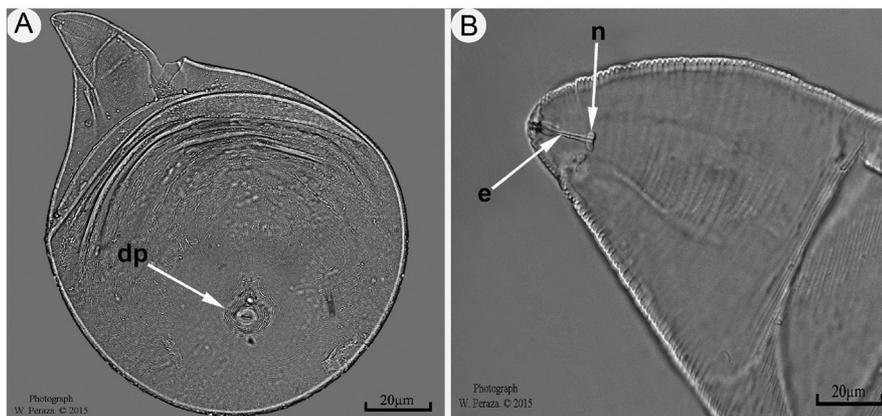


Figura 3. Fotomicrografías a escala =  $20 \mu\text{m}$  que permiten observar hembras de *M. javanica*. A. Hembra completa que muestra el patrón del diseño perineal (dp). B. Parte anterior de la hembra en la posición del poro excretor (pe), estilete (e) y nódulos (n). Plantación de papaya (*C. papaya* L.). Pococi, Limón, Costa Rica. 2015.

Con respecto a los machos, estos presentaron en su parte anterior, un disco labial grande y plano, con labios medios fusionados en una región cefálica alta. También al medir tanto el estilete como el DGO, presentaron rangos de longitud de entre 15,3 a 16,8  $\mu\text{m}$  y de 2,2 a 3,8  $\mu\text{m}$  respectivamente; ambos dentro del rango para la especie *M. javanica* reportado por Eisenback (1985) y Espinosa *et al.* (2004).

El análisis morfométrico de 25 juveniles del segundo estadio ( $J_2$ ) (Tabla 1, Figura 4)

mostró que el valor promedio de la longitud del cuerpo de los estadios juveniles medidos fue de 419,2  $\mu\text{m}$ , con un ancho del cuerpo de 13,1 (12,5-13,7)  $\mu\text{m}$ . La longitud del estilete fue de 11,8  $\mu\text{m}$ , mientras que el ancho del cuerpo a nivel del ano fue de 9,8  $\mu\text{m}$  y el ancho de la región labial de 4,7  $\mu\text{m}$ . La distancia de la glándula esofágica dorsal desde la base del estilete fue de 3,5  $\mu\text{m}$ . Finalmente, longitud de la cola fue de 49,3  $\mu\text{m}$  y la porción hialina de 12,1  $\mu\text{m}$ .

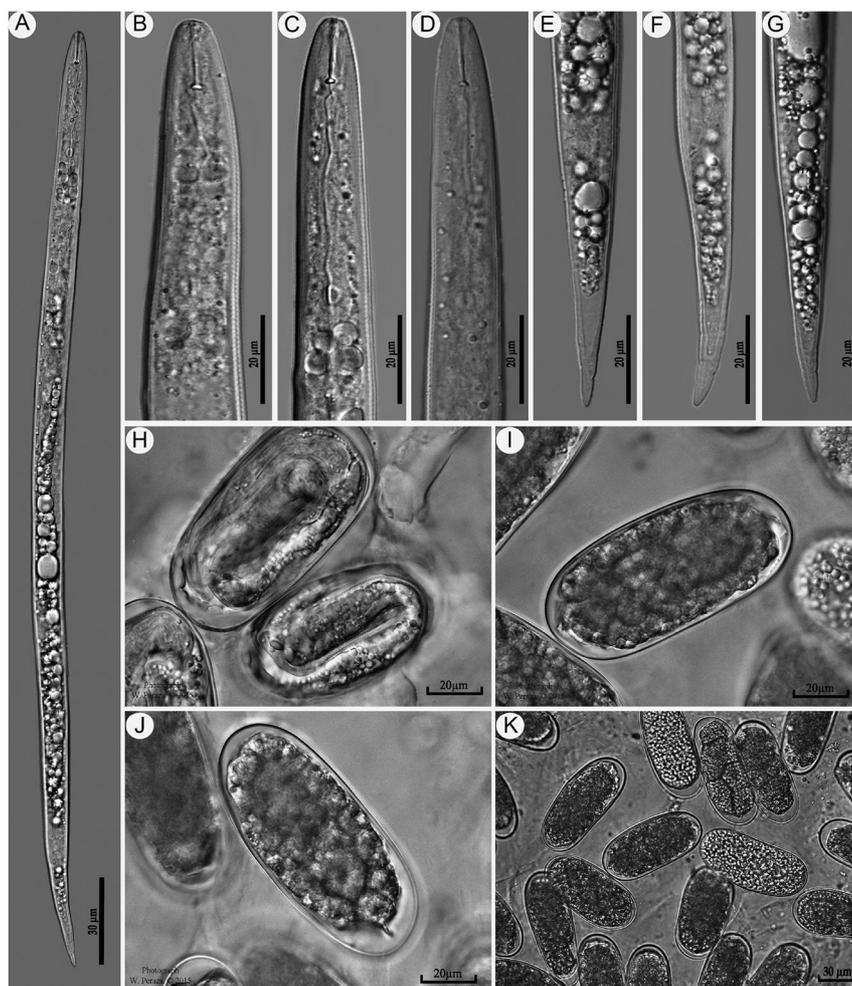


Figura 4. Fotomicrografías de segundos estados juveniles y huevos de *M. javanica* de una plantación de papaya (*C. papaya* L.). A. Segundo estado juvenil ( $J_2$ ). B, C y D. Región anterior de  $J_2$  en la posición del estilete (e), nódulos (n), glándula dorsal esofágica (gde), y metacarpus (m). E, F y G. Región posterior de  $J_2$  donde se muestra el ano (a) y la región hialina de la cola (rh). H, I, J (Huevos (h) de hembras de *M. javanica*) y K. Escala: A= 30  $\mu\text{m}$ , B-J = 20  $\mu\text{m}$ , K= 30  $\mu\text{m}$ . Cultivo en Pococí, Limón, Costa Rica. 2015.

Todos los caracteres morfológicos de importancia diagnóstica (Tabla 1) y referentes a la población de *M. javanica* en estudio, presentaron valores que se encuentran dentro del rango para dicha especie (Whitehead 1968, Jepson 1987, Kaur *et al.* 2016). Asimismo, al comparar las mediciones de la población de *M. javanica* también presentó similitud con estudios llevados a cabo por Williams (1972), Özarıslandan y Elekçiođlu (2010) y Öztürk *et al.* (2020). No obstante, un estudio realizado por

Rusınque *et al.* (2018), con una población de *M. javanica* de Portugal, mostró similitudes con la población en estudio en el largo del nematodo y el DGO, no así en las medidas de la región hialina (14,0 [10,0-18,0] versus 12,1 [11,0-13,9]), largo del estile (55,3 [49,9-60,8] versus 49,3 [45,8-55,5]) y la cola (55,3 [49,9-60,8] versus 49,3 [45,8-55,5]), las cuales fueron inferiores en la población en estudio; sin embargo, estos valores se encuentran dentro del rango para la descripción de la especie.

Tabla 1. Comparación morfométrica de juveniles de segundo estadio (J<sub>2</sub>) en una plantación de papaya (*C. papaya* L.). Pococí, Limón, Costa Rica, 2015.

Medidas y relaciones (µm)	<i>M. javanica</i> (n=20) Papaya (presente estudio)	<i>M. javanica</i> (Jepson 1987)
Longitud del cuerpo (L)	<sup>a</sup> 419,2±14,4 (398,1-448,2)	387-459
Ancho máximo del cuerpo (MBW)	13,1±0,4 (12,5-13,7)	11-13,6*
Ancho del cuerpo a nivel del ano (ABW)	9,8±0,5 (9,3-10,7)	-
Longitud del estilete (E)	11,8±1,2 (10,4-14,6)	9,4-11,4
Ancho de región labial (LRW)	4,7±0,1 (4,5-5,0)	-
Desembocadura de la glándula faríngea dorsal desde la base del estilete (DGO)	3,5±0,3 (3,2-4,0)	2-3,2*
Distancia desde la cabeza hasta el poro excretor	84,0±3,6 (76,4-89,1)	62,9-85,0*
Longitud del esófago (Le)	115,3±1,3 (113,8-118,3)	-
Longitud de la cola (Lc)	49,3±3,3 (45,8-55,5)	46,8-59,8*
Porción hialina	12,1±0,9 (11,0-13,9)	9-18
a (L/MBW)	30,7±1,6 (27,8-33,0)	27,1-35,9**
b (L/Le)	3,6±0,1 (3,4-3,9)	-
c (L/Lc)	8,3±0,3 (7,9-9,2)	7,3-8,1**
c' (Lc/ABW)	5,0±0,4 (4,4-5,6)	-

<sup>a</sup>Promedio ± desviación estándar (rango); n= número de especímenes analizados.

\*Medidas tomadas de Kaur *et al.* (2016).

\*\*Medidas tomadas de Whithead (1968).

De acuerdo con Hirschmann (1985), las medidas entre especies son en muchas ocasiones estrechas, por lo que es común encontrar que algunas de ellas se superponen entre sí. En el caso de la longitud de la cola, es una de las características más útiles porque varía considerablemente entre especies y tiene poca variación intraespecífica lo que ayuda

a distinguir con mayor facilidad entre ellas (Karssen y Moens 2006).

**Análisis molecular.** La amplificación del ADN de la región mitocondrial COII/16S a partir de los imprimadores C<sub>2</sub>F<sub>3</sub>/1108 generó un fragmento de aproximadamente 1,7 kb para cada uno de los individuos analizados (Figura 5).

El peso molecular de 1,7 kb obtenido para *M. javanica*, concuerda con el reportado en investigaciones previas por Powers y Harris (1993), Williamson *et al.* (1994); Orui (1998), Han *et al.* (2004); Brito *et al.* (2004), Flores (2008) y Oh *et al.* (2009). No obstante, en estudios realizados por Powers y Harris (1993), Orui, (1998), Oh

*et al.* (2009) para *M. incognita* y Orui (1998), Oh *et al.* (2009) para *M. arenaria* también reportaron un peso molecular de 1,7 kb para las especies mencionadas. Sin embargo, en este estudio al utilizar diferentes enzimas de restricción se pudo discriminar entre las 3 especies (*M. arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica*).

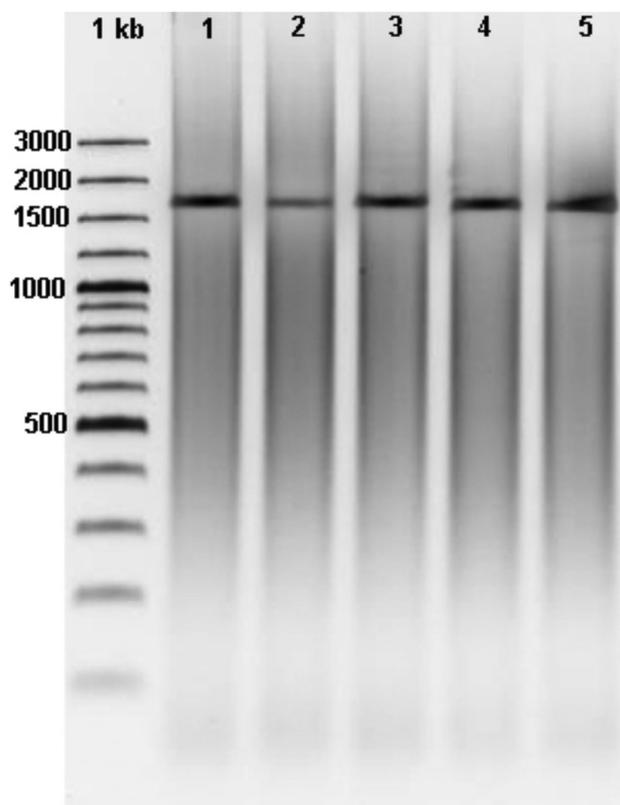


Figura 5. Electroforesis en gel de agarosa al 1% de los productos de la amplificación (PCR) de la región de mitocondrial COII/16S con los imprimadores C2F3/1108 (Powers y Harris 1993). Marcadores de peso molecular de 1 kb. Carriles 1-5: juveniles de *M. javanica*. Pococí, Limón, Costa Rica. 2015.

Al cortar el fragmento de 1,7 kb obtenido para *M. javanica* generó con la endonucleasa *AluI* tres fragmentos, uno de 250, 460 y 1000 pb (Figura 6, carriles 2 y 6) mientras que con la enzima *DraI* cuatro, uno de 85, 105, 150, 600 y 600 pb (Figura 6, carriles 3 y 7) (Orui 1998).

En el caso de la endonucleasa *HinfI*, no hubo corte de la enzima, es decir, generó un fragmento similar al del producto no cortado de 1,7 kb (Figura 6, carriles 4 y 8) y coincidió con resultados obtenidos por Orui (1998), Flores (2008) y Oh *et al.* (2009).

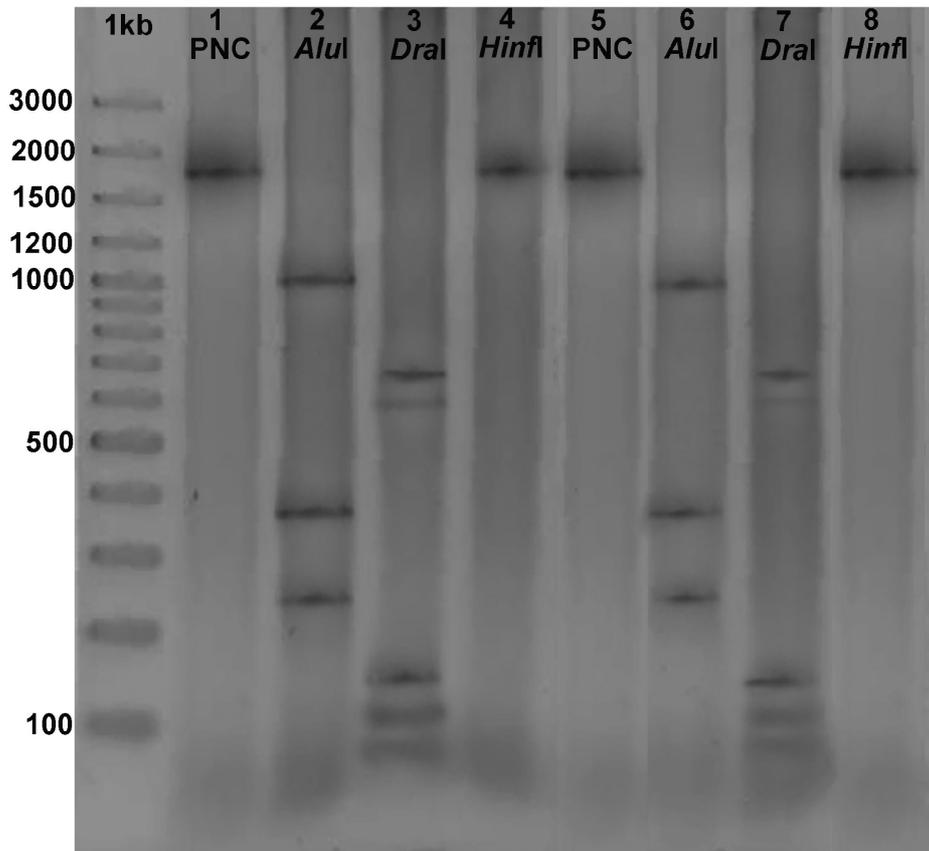


Figura 6. Patrones generados con las enzimas de restricción *AluI*, *DraI* y *HinfI* mediante electroforesis en un gel de agarosa al 1,5%. Carriles 1 y 5: Productos de PCR sin cortar con enzimas de restricción; Carriles 2 y 6: fragmentos generados con la enzima *AluI*; Carriles 3 y 7: fragmentos generados con la enzima *DraI*, Carriles 4 y 8: fragmentos generados con la enzima *HinfI*. Marcador de peso molecular 1 kb. Pococi, Limón, Costa Rica. 2015.

Sin embargo, estudios de Powers y Harris (1993), Flores (2008), reportaron un producto de PCR para *M. javanica* tratado con la enzima de restricción *AluI* que generó 3 fragmentos, uno de 150, 400 y 1000 pb. Asimismo, al comparar los fragmentos obtenidos con esta misma enzima para la especie *M. incognita*, investigaciones realizadas por Powers y Harris (1993), Flores (2008), indicaron la presencia de 3 fragmentos cuyo peso molecular fue de 230, 400 y 900 pb. Por su parte, Orui (1998) obtuvo fragmentos con pesos moleculares de 150, 250, 460 y 820 pb para

esta misma especie lo que afirma la presencia de fragmentos diferentes.

En el caso de la enzima *HinfI* existen también el reporte de diferentes fragmentos. Por ejemplo, Orui (1998), Williamson *et al.* (1994) y Oh *et al.* (2009) reportaron para *M. incognita* 2 fragmentos, uno de 400 y otro de 1300 kb. Asimismo, Powers y Harris (1993) determinó 3 fragmentos, uno de 300, 400 y 100 pb para esta misma especie con esta enzima.

De acuerdo con Peraza *et al.* (2013) aunque los juveniles de la población en estudio

presentaron una morfología y taxonomía similar a poblaciones de esta especie en otras latitudes, las variaciones en el tamaño de los fragmentos que se generan con las enzimas de restricción pueden estar ligadas a variantes genéticas o polimorfismos dentro de una misma especie o población que se puede deber a mutaciones en el sitio de corte de las enzimas. Adicionalmente indica que otra razón por la cual existen distintos tamaños se podría obedecer a diferencias en el tiempo de corrida que hacen la visualización o ausencia de las diferentes bandas en un mismo gel.

Es importante aumentar el conocimiento e identificación de las principales especies de nematodos asociados a cultivos de importancia agrícola, ya que de esta manera no solo se podrá conocer su distribución y propagación, sino que también se logrará un diagnóstico preciso de cuáles especies podrían generar algún daño a un cultivo en particular. Además, al identificar y conocer una determinada especie, se pueden implementar algunas estrategias de combate, como la rotación de cultivos, el uso de cultivares resistentes y el establecimiento de regulaciones cuarentenarias con respecto al traslado de material vegetal y suelo de un sitio a otro para evitar la diseminación.

Para la correcta identificación de nematodos es necesario el uso de diferentes técnicas. Gracias a la utilización de algunas de ellas, se logró la caracterización de *M. javanica* asociada a una plantación de papaya.

### AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al M.Sc. Antonio Bogantes Arias del Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Pococí, cantón de la provincia de Limón por su colaboración para la recolecta de las muestras de suelo y raíz.

### LITERATURA CITADA

- Bogantes, AA; Mora, EN; Umaña, GR; Loría, QCL. 2011. Guía para la producción de la papaya en Costa Rica. Consultado 19 nov. 2016. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00321.pdf>
- Brito, J; Powers, TO; Mullin, PG; Inserra RN; Dickson, DW. 2004. Morphological and molecular characterization of *Meloidogyne mayaguensis* isolates from Florida. *Journal of Nematology* 36:232-240.
- Castillo, P; Gómez-Barcina, A. 1993. Plant-parasitic nematodes associated with tropical and subtropical crops in southern Spain. *Nematologia mediterranea* 21:45-47.
- Chafal, S; De' Arc, R. 1994. Mamão: Doenças causadas por fungos e nematodes em mamoeiro. Informe Agropecuario 12(134):40-43.
- Chitwood, BG. 1949. root-knot nematodes, part I. A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887. *Proceedings of the Helminthological society of Washington* 16:90-104.
- Cid del Prado, VI; Hernández, JA; Tovar, SA. 2011. Distribución de especies y razas de *Meloidogyne* en México. *México. Revista Mexicana de Fitopatología* 1(19):32-39.
- Cohn, E; Duncan, L. 1990. Nematode parasites of subtropical and tropical fruit trees. In Luc, M; Sikora, RA; Bridge, J (eds.). *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. Wallingford, U.K., C.A.B International. p. 347-362.
- De La Cruz Medina, JG; Vela-Gutiérrez, G; García, HS. 2003. *Papaya Post-harvest Operations*. Veracruz, México, FAO. 70 p.
- Díaz, JJA. 2002. Manual para el cultivo de la papaya hawaiana. Guácimo, Costa Rica, EARTH. 108 p.
- Eisenback, JD. 1985. Detailed morphology and anatomy of second-stage juveniles, males, and females of the genus *Meloidogyne* (root-knot nematodes). In Sasser, JN; Carter, CC (eds.). *An Advanced Treatise on Meloidogyne*. Volume I. Biology and Control. Raleigh, North Carolina. USA, A Cooperative Publication of the Department of Plant Pathology and the United States Agency for International Development, North Carolina State University Graphics. 477 p.
- Eisenback, JD; Hirschmann, H; Triantaphy-Llou, AC. 1980. Morphological comparison of *Meloidogyne* female head structures, perineal patterns, and stylets. *Journal of Nematology* 12(4):300-313.
- Espinosa, MR; Fuentes, KC; Jaraba, JD; Lozano, ZE. 2004. Nematodos asociados al cultivo de la papaya (*Carica papaya* L.) en Córdoba. Colombia. *Temas agrarios* 9:(1)13-20.
- Esquivel, A; Peraza, W. 2010. Nematodos fitoparásitos asociados a cultivos agrícolas de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. Consultado 03 jul. 2019. Disponible en <https://es.scribd.com/document/195399234/Manual-Cultivos-Final>
- Esser, RP; Perry, VG; Taylor, AL. 1976. A diagnostic compendium of the genus *Meloidogyne* Nematoda.

- Heteroderidae. Proceedings of the Helminthological Society of Washington 43:138-150.
- Flores, L. 2008. Identificación de especies de *Meloidogyne* descritas en Costa Rica con base en la variabilidad del ADN mitocondrial. Tesis M.Sc. Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 60 p.
- Franklin, MT. 1962. Preparation of posterior cuticular patterns of *Meloidogyne* spp. for identification. *Nematologica* 7:336-337.
- Han, H; Cho, MR; Jeon, ChY; Lim, ChK; Jang, HL. 2004. PCR-RFLP identification of three major *Meloidogyne* species in Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 7(2):171-175.
- Hine, RB; Holtzmann, OV; Raabe, RD. 1965. Diseases of Papaya (*Carica papaya* L.) in Hawaii. Bulletin N°. 136. Honolulu, Hawaii, Hawaii Agricultural Experiment Station, University of Hawaii. 28 p.
- Hirschmann, H. 1985. The genus *Meloidogyne* and morphological characters differentiating its species. In Sasser, JN; Carter, CC (eds.). An Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Volume 1, Biology and Control. Raleigh, North Carolina, North Carolina State University Graphics. p. 79-93.
- Holdridge, L. 1982. Ecología basada en zona de vida. San José, CRC, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 216 p.
- Hueso, JJ; Salinas, I; Pinillos, V; Cuevas, J. 2017. El cultivo de la papaya en el Sureste de España. Consultado 11 Jun. 2018. Disponible en <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/196398-El-cultivo-de-la-papaya-en-el-Sureste-de-Espana.html>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica). 2014. VI Censo Nacional Agropecuario, 2014. Costa Rica. s.p.
- Inserra, RN; Cartia, G. 1976. *Meloidogyne javanica* su papaya in Sicilia. *Nematologia mediterranea* 5:137-139.
- Jaraba, JD; Lozano, Z; Espinosa, M. 2007. Nematodos agalladores asociados al cultivo de la papaya (*Carica papaya* L.) en el departamento de Córdoba, Colombia. *Colombia. Agronomía Colombiana* 1(25):124-130.
- Jepson, SB. 1987. Identification of root-knot nematode (*Meloidogyne* species). Wallingford, UK, CAB International. 265 p.
- Karssen, G; Moens, M. 2006. Root-knot nematodes. In Perry, RN; Moens, M (eds.). *Plant Nematology*. Wallingford, UK, CABI Publishing. p. 59-90.
- Kaur, SS; Kang, S; Dhillon, NK; Sharma, A. 2016. Detection and characterization of *Meloidogyne* species associated with pepper in Indian Punjab. *Nematropica* 46:209-220.
- Khan, A; Sayed, M; Shahid, S. 2007. Nematodes associated with papaya in Sindh, Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture* 23(1):145-148.
- Khan, A; Sayed, M; Shaikat, SS; Handoo, ZA. 2008. Efficacy of four plant extracts on nematodes associated with papaya in Sindh, Pakistan. *Nematologia Mediterranea* 36:93-98.
- Khan, TA; Husain, SI. 1991. Effect of age of papaya seedlings on the development of disease complex caused by *Meloidogyne incognita* and *Fusarium solani*. *Nematologia Mediterranea* 19:327-329.
- Koenning, SR; Overstreet, C; Noling, JW; Donald, PA; Becker, JO, Fortnum, PA. 1999. Survey of crop losses in response to phytoparasitic nematodes in the United States for 1994. *Journal of Nematology* 31:587-618.
- Lamberti, F; Ekanayake, HMRK; Sasanelli, N. 1993. Effect of some plant parasitic nematodes on the growth of selected crops in Sri Lanka. *Nematologia Mediterranea* 10:225-230.
- Lamberti, F; Ekanayake, HMRK; Zacheo, F. 1980. Effect of two *Meloidogyne* species on the growth of papaw seedlings. *Indian Journal of Nematology* 10:225-230.
- López, R; Dickson, DW. 1977. Morfometría y respuesta de hospedantes diferenciales a tres poblaciones de *Meloidogyne incognita* y una de *Meloidogyne javanica*. *Agronomía Costarricense* 1(2):119-127.
- Luc, M; Sikora, RA; Bridge, J. 1990. Plant-parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 2 nd. London, England, CAB International. 890 p.
- Luc, M; Sikora, RA; Bridge, J. 2005. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 2 nd. Wallingford, UK, CAB International. 877 p.
- Mai, WF; Lyon, HH; Kruk, TH. 1964. Pictorial key to genera of plant parasitic nematodes. 5 ed. New York, USA, Department of plant pathology, New York state College of Agriculture. 54 p.
- McSorley, R. 1983. Population buildup and effects of the reniform nematode of papaya in Southern Florida. *Fla. State Hort. Soc.* 69:198-200.
- McSorley, R. 1992. Nematological problems in tropical and subtropical fruit tree crops. *Nematropica* 22:103-116.
- Montero, Z; García, C; Salazar, L; Valverde, R; Gómez-Alpizar, L. 2007. Detección de *Meloidogyne incognita* en tubérculos de papa en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 31(1):77-84.
- Mullis, K; Faloona, F; Scharf, S; Saiki, R; Horn, G; Erlich, H. 1986. Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: the polymerase chain reaction. *Cold Spring Harbor Symposium in Quantitative Biology* 51:263-273.
- Oh, Hyung Keun; Bae, Chang-Hwan; KIM, Man II; Oh, Seung-Han; Han, Yeon-Soo; Lee, Hyang Burm; Kim, Iksoo. 2009. The Plant Pathology Journal 25:247-255. DOI: <https://doi.org/10.5423/PPJ.2009.25.3.247>.
- Orui, Y. 1998. Identification of Japanese species of the genus *Meloidogyne* (Nematoda: Meloidogynidae)

- by PCR-RFLP analysis. *Applied Entomology and Zoology* 33:43-51.
- Özarslandan, A; Elekçioglu, HI. 2010. Türkiye'nin farklı alanlarından alınan Kök-ur nematodu türlerinin (*Meloidogyne* spp.) (Nemata: Meloidogynidae) moleküler ve morfolojik tanılama ile belirlenmesi. *Türkiye Entomoloji Dergisi* 34:323-335.
- Öztürk, L; Aslan, A; Sivri, N; Şin, B; Behmand, T; Avcı, GG; Elekcioglu, IH. 2020. *Meloidogyne javanica* Treub, 1885 (Chitwood, 1949) and some weed hosts in tomato (*Solanum esculentum* L.) fields in Tekirdağ, Turkey. *Munis Entomology & Zoology*, 15(1):26-34.
- Pamjav, H; Triga, D; Buzas, ZT; Vellai, A; Lucska, I; Adams, A; Reid, AP; Burnell, A; Griffin, C; Glazer, I; Klein, MG; Fodor, A. 1999. Novel application of PhastSystem polyacrylamide gel electrophoresis using restriction fragment length polymorphism - internal transcribed spacer patterns of individuals for molecular identification of entomopathogenic nematodes. *Electrophoresis* 20:1266-1273.
- Peraza-Padilla, W; Rosales-Flores, Johaner; Esquivel-Hernández, A; Molina-Bravo, R; Castillo-Castillo, P. 2013. Identificación morfológica, morfométrica y molecular de *Meloidogyne incognita* en higuera (*Ficus carica* L.) en costa rica. *Agronomía Mesoamericana* 24(2):337-346.
- Powers, TO; Harris, TS. 1993. A polymerase chain reaction method for identification of five major *Meloidogyne* species. *Journal of Nematology* 25:1-6.
- PROCOMER (Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica). 2017. La producción de papayas mexicanas disminuirá en las próximas semanas. Consultado 20 jun. 2020. Disponible en [https://www.procomer.com/alertas\\_comerciales](https://www.procomer.com/alertas_comerciales)
- Ramakrishnan, S; Rajendran, G. 1998. Assessment of yield loss due to *Meloidogyne incognita* in papaya under field conditions. *Nematologia Mediterranea* 26:229-230.
- Rojas, M. 2010. Nematodos del café. *Revista informativa. CICAPE, Heredia, Costa Rica*. Consultado 07 abr. 2020. Disponible en <http://www.icafe.cr/cicape/publicaciones/revista-informativa-icafe/>
- Rusinque, L; Inácio, ML; Mota, M; Nóbrega, F. 2018. Morphological, biochemical and molecular characterization of *Meloidogyne javanica*, from North Portugal, in tomato. *Revista de Ciências Agrárias* 41(1):193-198.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. México, Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. 16 p.
- Solano-González, S; Esquivel-Hernández, A; Molina-Bravo, R; Morera-Brenes, B. 2015. Identification of *Meloidogyne* species associated with upland ornamentals plants in Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 26(2):247-256. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19280>.
- Talavera, RM. 2003. Manual De Nematología Agrícola. Introducción al análisis y al control nematológico para agricultores y técnicos de agrupaciones de defensa vegetal. Consultado 10 nov. 2018. Disponible en <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=CNTSP722ZI4569&id=4569>
- Taylor, AL; Sasser, JM. 1978. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). Raleigh, North Carolina, USA, North Carolina State University Graphics. 111 p.
- Valencia, SK; Duana, AD; Hernández, GTJ. 2017. Estudio del mercado de papaya mexicana: un análisis de su competitividad (2001-2015). *Suma de negocios* 8(18):131-139.
- Vovlas, N; Mifsud, D; Landa, BB; Castillo, P. 2005. Pathogenicity of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* on potato. *Plant Pathology* 54:657-664.
- Whitehead, AG. 1968. Taxonomy of *Meloidogyne* (Nematodea: Heteroderidae) with descriptions of four new species. *Transactions of the Zoological Society of London* 31:263-401.
- Williams, KJO. 1972. *Meloidogyne javanica*. Commonwealth Institute of Helminthology (CIH). Descriptions of Plant-Parasitic Nematodes Set 1, N°. 3. Farnham Royal, UK, Commonwealth Agricultural Bureaux. s. p.
- Williamson, VM; Caswell-Chen, EP; Wu, FF; Hanson, D. 1994. PCR for nematode identification. In Lamberti, F; De Giorgi, C; Bird, DM (eds.). *Advances in molecular plant Nematology*. New York, USA, Plenum Press. p. 119-127.





## IDENTIFICACIÓN DE *Fusarium* EN GRANOS DE FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris* L.) EN COSTA RICA\*

Ana Zulay Guido-Mora<sup>1</sup>, Mónica Blanco-Meneses<sup>2</sup>,  
María del Milagro Granados-Montero<sup>3</sup>, María Viñas-Meneses<sup>4/\*\*</sup>

**Palabras clave:** Micotoxinas; frijol común; *Phaseolus vulgaris*; Costa Rica.

**Keywords:** Mycotoxins; common beans; *Phaseolus vulgaris*; Costa Rica.

Recibido: 29/09/2020

Aceptado: 16/12/2020

### RESUMEN

**Introducción.** El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa consumida ampliamente en países en vías de desarrollo. En Costa Rica su consumo es alto (10,54 kg.persona<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) y su producción se localiza principalmente en regiones al sur y al norte del país. Los granos de esta leguminosa podrían estar contaminados con *Fusarium*, un hongo micotoxigénico que coloniza diferentes cultivos. **Objetivo.** Identificar las especies de *Fusarium* que colonizan los granos de frijol negro en Costa Rica. **Materiales y métodos.** Se recolectaron 49 muestras de granos de frijol negro durante 2017, 2018 y 2019 en regiones donde se produce este grano en Costa Rica. Estas se utilizaron para aislar e identificar las especies de *Fusarium* basado en secuencias parciales de los genes *TEF-1a* (factor de elongación de la traducción 1-alfa) y *RPB2* (subunidad de la ARN polimerasa II). **Resultados.** Se obtuvieron 28 aislamientos de *Fusarium*, de los cuales 82% pertenecen al complejo de especies *Fusarium incarnatum-equiseti*

### ABSTRACT

**Identification of *Fusarium* species in black bean grains (*Phaseolus vulgaris* L.) from Costa Rica. Introduction.** The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a legume that is widely consumed in developing countries. In Costa Rica, its consumption is still high (10.54 kg.person<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>), and its production is mainly located in the southern and the northern regions of the country. The grains of this legume could be contaminated with *Fusarium*, a mycotoxigenic fungus that colonizes different crops. **Objective.** Identify *Fusarium* species that colonize the grains of Costa Rican black beans. **Materials and methods.** Forty-nine samples of black bean grains were collected during 2017, 2018 and 2019 in different regions where this grain is produced in Costa Rica. Those were used to isolate and identify the *Fusarium* species based on the partial sequences of *TEF-1a* (translation elongation factor 1-alpha) and *RPB2* genes (RNA polymerase II subunit). **Results.** A total of 28 *Fusarium* isolates were obtained, of which 82% belong to the *Fusarium*

\* Esta investigación formó parte de la tesis de licenciatura de la primera autora.

\*\* Autora para correspondencia. Correo electrónico: maria.vinasmeneses@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Granos y Semillas (CIGRAS), Costa Rica.  0000-0002-9810-9631.

2 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Protección de Cultivos (CIPROC), Costa Rica.

 0000-0003-2642-3899.

3 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Protección de Cultivos (CIPROC), Costa Rica.

 0000-0002-0321-7729.

4 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Granos y Semillas (CIGRAS), Costa Rica.

 0000-0003-0644-0579.

(FIESC). La presencia de especies de *Fusarium* varió según el año de recolección; en el 2018 se encontró la menor prevalencia (43%) y el 2019 la mayor (76%). El 71% de las especies de *Fusarium* se aislaron de muestras recolectadas en la región sur del país. *F. equiseti* se aisló solo de una muestra procedente de la región Atlántica, mientras que *F. incarnatum*, *F. oxysporum* y *F. verticillioides* se encontraron distribuidos en muestras colectadas en diferentes regiones del país. **Conclusión.** El presente estudio demostró la diversidad de especies de *Fusarium* que colonizan los granos de frijol negro en Costa Rica según la ubicación geográfica y el año de recolección de la muestra. La mayoría de las especies aisladas resultaron productoras de micotoxinas que causan efectos adversos en la salud humana.

*incarnatum-equiseti* species complex (FIESC). The presence of *Fusarium* species was high and varied according to the year of sample collection; thus 2018 was the year in which the lowest prevalence was found (43%) and 2019 the highest (76%). Seventy-one percent of the *Fusarium* species were isolated from samples collected in the Brunca region in southern Costa Rica. *F. equiseti* was isolated only from one sample obtained from the Huetar Atlántica region, while *F. incarnatum*, *F. oxysporum* and *F. verticillioides* were found distributed in samples collected in different regions of the country. **Conclusion.** The present study demonstrates the diversity of *Fusarium* species colonizing black bean grains in Costa Rica according to the geographical location and the year of collection of the samples. Most of the isolated species are well known producers of mycotoxins that cause adverse effects on human health.

## INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa originaria de América; se extiende desde el norte de México, Centroamérica, hasta el noroeste de Argentina (Blair *et al.* 2010). Actualmente, esta leguminosa, junto con otras 5 especies domesticadas pertenecientes al género *Phaseolus*, son las más consumidas principalmente en África, Asia y América Latina (FAO 2019). El grano contribuye a la seguridad alimentaria en esas regiones, debido a su alto valor nutricional como fuente de proteínas, minerales, vitaminas y antioxidantes (Broughton *et al.* 2003, Oomah *et al.* 2005, Gepts *et al.* 2008, Blair *et al.* 2010, Mensack *et al.* 2010). En Costa Rica, es de alto consumo (10,54 kg.persona<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) (FAO 2018) y ocupa el segundo lugar en área cosechada y sembrada después del arroz (SEPSA 2018). La producción de frijol durante el período

2018/2019 fue de 9510 toneladas (SEPSA 2019). La mayor producción se obtiene de la Región Brunca (51%), seguido de la Región Huetar Norte (30%), mientras que el resto de la producción se localiza en la Región Chorotega (16%) y otras regiones del país que producen menos del 3% (SEPSA 2019).

Los hongos que colonizan los granos de frijol afectan su calidad e inocuidad, por lo tanto, su identificación reviste importancia. Algunos de estos hongos son micotoxigénicos, los cuales, bajo condiciones de temperatura y humedad óptimas, pueden producir metabolitos secundarios conocidos como micotoxinas que afectan la salud humana y animal (Perrone *et al.* 2020). La contaminación de granos y cereales por micotoxinas es de interés mundial, ya que se estima que el 25% de los productos agrícolas están contaminados con estas toxinas (Eskola *et al.* 2019) y su ingestión puede causar enfermedades en

humanos a mediano y largo plazo como cáncer o inmunodeficiencias (Omotayo *et al.* 2019). Se conocen más de 300 micotoxinas, entre ellas las aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxinas, patulina, tricotecenos y zearalenona las de mayor relevancia pues afectan la seguridad alimentaria (Marín *et al.* 2013, Omotayo *et al.* 2019).

*Fusarium* Link es un género de hongos ampliamente distribuido y ha sido identificado como agente causal de enfermedades en diferentes cultivos, así como generador de numerosas micotoxinas (Summerell *et al.* 2010). Las principales toxinas producidas por *Fusarium* son fumonisinas, zearalenona y tricotecenos tipo A (HT-2 y toxina T-2) y tipo B (deoxinivalenol y nivalenol) (Munkvold 2017, Jiménez-García *et al.* 2018). Las especies pertenecientes a este género son saprófitas o patógenas (Singleton y Sainsbury 2006) y la mayoría de ellas producen micotoxinas, principalmente las siguientes: *F. acuminatum*, *F. langsethiae*, *F. poae*, *F. sambucinum*, *F. sporotrichioides*, *F. venenatum* (productoras de tricotecenos tipo A), *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. crookwellense*, *F. pseudograminearum*, *F. venenatum* (productoras de tricotecenos y zearalenona tipo A), *F. proliferatum* y *F. verticillioides* (productoras de fumonisinas) (Munkvold 2017). A diferencia de otros hongos, que contaminan los granos durante el secado y almacenamiento, *Fusarium* puede colonizar y producir toxinas tanto en el campo, en la poscosecha como en el almacén (Antonissen *et al.* 2014).

La mayor parte de la investigación relacionada con *Fusarium* y la prevalencia de micotoxinas asociadas a este hongo, se centra en cultivos de alta demanda en todo el mundo, como los cereales (Cinar y Onbaşı 2019). En granos de frijol común, por el contrario, hay poca información. Existen solamente 4 estudios a nivel mundial que reportan la presencia de *Fusarium* en granos de frijol común (Hitokoto *et al.* 1981, Abdel-Hafez 1984, Tseng *et al.* 1995, Castillo *et al.* 2004); sin embargo, el reporte más reciente es del 2004 y otros estudios, no precisan el tipo de frijol analizado. Por un lado, Castillo *et al.*

(2004) reportaron resultados de frijol negro producido en Latinoamérica, mientras que en Canadá, Japón y Taiwán reportaron la presencia de diferentes especies de *Fusarium* en granos de frijol: *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *F. solani* y *F. verticillioides* (Hitokoto *et al.* 1981, Tseng *et al.* 1995). Además, Abdel-Hafez (1984) reportó 3 especies de *Fusarium* (*F. oxysporum*, *F. solani*, *F. verticillioides*) en frijoles de Arabia Saudita; entretanto Castillo *et al.* (2004, 2002) reportaron varias especies de *Fusarium* y sus micotoxinas asociadas en granos de frijol negro argentino.

Debido a la necesidad de más información sobre las especies de *Fusarium* presentes en el frijol común cultivado en Latinoamérica, incluida Costa Rica, resulta necesario identificar las especies que colonizan este grano, aspecto que contribuiría a determinar el riesgo de contaminación por micotoxinas en frijol y buscar alternativas futuras para su manejo. El objetivo del presente estudio fue identificar las especies de *Fusarium* que colonizan los granos de frijol negro en Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Aislamiento de los hongos.** En 2017, 2018 y 2019, se recolectaron durante la poscosecha 49 muestras de grano, de 500 g cada una, de frijol común (*P. vulgaris* L.) de color negro, en diferentes regiones productoras de esta leguminosa en Costa Rica (Brunca, Central, Chorotega, Huetar Atlántico y Huetar Norte). Los granos se recolectaron en las fincas de personas productoras luego de la cosecha por lo que se encontraban almacenados por un período de no más de 30 días antes de salir a la venta al mercado. El grano de frijol recolectado se almacenó en bolsas plásticas que contenían entre 0,5-1 kg de grano cada una y se colocaron en una cámara fría a 5°C (41°F) y 85% humedad relativa. Se almacenaron en esas condiciones por un período menor a 24 meses hasta el aislamiento fúngico.

Luego, el aislamiento de los hongos de cada muestra se realizó de la siguiente manera:

se lavaron 50 g de frijol 3 veces con agua destilada esterilizada en autoclave (121°C, 1,05 kg.cm<sup>-2</sup>, 20 minutos). Después del último lavado, se colocaron 4 granos de frijol en placas Petri de 90 mm que contenían agar extracto de malta con pH de 5,5 [20 g.L<sup>-1</sup> de agar bacteriológico (Oxoid®) y 20 g.L<sup>-1</sup> de extracto de malta (Difco™)]. Se realizaron 10 repeticiones por muestra, cada una compuesta por una placa de Petri con 4 granos de frijol. Los granos se incubaron a 25°C (77°F) en la oscuridad hasta que se observó el crecimiento de hongos (2-3 días de incubación). Se tomó una sección de aproximadamente 0,5 cm de micelio del margen de la colonia en activo crecimiento y se colocó en placas de Petri de 53 mm con agar extracto de malta. Se incubaron a 25°C por un período de 7 días en oscuridad. Luego de este tiempo, se observaron al microscopio secciones de micelio y esporas de cada cultivo y se eligieron los aislamientos que de acuerdo con Leslie y Summerell (2006), presentaban características distintivas de *Fusarium*, que incluían la forma y longitud de las esporas.

Para la preparación de los cultivos monospóricos, se tomaron esporas asexuales de los aislamientos seleccionados y se prepararon mediante el método de dilución seriada descrito por Leslie y Summerell (2006) con las siguientes modificaciones: se agregaron 500 µl de agua del grifo autoclavada a cada placa que contenía micelio y la solución se mezcló mediante pipeteo para separar las esporas del micelio. La solución de esporas se colectó en un tubo de 2 ml y se utilizó una alícuota para calcular la concentración de esporas con un

hemocitómetro Fuchs-Rosenthal (Thomas Scientific, Horsham, PA, EE. UU.). La solución de esporas se diluyó para obtener 0,6 esporas.µl<sup>-1</sup> y se cultivó 50 µl en placas de Petri de 90 mm que contenían Czapek Dox Agar (CDA, 50,01 g.L<sup>-1</sup>, pH 8,2, PhytoTechnology Laboratories®). Los 50 µl se distribuyeron de forma homogénea sobre el medio de cultivo con ayuda de una espátula de Drigalski. Cada solución de esporas se cultivó de la misma manera por triplicado y se incubó a 25°C en oscuridad hasta que la germinación de cada espora fue visible a simple vista. Luego de 24 horas de incubación, 3 microcolonias de cada aislamiento se transfirieron por separado a un nuevo plato Petri con CDA y se incubaron en las mismas condiciones hasta que se produjo suficiente micelio para la extracción de ADN. Los aislamientos se numeraron consecutivamente de F1 a F79 para facilitar la identificación.

**Identificación molecular de los aislamientos de *Fusarium*.** El micelio proveniente de 79 cultivos monospóricos se separó cuidadosamente del medio y se liofilizó durante 3 días para eliminar totalmente el agua del material. El ADN se extrajo a partir de 20 mg de micelio macerado según el método de extracción de ADN a gran escala de (Brandfass y Karlovsky 2008). La identificación molecular de los aislamientos se realizó mediante PCR en tiempo real y secuenciación con cebadores específicos diseñados para amplificar una región corta y variable de los genes *TEF-1α* (factor de elongación de la traducción 1-alfa) y *RPB2* (subunidad de la ARN polimerasa II) en *Fusarium* (Tabla 1).

Tabla 1. Secuencia de los cebadores utilizados para la identificación de los aislamientos de *Fusarium* obtenidos de granos de frijol común de color negro (*Phaseolus vulgaris* L.). Costa Rica. 2017-2019.

Nombre del cebador (gen)	Secuencia (5'-3')	Longitud del amplicón	Referencia
RPB2-F2 ( <i>RPB2</i> )	CAGAGGTATGGAAGTTGTGTA	177 bp	Este estudio
RPB2-R2 ( <i>RPB2</i> )	ATnTCACGAACAAGnGAnAC		
EF1_F2 ( <i>TEF-1α</i> )	TGTCAATCAGTACTAACCA	257 bp	Este estudio
EF1_R2 ( <i>TEF-1α</i> )	TCATGTCTTGATGAAATCAC		

La correcta amplificación de ambos cebadores en *Fusarium* se validó previamente con ADN de los siguientes controles positivos: *F. avenaceum* DSM62161, *F. culmorum* DSM62118, *F. graminearum* NRRL13383, *F. langsethiae* ESIER1400, *F. oxysporum* DSM62338, *F. poae* DSM62376, *F. sporotrichioides* DSM62423, *F. tricinctum* DSM23357 y *F. verticillioides* NRRL20956. El ADN de los controles positivos fue donado por el Prof. Dr. Petr Karlovsky (Molecular Phytopathology and Mycotoxin Research, Universidad de Göttingen, Alemania) y los hongos, a partir de los cuales se obtuvo el ADN fueron adquiridos en la DSMZ (German Collection of Microorganism and Cell Cultures GmbH). La PCR en tiempo real se realizó en un termociclador Rotor-Gene Thermal Cycler RG-6000 (Corbett Research, Australia) y cada reacción de PCR se compuso de 12,3  $\mu\text{L}$  de mezcla maestra MeltDoctor (Applied Biosystems®, Thermo Fisher Scientific, EE. UU.), 0,35  $\mu\text{M}$  de cebadores directos e inversos (Tabla 1) y 2  $\mu\text{L}$  de ADN (17-167  $\text{ng } \mu\text{L}^{-1}$ ) en un volumen final de 15  $\mu\text{L}$ . Se utilizaron las siguientes condiciones de PCR para ambos cebadores: 95 °C durante 10 min, 40 ciclos de: 95°C durante 15 s y 60°C durante 1 min. Tras el ciclo final de la PCR, se llevó a cabo el análisis de las curvas de temperatura de fusión que se inició a 95° C con una disminución de 0,3°C a 50°C, esto para corroborar la amplificación y la especificidad de los amplicones. Los productos de PCR se enviaron a Macrogen (Corea del Sur) para su secuenciación. Se verificó la calidad de las secuencias y se realizó el alineamiento de las mismas con el empleo de la herramienta de alineación múltiple ClustalW (Thompson *et al.* 1994). Se eliminaron las secciones de secuencias que mostraban cromatogramas irregulares en los extremos 5' y 3' para evitar errores durante la identificación de las especies.

Las especies de *Fusarium* se identificaron mediante la herramienta Blast (Basic Local Alignment Search Tool) del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI) y se compararon con secuencias de la base de datos del GenBank (Clark *et al.* 2016). El análisis filogenético se realizó mediante el método de máxima verosimilitud con el programa MEGA-X (Análisis genético evolutivo molecular) versión 10.1 (Kumar *et al.* 2018). Los valores de bootstrap se generaron en cada nodo con 1000 réplicas.

## RESULTADOS

**Prevalencia de *Fusarium* en granos de frijol negro.** De las 49 muestras de frijol negro, se obtuvieron 79 aislamientos de hongos que se codificaron consecutivamente de F1 a F79. De esos 79 aislamientos, 28 (35%) fueron categorizados dentro del género *Fusarium* y se identificaron posteriormente a nivel molecular. Los demás hongos fueron descartados. La presencia de diferentes especies de *Fusarium* varió según el año de recolección de la muestra. En el 2017, el 50% de las muestras de frijol negro recolectadas estaban contaminadas con al menos una especie de *Fusarium*, mientras que en el 2018 y el 2019, el 43% y 76% de las muestras estuvieron contaminadas con *Fusarium* respectivamente.

**Identificación molecular de los aislamientos de *Fusarium*.** Del total de aislamientos de *Fusarium*, 82% fueron identificados dentro del complejo de especies *Fusarium incarnatum-equiseti* (FIESC) y clado VII según Watanabe *et al.* (2011) (Tabla 2 y Figura 1). Las especies identificadas dentro del FIESC fueron: *F. hainanense*, *F. equiseti* y *F. Incarnatum*; solo el 11% de los aislamientos (3 aislamientos) se identificaron como *F. oxysporum* y el 7% como *F. verticillioides* (2 aislamientos).

Tabla 2. Identificación de las especies de *Fusarium* aisladas de granos de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) Costa Rica.

Código del aislamiento	Identificación basada en <i>TEF-1α</i>			Identificación basada en <i>RPB2</i>			Complejo de especies de <i>Fusarium</i>	Clado <sup>2</sup>
	Especie	Identidad (%)	Valor E	Especie	Identidad (%)	Valor E		
F01	<i>F. hainanense</i>	99	1E-62	<i>F. sulawesiense</i>	99	3E-47	FIESC	Clado VII
F03	<i>F. oxysporum</i>	100	3E-64	<i>F. oxysporum</i>	90	1E-27	FOSC	Clado V
F05	<i>F. verticillioides</i>	100	2E-65	<i>F. verticillioides</i>	98	2E-45	FFSC	Clado V
F07	<i>F. verticillioides</i>	100	2E-65	<i>F. verticillioides</i>	98	2E-45	FFSC	Clado VII
F08	<i>F. incarnatum</i>	100	3E-64	<i>F. sulawesiense</i>	98	2E-45	FIESC	Clado VII
F15	<i>Fusarium</i> sp.			<i>F. equiseti</i>	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F16	<i>F. incarnatum</i>	100	3E-64	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	99	3E-47	FIESC	Clado VII
F17	<i>F. oxysporum</i>	100	3E-64	<i>F. oxysporum</i>	99	3E-47	FOSC	Clado V
F22	<i>F. incarnatum</i>	100	4E-67	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F23	<i>F. incarnatum</i>	100	4E-67	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F25	<i>F. incarnatum</i>	99	9E-59	<i>F. sulawesiense</i>	98	2E-45	FIESC	Clado VII
F26	<i>Fusarium</i> sp.	99	3E-90	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F28	<i>F. hainanense</i>	100	3E-90	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F29	<i>F. hainanense</i>	100	1E-93	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F30	<i>F. hainanense</i>	100	2E-91	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	2E-49	FIESC	Clado VII
F34	<i>F. hainanense</i>	99	5E-88	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F38	<i>F. hainanense</i>	100	2E-92	<i>F. sulawesiense</i>	99	3E-47	FIESC	Clado VII
F42	<i>F. hainanense</i>	99	8E-91	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F45	<i>F. hainanense</i>	99	2E-91	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F47	<i>Fusarium</i> sp.			<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F56	<i>F. oxysporum</i>	100	1E-94	<i>F. oxysporum</i>	99	3E-47	FOSC	Clado V
F65	<i>Fusarium</i> spp.	100	1E-93	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F68	<i>Fusarium</i> sp.	100	1E-93	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F69	<i>F. hainanense</i>	100	1E-93	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII
F73	<i>F. hainanense</i>	99	2E-91	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	2E-49	FIESC	Clado VII
F75	<i>Fusarium</i> sp.	100	1E-93	<i>F. sulawesiense</i>	99	3E-47	FIESC	Clado VII
F76	<i>F. hainanense</i>	99	6E-92	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	99	3E-47	FIESC	Clado VII
F79	<i>Fusarium</i> sp.	100	1E-93	<i>Fusarium</i> sp.FIESC	100	7E-49	FIESC	Clado VII

1 Especie más probable basado en el porcentaje de identidad y en el valor E.

2 Separación de clados basada en Watanabe *et al.* (2011).

Secuencias combinadas de las regiones parciales de los genes *RPB2* y *TEF-1α*. FIESC: Complejo de especies *Fusarium incarnatum-equiseti*, FFSC: Complejo de especies *Fusarium fujikuroi*, FOSC: Complejo de especies *Fusarium oxysporum*. F# = código del aislamiento de *Fusarium*.

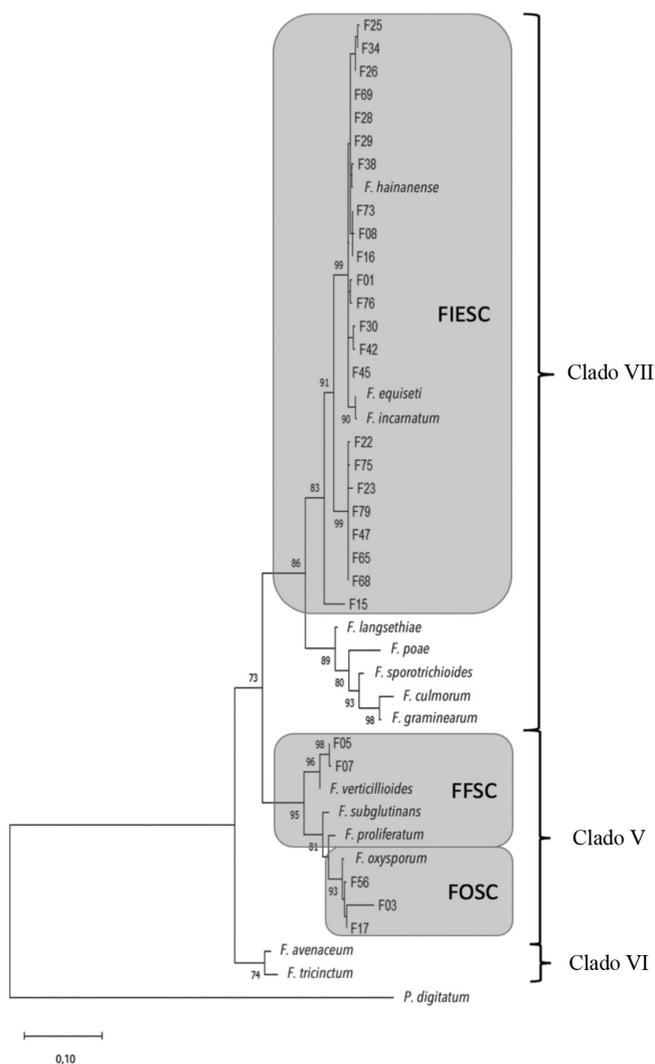


Figura 1. Árbol de máxima verosimilitud de los aislamientos de *Fusarium* obtenidos a partir de granos de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en Costa Rica.

Las similitudes se infirieron a partir de las secuencias parciales combinadas de los genes *RPB2* y *TEF-1 $\alpha$* . En cada nodo se muestran los valores de Bootstrap superiores al 70% para 1000 réplicas.

FIESC = complejo de especies *Fusarium incarnatum-equiseti*, FFSC = complejo de especies *Fusarium fujikuroi*, FOOSC = complejo de especies *Fusarium oxysporum*.

La separación de clados se basó en (Watanabe *et al.* 2011). F# = código del aislamiento de *Fusarium*. Se utilizó *Penicillium digitatum* como grupo externo.

Las especies más abundantes de *Fusarium* en el 2017 y 2019 incluyeron las pertenecientes al complejo de especies *Fusarium incarnatum-equiseti* (FIESC), mientras que en el 2018 la mayoría de las muestras estaban contaminadas

con *F. incarnatum* (Figura 2). Por otro lado, *F. equiseti*, solo estuvo presente en una muestra del 2018 y *F. oxysporum* estuvo presente en los 3 años evaluados, mientras que *F. verticillioides* solo en muestras del 2017 y 2018 (Figura 2).

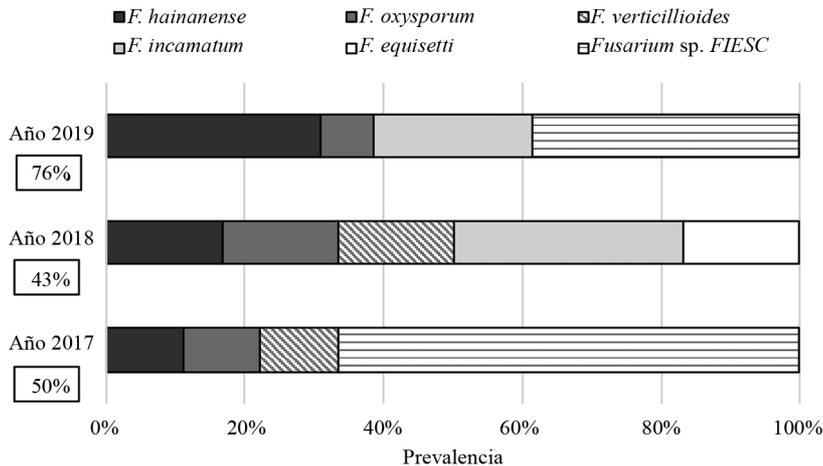


Figura 2. Prevalencia de especies de *Fusarium* aisladas de granos de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) recolectadas en 2017, 2018 y 2019 en Costa Rica. La identificación de las especies se realizó según las secuencias parciales combinadas de los genes RPB2 y TEF-1 $\alpha$  (ver Tabla 2).

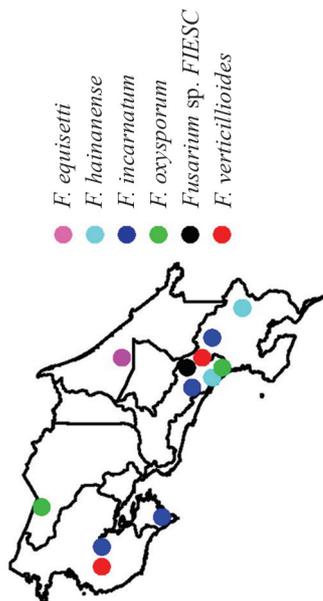
Los porcentajes dentro de cada cuadrado se refieren a la prevalencia de *Fusarium* spp. en cada año.

La mayoría de las muestras fueron recolectadas en Pérez Zeledón, San José (Región Brunca) (Tabla 3), de las cuales se aisló el 71% de las especies de *Fusarium*. De los frijoles de esta Región se recuperaron 4 de las 6 especies identificadas de *Fusarium* en granos de frijol negro: *F. hainanense*, *F. incarnatum*, *F. oxysporum* y *F. verticillioides*, además, se aislaron especies

que no pudieron ser identificadas pertenecientes al complejo de especies FIESC (*Fusarium* sp. FIESC) (Tabla 3). *F. equiseti* se aisló solo de una muestra proveniente de la Región Huetaar Atlántica (Siquirres, Limón), mientras que *F. incarnatum*, *F. oxysporum* y *F. verticillioides* se encontraron distribuidos en muestras de frijol de diferentes regiones del país.

Tabla 3. Especies de *Fusarium* aisladas de granos de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) recolectadas en diferentes regiones agroecológicas. Costa Rica durante 2017, 2018 y 2019.

Localización geográfica	Número de muestras colectadas (%)	Especies <i>Fusarium</i>
Región Brunca	28 (57%)	<i>F. incarnatum</i>
		<i>F. hainanense</i>
		<i>F. oxysporum</i>
		<i>F. verticillioides</i>
		<i>Fusarium</i> sp. <i>FIESC</i>
Región Huetar Norte	8 (16%)	<i>F. oxysporum</i>
Región Chorotega	6 (12%)	<i>F. incarnatum</i>
		<i>F. verticillioides</i>
Región Central	4 (8%)	None
Región Huetar Atlántico	3 (6%)	<i>F. equiseti</i>



## DISCUSIÓN

Diversas especies de *Fusarium* han sido previamente aisladas de suelos, raíces, tallos y hojas del cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). La mayoría de estas especies han sido identificadas como *F. oxysporum* o *F. solani* y están relacionadas a enfermedades como fusariosis o podredumbre radicular (Alves-Santos *et al.* 1999, Montiel-González *et al.* 2005, Macedo *et al.* 2017, Cruz *et al.* 2018). Existen pocos estudios que reporten la presencia de especies de *Fusarium* que colonicen granos de frijol común a nivel mundial. Hitokoto *et al.* (1981), reportaron la presencia de *Fusarium* en granos de frijol común colectados en mercados en la ciudad de Tokio, Japón, sin embargo, no identificaron las especies. Abdel-Hafez (1984) aisló *F. oxysporum* y *F. solani* a partir de granos de frijol común en Arabia Saudita; mientras que Tseng *et al.* (1995) identificaron 5 especies de *Fusarium* en granos de frijol canadiense con una incidencia de 18%. En América Latina, (Castillo *et al.* 2002, 2004) reportaron la presencia de algunas especies de *Fusarium* en granos de frijol negro argentino, la mayoría identificadas como *F. semitectum* (prevalencia del 11%) y *F. graminearum* (prevalencia del 4,8%).

La mayoría (82%) de las especies de *Fusarium* aisladas de granos de frijol negro en Costa Rica, en el presente estudio, pertenecían al complejo de especies FIESC (*F. hainanense*, *F. incarnatum*, *F. equiseti* y otras), aunque también se identificaron *F. oxysporum* y *F. verticillioides* (Figura 1 y Tabla 2). Algunas de esas especies ya han sido reportadas en granos de frijol común en otros países (Abdel-Hafez 1984, Tseng *et al.* 1995, Castillo *et al.* 2002, 2004); no obstante, este es el primer reporte de *F. hainanense* y *F. incarnatum* identificados en granos de frijol común. Conocer las especies de *Fusarium* que colonizan los granos es relevante, ya que muchas pueden biosintetizar micotoxinas, metabolitos secundarios que tienen efectos adversos para la salud humana y animal (Wu *et al.* 2014, Ostry *et al.* 2017). Varios miembros del complejo de especies FIESC son saprófitos

y oportunistas; además, algunos de ellos son conocidos por su capacidad para producir micotoxinas como beauvericina (Logrieco *et al.* 1998), diacetoxiscirpenol, fusarenona X, nivalenol (Villani *et al.* 2016), zearalenona y deoxinivalenol (Avila *et al.* 2019).

Las otras 2 especies de *Fusarium* no pertenecientes al FIESC que se identificaron en las muestras de frijol común negro en Costa Rica, *F. oxysporum* y *F. verticillioides*, son importantes patógenos que colonizan las plantas, pero difieren en su potencial micotoxigénico. Por ejemplo, *F. oxysporum* no es un hongo conocido por su capacidad micotoxigénica, aunque se ha reportado que esta especie produce algunas micotoxinas dentro del grupo de los tricotecenos (Lee *et al.* 1986, Mirocha *et al.* 1989, Richard *et al.* 2007, Li *et al.* 2016). Asimismo *F. verticillioides* es una de las especies de *Fusarium* más relevantes por su capacidad para producir micotoxinas. Esta especie produce fumonisinas que son reconocidas por su potencial cancerígeno en humanos y animales (Norred 1993, Covarelli *et al.* 2012, Ostry *et al.* 2017).

Trabajos de investigación previos reportaron prevalencia de *Fusarium* menor al 19% en granos de frijol común (Hitokoto *et al.* 1981, Abdel-Hafez 1984, Tseng *et al.* 1995, Castillo *et al.* 2002, 2004), lo cual contrasta con estos resultados. En el presente trabajo se encontró una prevalencia de *Fusarium* de más del 43% en las muestras de granos de frijol negro colectadas en diferentes años (Figura 2). Estas muestras fueron recolectadas después de la cosecha en condiciones de almacenamiento en campo similares a las de Castillo *et al.* (2002, 2004); sin embargo, esas personas autoras reportaron alrededor de un 19% de prevalencia de *Fusarium* en granos de frijol negro argentino. Las condiciones climáticas pudieran explicar estas diferencias, ya que el frijol argentino proviene de la provincia de Salta, donde la temperatura y precipitación promedio anual son 20°C (68°F) y 500 mm, respectivamente (Portal informativo de Salta 2020). Mientras que en Pérez Zeledón (Región Brunca). En Costa Rica, donde se recolectaron la mayoría

de las muestras en este estudio se presentó una temperatura promedio anual de 23°C (74°F), pero la precipitación promedio anual es mucho más alta, 2944 mm (Climate-data.org 2020). Los patrones de alta precipitación se han relacionado previamente con la infestación por *Fusarium* en cereales y granos (Gamanya y Sibanda 2001, Bernhoft *et al.* 2012, Tsehaye *et al.* 2017) por lo que se esperarían valores elevados de prevalencia de este hongo en zonas de alta precipitación como Pérez Zeledón.

El presente estudio mostró por primera vez la diversidad de especies de *Fusarium* en granos de frijol negro en Costa Rica, donde la ubicación geográfica es considerada región agroecológica así como el año de recolección de la muestra. La prevalencia de especies de *Fusarium* en los granos de frijol negro fue alta, pues llegó a un 76% en muestras recolectadas en el 2019. La mayoría de los aislamientos de *Fusarium* pertenecen al complejo de especies FIESC que tienen varios integrantes con potencial micotoxigénico. Además, se identificaron 2 importantes especies fitopatógenas de *Fusarium*: *F. oxysporum* y *F. verticillioides*; esta última conocida por su potencial toxigénico, ya que produce fumonisina, una de las micotoxinas más relevantes desde el punto de vista de salud humana. Debido a que la capacidad de un hongo como *Fusarium* puede causar enfermedades en una planta o producir micotoxinas depende del sustrato y de las condiciones ambientales, se deberían realizar investigaciones complementarias para determinar el potencial que tienen, las especies identificadas en el presente estudio de causar enfermedades o producir micotoxinas en el frijol negro en Costa Rica.

### AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por el apoyo financiero otorgado para el desarrollo de esta investigación en el marco del proyecto VI-734-B9-038.

### LITERATURA CITADA

- Abdel-Hafez, SII. 1984. Mycoflora of bean, broad bean, lentil, lupine and pea seeds in Saudi Arabia. *Mycopathologia* 88(1):45-49.
- Alves-Santos, FM; Benito, EP; Eslava, AP; Díaz-Minguez, J. 1999. Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* strains from common bean fields in Spain. *Applied and Environmental Microbiology* 65(8):3335-3340.
- Antonissen, G; Martel, A; Pasmans, F; Ducatelle, R; Verbrugghe, E; Vandenbroucke, V; Li, S; Haesebrouck, F; Van Immerseel, F; Croubels, S. 2014. The impact of *Fusarium* mycotoxins on human and animal host susceptibility to infectious diseases. *Toxins* 6(2):430-452.
- Avila, CF; Moreira, GM; Nicolli, CP; Gomes, LB; Abreu, LM; Pfenning, LH; Haidukowski, M; Moretti, A; Logrieco, A; Del Ponte, EM. 2019. *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex associated with Brazilian rice: Phylogeny, morphology and toxigenic potential. *International Journal of Food Microbiology* 306:108267.
- Bernhoft, A; Torp, M; Clasen, P-E; Løes, A-K; Kristoffersen, AB. 2012. Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway. *Food Additives & Contaminants: Part A* 29(7):1129-1140.
- Blair, MW; González, LF; Kimani, PM; Butare, L. 2010. Genetic diversity, inter-gene pool introgression and nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from Central Africa. *Theoretical and Applied Genetics* 121(2):237-248.
- Brandfass, C; Karlovsky, P. 2008. Upscaled CTAB-Based DNA Extraction and Real-Time PCR Assays for *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* DNA in Plant Material with Reduced Sampling Error. *International Journal of Molecular Sciences* 9(11):2306-2321.
- Broughton, WJ; Hernández, G; Blair, M; Beebe, S; Gepts, P; Vanderleyden, J. 2003. Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. *Plant and Soil* 252(1):55-128.
- Castillo, M; Samar, M; Moltó, G; Resnik, S; Pacin, A. 2002. Trichothecenes and zearalenone production by fusarium species isolated from Argentinean black beans. *Mycotoxin Research* 18(1):31-36.
- Castillo, MD; González, HHL; Martínez, EJ; Pacin, AM; Resnik, SL. 2004. Mycoflora and potential for mycotoxin production of freshly harvested black bean from the Argentinean main production area. *Mycopathologia* 158(1):107-112.
- Cinar, A; Onbaşı, E. 2019. *Mycotoxins: The Hidden Danger in Foods*. London, UK., IntechOpen. p. 21.
- Clark, K; Karsch-Mizrachi, I; Lipman, DJ; Ostell, J; Sayers, EW. 2016. GenBank. *Nucleic Acids Research* 44(D1):D67-D72.

- Climate-data.org. 2020. El Clima (en línea). San José, Costa Rica, Municipalidad de Pérez Zeledón. Consultado 6 ago. 2020. Disponible en <https://www.perezzeledon.go.cr/index.php/turismo/informacion-turistica/el-clima.html>
- Covarelli, L; Stifano, S; Beccari, G; Raggi, L; Lattanzio, VMT; Albertini, E. 2012. Characterization of *Fusarium verticillioides* strains isolated from maize in Italy: Fumonisin production, pathogenicity and genetic variability. *Food Microbiology* 31(1):17-24.
- Cruz, AF; Silva, LF; Sousa, TV; Nicoli, A; de Paula Junior, TJ; Caixeta, ET; Zambolim, L. 2018. Molecular diversity in *Fusarium oxysporum* isolates from common bean fields in Brazil. *European Journal of Plant Pathology* 152(2):343-354.
- Eskola, M; Kos, G; Elliott, CT; Hajšlová, J; Mayar, S; Krska, R. 2019. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 0(0):1-17.
- FAO. 2018. New food balances. Roma, Italia (en línea). Consultado 22 feb. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
- FAO. 2019. The global economy of pulses. In Vikas, R; Kalamvrezos Navarro, D. Rome, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 174 p.
- Gamanya, R; Sibanda, L. 2001. Survey of *Fusarium moniliforme* (*F. verticillioides*) and production of fumonisin B1 in cereal grains and oilseeds in Zimbabwe. *International Journal of Food Microbiology* 71(2):145-149.
- Gepts, P; Aragão, FJL; Barros, E de; Blair, MW; Brondani, R; Broughton, W; Galasso, I; Hernández, G; Kami, J; Lariguet, P; McClean, P; Melotto, M; Miklas, P; Pauls, P; Pedrosa-Harand, A; Porch, T; Sánchez, F; Sparvoli, F; Yu, K. 2008. Genomics of Phaseolus beans, a major source of dietary protein and micronutrients in the tropics. In Moore, PH; Ming, R (eds.). *Plant Genetics and Genomics: Crops and Models*. New York, NY, Springer p. 113-143.
- Hitokoto, H; Morozumi, S; Wauke, T; Sakai, S; Kurata, H. 1981. Fungal contamination and mycotoxin-producing potential of dried beans. *Mycopathologia* 73(1):33-38.
- Jiménez-García, S; García-Mier, L; García-Trejo, JF; Ramírez-Gómez, XS; Guevara-González, RG; Feregrino-Pérez, AA. 2018. *Fusarium mycotoxins and metabolites that modulate their production*. London, UK., IntechOpen, vol. 3. p. 695.
- Kumar, S; Stecher, G; Li, M; Knyaz, C; Tamura, K. 2018. MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution* 35(6):1547-1549.
- Lee, US; Jang, HS; Tanaka, T; Toyasaki, N; Sugiura, Y; Oh, YJ; Cho, CM; Ueno, Y. 1986. Mycological survey of Korean cereals and production of mycotoxins by *Fusarium* isolates. *Applied and Environmental Microbiology* 52(6):1258-1260.
- Leslie, JF; Summerell, BA. 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. 5 ed. Iowa, USA, John Wiley & Sons. 402 p.
- Li, ZF; He, CL; Wang, Y; Li, MJ; Dai, YJ; Wang, T; Lin, W. 2016. Enhancement of trichothecene mycotoxins of *Fusarium oxysporum* by ferulic acid aggravates oxidative damage in *Rehmannia glutinosa* Libosch. *Scientific Reports* 6(1):33962.
- Logrieco, A; Moretti, A; Castella, G; Kostecki, M; Golinski, P; Ritieni, A; Chelkowski, J. 1998. Beauvericin production by *Fusarium* species. *Applied and Environmental Microbiology* 64(8):3084-3088.
- Macedo, R; Sales, LP; Yoshida, F; Silva-Abud, LL; Junior, ML. 2017. Potential worldwide distribution of *Fusarium* dry root rot in common beans based on the optimal environment for disease occurrence. *PLOS ONE* 12(11):e0187770.
- Marin, S; Ramos, AJ; Cano-Sancho, G; Sanchis, V. 2013. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology* 60:218-237.
- Mensack, MM; Fitzgerald, VK; Ryan, EP; Lewis, MR; Thompson, HJ; Brick, MA. 2010. Evaluation of diversity among common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from two centers of domestication using «omics» technologies. *BMC Genomics* 11(1):686.
- Mirocha, CJ; Abbas, HK; Kommedahl, T; Jarvis, BB. 1989. Mycotoxin production by *Fusarium oxysporum* and *Fusarium sporotrichioides* isolated from *Baccharis* spp. from Brazil. *Applied and Environmental Microbiology* 55(1):254-255.
- Montiel-González, L; González-Flores, F; Sánchez-García, BM; Guzmán-Rivera, S; Gámez-Vázquez, FP; Acosta-Gallegos, JA; Rodríguez-Guerra, R; Simpson-Williamson, J; Cabral-Enciso, M; Mendoza-Elos, M. 2005. *Fusarium* species on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) roots causing rots, in fives states of Central Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología* 23(1):1-10.
- Munkvold, GP. 2017. *Fusarium* Species and Their Associated Mycotoxins (en línea). In Moretti, A; Susca, A (eds.). *Methods in Molecular Biology*. New York, NY, Springer. p. 51-106. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6707-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6707-0_4).
- Norred, WP. 1993. Fumonisin-mycotoxins produced by *Fusarium moniliforme*. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 38(3):309-328.
- Omotayo, OP; Omotayo, AO; Mwanza, M; Babalola, OO. 2019. Prevalence of Mycotoxins and Their Consequences on Human Health. *Toxicological Research* 35(1):1-7.
- Oomah, BD; Cardador-Martínez, A; Loarca-Piña, G. 2005. Phenolics and antioxidative activities in common

- beans (*Phaseolus vulgaris* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85(6):935-942.
- Ostry, V; Malir, F; Toman, J; Grosse, Y. 2017. Mycotoxins as human carcinogens—the IARC Monographs classification. *Mycotoxin Research* 33(1):65-73.
- Perrone, G; Ferrara, M; Medina, A; Pascale, M; Magan, N. 2020. Toxicogenic Fungi and Mycotoxins in a Climate Change Scenario: Ecology, Genomics, Distribution, Prediction and Prevention of the Risk. *Microorganisms* 8(10):1496.
- Portal informativo de Salta. 2020. Clima de la provincia de Salta (en línea). Salta, Argentina, Ministerio de Defensa, Servicio Meteorológico Nacional. Consultado 6 ago. 2020. Disponible en <http://www.portaldesalta.gov.ar/clima.htm>
- Richard, E; Heutte, N; Sage, L; Pottier, D; Bouchart, V; Lebailly, P; Garon, D. 2007. Toxicogenic fungi and mycotoxins in mature corn silage. *Food and Chemical Toxicology* 45(12):2420-2425.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2018. Extensión sembrada y cosechada en hectáreas y producción en toneladas métricas, según cultivo. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. 1 p.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2019. Área sembrada y producción de frijol según región y subregión, por período agrícola 2016/17-2018/19. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. 1 p.
- Singleton, P; Sainsbury, D. 2006. *Dictionary of microbiology and molecular biology*. 3 ed rev. Chichester, West Sussex ; Hoboken, NJ, Wiley. 895 p.
- Summerell, BA; Laurence, MH; Liew, EY; Leslie, JF. 2010. Biogeography and phylogeography of *Fusarium*: a review. *Fungal Diversity* 44(1):3-13.
- Thompson, JD; Higgins, DG; Gibson, TJ. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research* 22(22): 4673-4680.
- Tsehaye, H; Brurberg, MB; Sundheim, L; Assefa, D; Tronsmo, A; Tronsmo, AM. 2017. Natural occurrence of *Fusarium* species and fumonisin on maize grains in Ethiopia. *European Journal of Plant Pathology* 147(1):141-155.
- Tseng, TC; Tu, JC; Tzean, SS. 1995. Mycoflora and mycotoxins in dry bean (*Phaseolus vulgaris*) produced in Taiwan and in Ontario, Canada. *Botanical Bulletin Academia Sinica Taipei* 36:229-234.
- Villani, A; Moretti, A; De Saeger, S; Han, Z; Di Mavungu, JD; Soares, CMG; Proctor, RH; Venâncio, A; Lima, N; Stea, G; Paciolla, C; Logrieco, AF; Susca, A. 2016. A polyphasic approach for characterization of a collection of cereal isolates of the *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex. *International Journal of Food Microbiology* 234:24-35.
- Watanabe, M; Yonezawa, T; Lee, K; Kumagai, S; Sugita-Konishi, Y; Goto, K; Hara-Kudo, Y. 2011. Molecular phylogeny of the higher and lower taxonomy of the *Fusarium* genus and differences in the evolutionary histories of multiple genes. *BMC Evolutionary Biology* 11(1):322.
- Wu, F; Groopman, JD; Pestka, JJ. 2014. Public health impacts of foodborne mycotoxins. *Annual Review of Food Science and Technology* 5(1):351-372.





## CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS GANADEROS DEL CARIBE SECO PARA CUANTIFICACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD DE SUELO\*

José Luis Contreras-Santos<sup>1/\*\*</sup>, Judith Martínez-Atencia<sup>2</sup>, Cindy Katherine Falla-Guzmán<sup>3</sup>,  
Jeyson Fernando Garrido-Pineda<sup>4</sup>, José Luis Rodríguez-Vitola<sup>5</sup>

**Palabras clave:** Propiedades físico-químicas suelo; degradación de suelo; fertilidad de suelo; calidad de suelo; sistemas de ganadería bovina.

**Keywords:** Physical-chemical properties of soil; soil degradation; soil fertility; soil quality; bovine livestock systems.

Recibido: 26/01/2021

Aceptado: 24/03/2021

### RESUMEN

**Introducción.** Los procesos de degradación del suelo están asociados principalmente a malas prácticas y cambios en su uso. Generar indicadores que permitan conocer el estado del suelo es necesario para buscar alternativas que permitan mejorar la calidad del suelo. **Objetivo.** Evaluar algunos indicadores edáficos en diferentes sistemas de ganadería bovina tradicionales en el Caribe Colombiano. **Materiales y métodos.** Se colectaron muestras de suelo de 72 fincas por triplicado, para un total de 216 muestras, distribuidas en los 6 departamentos (Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico, Cesar y Magdalena). Se evaluaron propiedades físicas y químicas del suelo con el fin de identificar los principales indicadores y construir los índices de calidad de suelo. **Resultados.** Se evidenciaron procesos

### ABSTRACT

**Characterization of livestock systems in the dry Caribbean for quantification of soil quality indicators. Introduction.** Soil degradation processes are mainly associated with poor management practices and changes in its use. Indicators that allow knowing the state of the soil is required to seek for alternatives that will help to improve soil quality. **Objective.** To evaluate some edaphic indicators in different traditional bovine livestock systems in the Colombian Caribbean. **Materials and methods.** Soil samples in triplicate were collected from 72 farms distributed in 6 departments (Cordoba, Sucre, Bolivar, Atlantico, Cesar and Magdalena), for a total of 216 samples. Soil physical and chemical properties were evaluated in order to identify the main indicators to develop a soil

\* Proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).

\*\* Autor para correspondencia. Correo electrónico: jlcontreras@agrosavia.co

1 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), C.I Turipaná, Colombia.  
 0000-0002-8179-3430.

2 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), C.I Turipaná, Colombia.  
 0000-0002-8275-2956.

3 Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), C.I Turipaná, Colombia.

 0000-0002-1266-8505.

4 Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), C.I Turipaná, Colombia.

 0000-0002-1405-1066.

5 Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), C.I Turipaná, Colombia.

 0000-0001-5095-1232.

de compactación en todas las fincas evaluadas, con valores de densidad aparente superiores a  $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ , con predominio de texturas medias a finas (franco). Se encontraron valores de materia orgánica por encima de 2% en los departamentos de Córdoba ( $3,18 \pm 0,99\%$ ) y Bolívar ( $3,10 \pm 0,55\%$ ), contrario a lo identificado en Atlántico, Cesar y Magdalena con contenidos inferiores a 2%. La capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICe) presentó valores superiores a  $20 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$  en la gran mayoría de los suelos evaluados, excepto los valores registrados en las fincas ubicadas en el departamento de Cesar. Los contenidos de P, S, Ca, Mg y K fueron altos en todas las fincas evaluadas. El índice de calidad del suelo está determinado por las propiedades químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica). **Conclusiones.** Se reconocieron procesos de compactación relacionados con altos valores de densidad aparente y bajo contenido de poros totales. El manejo de suelo bajo los sistemas ganaderos es determinante en la cuantificación del índice de calidad de suelo.

## INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina es considerada de gran importancia socio económica debido a que cerca de 1300 millones de productores se dedican a esta actividad lo que contribuye en un 40 – 50% del producto interno bruto (PIB) agrícola a nivel mundial (FAO 2020).

Los problemas ambientales relacionados con la producción ganadera bovina están relacionados con la pérdida de biodiversidad (flora y fauna), debido a la reducción de los ecosistemas naturales de bosques, alteración de ciclos biogeoquímicos y pérdida de la macrofauna edáfica como escarabajos coprófagos. La disminución de la cobertura vegetal y el pisoteo del ganado generan alteraciones de las propiedades físicas e

hidrológicas del suelo (Tovar *et al.* 2016) que se manifiestan principalmente en el incremento de la densidad aparente y la resistencia a la penetración, por causa de procesos de compactación que reducen espacios porosos y generan disminución de infiltración en el suelo y aumento de la escorrentía superficial, lo que desencadena en pérdida de capa superficial productiva (erosión) (Siavosh *et al.* 2000).

En Colombia, el 77,6% del suelo dedicado a la ganadería presenta algún grado de erosión ligera hasta muy severa con pérdida de suelo cercanas a  $25 \text{ ton suelo.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  (IDEAM y U.D.C.A 2015), lo que conlleva a que sea necesario desarrollar y aplicar diferentes metodologías para determinar el estado de calidad del suelo, además de monitorear los cambios relacionados

quality index. **Results.** Compaction processes were evident in all the evaluated farms with bulk density values higher than  $1.4 \text{ g.cm}^{-3}$  with a predominance of medium to fine textures (loam). Organic matter values above 2% were found in the departments of Cordoba ( $3.18 \pm 0.99\%$ ) and Bolívar ( $3.10 \pm 0.55\%$ ), contrary to what was identified in Atlantico, Cesar, and Magdalena with contents below to 2%. The effective cation exchange capacity presented values higher than  $20 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$  in most of the soils, except for the values registered in the farms located in the department of Cesar. The contents of P, S, Ca, Mg and K were high in all the evaluated farms. Soil quality index is determined by the chemical properties (pH, cation exchange capacity and electrical conductivity). **Conclusions.** Compaction processes related to high bulk density values and low total pore content were recognized. Soil management under the livestock systems is decisive in the quantification of the soil quality index.

con la actividad ganadera. La calidad del suelo es definida por el Comité para la Salud del Suelo de la Sociedad de Ciencia del Suelo de América como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, además de sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, sostener la salud humana y el hábitat. Para que este concepto sea funcional es necesario disponer de variables que contribuyan en la evaluación de la condición del suelo, mediante indicadores, que conllevan al aporte de información sobre los cambios o tendencias (Dumanski *et al.* 1998).

Los indicadores de la calidad de suelo se conciben como una herramienta de medición que debe ofrecer información sobre las propiedades, los procesos y las características de este, para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo en un periodo dado (Calderón *et al.* 2002). Los indicadores de la calidad del suelo pueden ser las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como los procesos que ocurren en este (SQI 1996).

Los indicadores de calidad del suelo permiten tener conocimiento de los diferentes grados o niveles de degradación de este recurso. Para la selección efectiva de indicadores en la evaluación de la calidad del suelo además de tener objetividad, se recomienda tener en cuenta las funciones del suelo productivas y ambientales (Barrera León *et al.* 2020).

La mayoría de los indicadores relacionados con la calidad del suelo, generados hasta el momento, son más amplios y abordan de manera general los servicios ecosistémicos en diferentes usos de la tierra (Lavelle *et al.* 2014, Velasquez y Lavelle 2019). Estos indicadores se pueden considerar como el insumo más importante en la planificación y posterior toma de decisiones en todo tipo de sistemas ganaderos, de forma que se pueda dar seguimiento preciso acerca de la influencia de este tipo de sistemas sobre la calidad del suelo.

Con el propósito de contribuir al conocimiento sobre los impactos de la ganadería

en Colombia y por medio de la utilización de indicadores de calidad del sector, surgió la presente investigación cuyo objetivo fue evaluar indicadores de calidad del suelo en diferentes sistemas ganaderos tradicionales del Caribe Seco Colombiano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprendió fincas de producción bovina tradicional, ubicadas en la región Caribe Colombiana, las cuales abarcan los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar, Magdalena, Atlántico y Cesar. Se identificaron fincas ganaderas con condiciones climáticas, edáficas y manejos similares. Las condiciones climáticas en el área de estudio presentaron un comportamiento unimodal biestacional (periodo seco diciembre-abril y de lluvias mayo-noviembre). La precipitación media anual (P, mm) registrada en las fincas seleccionadas varió de 1000 a 1500 mm.año<sup>-1</sup>, temperatura media anual (T, °C) de 28,1°C y humedad relativa (HR, %) entre 70 a 80%. Según la clasificación de Holdridge (2000) el área de estudio pertenece a la zona agroecológica Bosque Seco Tropical (BsT).

Se evaluaron 12 fincas por departamento para un total de 72 fincas, distribuidas en 7 municipios del departamento de Atlántico (Galapa, Baranoa, Luruaco, Candelaria, Manatí, Repelón y Sabanalarga), 7 municipios en el departamento de Bolívar (Magangué, Calamar, San Juan de Nepomuceno, Carmen de Bolívar, Zambrano, María La Baja y Mahates), 11 municipios en Cesar (Valledupar, Codazzi, La Paz, San Diego, Aguachica, La Gloria, Pelaya, Curumaní, La Loma, Bosconia y El Copey), 10 municipios en Córdoba (Chinú, Sahagún, Ayapel, Ciénega de oro, Cereté, Montería, Canalete, Puerto escondido y Pueblo nuevo), 5 municipios en Magdalena (Pivijay, Fundación, Plato, El difícil y Pueblo nuevo) y 11 municipios en Sucre (Los Palmitos, Corozal, Sincé, Chocho, San Pedro, San Marco, San Benito Abad, Sincelejo, Sampedo, Tolú y Toluviéjo). Los suelos del área de estudio pertenecen al orden Inceptisol, con

texturas medias a finas, bien a imperfectamente drenados, pendientes del terreno inferiores a <7%. Las coberturas de suelo representativas del área de estudio fueron: *Megathyrsus maximus* cv Mombasa, *Cynodon nlemfuensis*, *Bothriochloa pertusa*, *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria brizantha* cv. Toledo.

**Muestreo y análisis de suelos.** Se llevó a cabo durante el periodo de transición seco a lluvioso entre abril y mayo del 2016. Para la toma de muestras edáficas en cada finca se ubicó el área representativa de la misma, sobre las que se realizaron puntos de observación con dimensiones de 30 X 30 X 30 cm. En cada finca se tomaron muestras no perturbadas por triplicado con una distancia de 50 metros entre punto y semi perturbadas en las profundidades 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm, para obtener 638 muestras para análisis físico de suelo y 216 para análisis químico de suelo.

La materia orgánica (Walkley–Black), fósforo disponible (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), boro (B), cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), la acidez activa (potenciométrico, relación 1:1 P/V), la acidez potencial (H + Al) y la capacidad de intercambio catiónico potencial (CEC pH7) se determinaron mediante los métodos analíticos descritos por IGAC (2006). La densidad aparente ( $D_a$ ) se determinó con el uso del método del cilindro de volumen conocido ( $98,17 \text{ cm}^3$ ),  $D_a = M_{ss}/V_c$ , donde  $M_{ss}$  = masa de suelo seco (g) a  $105^\circ\text{C}$  por 24 hr y  $V_c$  = volumen del cilindro ( $\text{cm}^3$ ), la densidad real ( $D_r$ ) por el método del picnómetro, la Porosidad total (Pt) del suelo por la relación entre  $D_a$  y  $D_r$ ,  $Pt = (1 - (D_a/D_r)) \times 100$ . La distribución de partículas (textura) se determinó por el método de Bouyoucos (IGAC 2006). El índice de estabilidad estructural (IEE), se calculó según lo sugerido por Cherubin *et al.* (2016),  $IEE = ((CO \times 1,724) / (\text{limos} + \text{Arcilla})) \times 100$ .

**Cálculo de índice de calidad de suelo (ICS).** Se calculó un índice global de calidad

de suelo asociado a los sistemas de producción ganadero tradicional, con el fin de evaluar el efecto de este sistema productivo sobre la calidad del suelo.

Para el cálculo del ICS se utilizaron 21 variables, de las cuales 6 eran relacionadas con las propiedades físicas del suelo y 15 relacionadas con las propiedades químicas del suelo. Los datos de suelo de las profundidades 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm fueron promediados y se trabajó con la profundidad 0 a 30, para el cálculo del índice de calidad de suelo (ICS).

Con el fin de disminuir la similitud de los datos e identificar los indicadores más eficientes, se realizó la selección de un conjunto mínimo de datos (CMD), con un análisis de componentes principales (ACP) (Andrews *et al.* 2002, Mukherjee y Lal 2014, Cherubin *et al.* 2016), para la selección de los componentes que generan una mayor explicación del comportamiento del suelo, se seleccionaron los componentes propios  $\geq 1$  (Kaiser 1960), los cuales fueron retenidos y sometidos a rotación varimax que mejoraron la capacidad de interpretación de los componentes seleccionados (Masto *et al.* 2007). En cada componente solo se conservaron los indicadores con valor absoluto mayor y los que estuvieran dentro del rango de 10% por debajo de este (Andrews *et al.* 2002, Liu *et al.* 2015, Cherubin *et al.* 2015, 2016), al retener más de un indicador en los componentes, se revisó el análisis de correlación significativo de Pearson ( $p < 0,05$ ), se seleccionó el factor de mayor relevancia dentro del componente principal (Cherubin *et al.* 2015, 2016).

**Construcción del índice.** Luego de obtener el conjunto mínimo de datos (CMD), estos se transformaron mediante ecuaciones homotéticas no lineales y dieron valor a los indicadores de 0 a 1, en puntuaciones sin unidades (Andrews *et al.* 2002). La construcción de las curvas se realizó mediante la Ecuación 1: “más es mejor”, Ecuación 2: “menos es mejor” y “punto medio Óptimo” que es el promedio de las ecuaciones 1 y 2.

Ecuación 1

$$Puntuación = \frac{a}{\left[1 + \left(\frac{B - UB}{x - UB}\right)^S\right]}$$

Ecuación 2

$$Puntuación = \frac{a}{\left[1 + \left(\frac{B - LB}{x - LB}\right)^S\right]}$$

Donde

- a = valor máximo de la puntuación que para este caso es 1.
- B = valor de la referencia (Tabla 1).
- LB = umbral inferior.
- UB = umbral superior.
- x = valor encontrado en el indicador o variable estudiada.
- S = pendiente de la ecuación constante igual a -2,5.

Tabla 1. Valores de referencia.

Indicador	Unidad	LB	V_I	UB	P_O	C_P	Referencia
pH	sin unidad	4,9	6,3	7,9	5,5 - 7,3	Óptima	ICA 1992, MejíaKerguelen <i>et al.</i> 2009
CE	dS cm <sup>-1</sup>	0,1	0,3	2,7	< 2	Menos es mejor	ICA 1992, Roveda <i>et al.</i> 2012, Cortes <i>et al.</i> 2013
CICE	cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup>	1,1	17,9	38,4	> 20	Más es mejor	ICA 1992, Roveda <i>et al.</i> 2012, García Guzmán <i>et al.</i> 2019
IEE	sin unidad	1,1	5,6	17,7	> 9	Más es mejor	Fernández De Andrade 2014, Cherubin <i>et al.</i> 2016
Limo	%	4,3	28,4	57,6	25 -40	Óptimo	Burt 2014

pH; CE= conductividad eléctrica; CICE= capacidad de intercambio catiónico equivalente por suma de cationes; IEE= índice estabilidad estructural; L= limos; LB= umbral inferior; UB= umbral superior; V\_I= valor del indicador (media); P\_O.= punto óptimo; C\_P.= curva de puntuación.

Las puntuaciones obtenidas integran el índice mediante el enfoque aditivo ponderado (Masto *et al.* 2007) mediante la ecuación 3.

Ecuación 3

$$ICS = \sum_{i=1}^n W_i.S_i$$

Donde

- ICS = índice de calidad de suelo.
- Wi = peso de cada componente.
- Si = indicador retenido.

La ecuación fue normalizada al tomar como ICS máximo el valor de uno (1).

Los resultados normalizados del ICS se interpretaron con el uso de la Tabla 2, descrita por Cantú *et al.* 2009.

Tabla 2. Clases de calidad de suelo.

Índice de Calidad de Suelo (ICS)	Escala	Clase
Muy Alta Calidad	0,80 – 1,00	1
Alta Calidad	0,60 – 0,79	2
Moderada Calidad	0,40 – 0,59	3
Baja Calidad	0,20 – 0,39	4
Muy Baja Calidad	0,00 – 0,19	5

**Análisis estadístico.** Se realizó prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ), lo cual indicó que no se requiere transformación de los datos. El análisis de componentes principales (ACP) se realizó mediante el procedimiento PROC FACTOR para seleccionar un conjunto mínimo de datos (CMD), basado en un enfoque estadístico. La comparación de los valores promedios de las variables fisicoquímicas por departamento se realizó por medio de análisis de varianza (ANOVA) con el procedimiento PROC GLM, para evaluar los efectos del manejo dentro de cada departamento sobre los indicadores de suelo y valores de índice de calidad de suelo (ICS) determinado. En los casos en que se detectaron diferencias a un nivel de significancia  $p < 0,05$ , se realizó una prueba de separación de

medias al utilizar HSD de Tukey. Las correlaciones lineales se verificaron mediante el análisis de correlación de Pearson (PROC CORR).

## RESULTADOS

### Propiedades fisicoquímicas de suelo.

La textura en las fincas dentro de los departamentos evaluadas estuvo dominada por partículas mayores a 0,05 mm (Arenas y limos), con predominio de texturas medias a finas (Franco a Franco Arcillo Arenoso). Las partículas de arcilla menores de 0,002 mm evidenciaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) entre los departamentos, según el comportamiento diferencial en los contenidos de arcilla entre los municipios de Atlántico ( $25,31 \pm 12,59\%$ ) y Sucre ( $14,07 \pm 4,71\%$ ) (Tabla 3). El índice de estabilidad estructural mostró comportamiento diferencial ( $p < 0,05$ ) entre los departamentos de Córdoba y Magdalena (Tabla 3). La densidad aparente ( $D_a$ ,  $p < 0,05$ ) mostró valores elevados en casi todos los municipios con media general de  $1,48 \pm 0,17 \text{ g.cm}^{-3}$ , con rango de variación  $1,40 \pm 0,18 \text{ g.cm}^{-3}$  (Magdalena) a  $1,69 \pm 0,15 \text{ g.cm}^{-3}$  (Cesar) (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros físicos de suelo bajo sistema productivo ganadero (tradicional) en 6 departamentos de la Región Caribe Colombiana.

Propiedades +Abrev. Depto.	$D_a$ ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Pt (%)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	IEE	Clases texturales
ATL	$1,45 \pm 0,12$ b	$43,36 \pm 8,73$ b	$50,52 \pm 21,19$ a	$25,31 \pm 12,59$ a	$24,18 \pm 10,12$ a	$3,96 \pm 1,52$ ab	F-A-Ar
BOL	$1,42 \pm 0,10$ b	$46,41 \pm 3,94$ b	$46,68 \pm 16,80$ a	$19,20 \pm 12,71$ ab	$34,12 \pm 9,69$ a	$6,73 \pm 4,66$ ab	F
CES	$1,69 \pm 0,15$ a	$35,57 \pm 5,45$ a	$55,14 \pm 17,50$ a	$16,13 \pm 6,19$ ab	$28,73 \pm 13,93$ a	$4,08 \pm 2,21$ ab	F-Ar
CÓRD	$1,41 \pm 0,13$ b	$47,03 \pm 4,68$ b	$55,22 \pm 11,29$ a	$15,44 \pm 5,84$ ab	$29,34 \pm 10,01$ a	$7,43 \pm 3,43$ a	F-Ar
MAG	$1,40 \pm 0,18$ b	$47,80 \pm 6,72$ b	$45,54 \pm 18,98$ a	$26,22 \pm 11,19$ ab	$28,24 \pm 8,25$ a	$2,94 \pm 1,22$ b	F
SUC	$1,48 \pm 0,12$ b	$44,31 \pm 4,51$ b	$59,92 \pm 12,12$ a	$14,07 \pm 4,71$ b	$26,01 \pm 10,73$ a	$7,30 \pm 3,36$ a	F-Ar
<b>ANOVA</b>							
Media	$1,48 \pm 0,17$	$43,57 \pm 7,12$	$53,14 \pm 16,24$	$18,48 \pm 9,57$	$28,38 \pm 10,94$	$5,61 \pm 3,38$	
CV	9,03	13,11	31,65	50,49	39,23	55,21	
R <sup>2</sup>	0,56	0,55	0,25	0,34	0,28	0,42	
Sig.	**	**	ns	*	ns	**	

+Abrev. Depto.= ATL= Atlántico; BOL= Bolívar; CES= Cesar; CÓRD= Córdoba; MAG= Magdalena; SUC= Sucre;  $\pm$ = desviación estándar;  $D_a$ = densidad aparente ( $\text{g.cm}^{-3}$ ); Pt= porosidad total (%); IEE= índice de estabilidad estructural (adimensional); F-A-Ar= Franco- Arcilloso-Arenoso; F= Franco; F-Ar= Franco Arenoso; ANOVA= análisis de varianza; Sig= significancia estadística; ns= no significativo ( $p > 0,05$ ); \* significativo ( $p < 0,05$ ); \*\* altamente significativo ( $p < 0,0001$ ); Letras similares significa igual comportamiento; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación; CV= coeficiente de variación.

La reacción del suelo (pH), mostró comportamiento similar ( $p > 0,05$ ) en todas las fincas evaluadas con variaciones de  $6,12 \pm 0,99$  a  $6,54 \pm 0,49$  (ligeramente ácido). Los parámetros químicos de suelo Materia orgánica (MO), Conductividad eléctrica (CE) y Capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE), mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p < 0,0001$ ) entre las fincas en los departamentos evaluados. Los mayores contenidos de materia orgánica (MO) se presentaron en Córdoba ( $3,18 \pm 0,99\%$ ) y Bolívar ( $3,10 \pm 0,55\%$ ), contrario a lo evidenciado en Atlántico > Cesar > Magdalena con contenidos de materia orgánica inferiores a 2%. Las fincas evaluadas en el departamento de Magdalena presentaron el mayor índice de salinidad o conductividad eléctrica en el suelo, ya que registró  $0,89 \pm 1,04$  dS.cm<sup>-1</sup>, esto es, un incremento de más del 65% de lo consignado en los otros departamentos. Los valores reportados durante la evaluación en la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) evidenció que la gran mayoría de los suelos en las fincas evaluadas tienen alta capacidad de almacenar nutrientes de carga positiva o cationes, excepto los registrados en las fincas ubicadas en el departamento de Cesar, que evidenciaron valores inferiores a 10 cmol(+). kg<sup>-1</sup> (Tabla 4). Los elementos más presentes en el suelo fueron azufre, calcio, magnesio y sodio y expusieron diferencias estadísticas ( $p < 0,0001$ ) entre departamento, excepto el fósforo y potasio intercambiable ( $p > 0,05$ ). El contenido de azufre

(S) mostró comportamiento similar en 5 de los 6 departamentos evaluados, donde las fincas ubicadas en Magdalena evidenciaron ser las de mayor contenido promedio de S registrado ( $47,42 \pm 61,03$  mg.kg<sup>-1</sup>). El fósforo intercambiable en el suelo dentro de los predios evaluados presentó comportamiento similar con rango de variación de  $13,19 \pm 13,31$  a  $49,99 \pm 73,26$  mg.kg<sup>-1</sup>. Las bases de intercambio (calcio, magnesio, potasio y sodio) estuvieron en un rango de medio a alto en todos los departamentos, excepto en algunas ocasiones los valores estuvieron en el rango bajo en el departamento del Cesar. Los elementos menores como hierro, zinc, manganeso y boro sólo presentaron diferencias significativas ( $p < 0,005$ ) en los contenidos de zinc (Zn) y boro (B) entre los departamentos evaluados. Los valores registrados presentaron variación de medio a alto, lo que indica que no existieron deficiencias o/y toxicidad (Tabla 4). Algunas relaciones catiónicas mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) entre los municipios. La relación Ca/Mg; Mg/K, en todos los departamentos evaluados mostraron rangos adecuados, excepto las relaciones Ca/K; (Ca+Mg)/K, que presentaron valores superiores a 30 y 40 respectivamente, lo que indica deficiencia del elemento potasio (K) en el suelo. El departamento de Bolívar fue el que evidenció mayor inconveniente respecto a estas 2 relaciones con  $36,95 \pm 40,34$  (Ca/K) y  $52,21 \pm 19,86$  ((Ca+Mg)/K) (Tabla 4).

Tabla 4. Comportamiento de las características químicas del suelo dentro de cada departamento evaluado.

+Abrev. Depto. Propiedades	ATL		BOL		CES		CÓRD		MAG		SUC		ANOVA	
	LA	B	LA	B	LA	B	LA	B	LA	B	LA	B	Media	R <sup>2</sup> CV Sig
pH	6,34±0,62 a	LA 6,54±0,49 a	LA 6,30±0,84 a	LA 6,26±0,58 a	LA 6,12±0,99 a	LA 6,16±0,53 a	LA 6,29±0,68	LA 6,29±0,68	LA 6,16±0,53 a	LA 6,16±0,53 a	LA 6,16±0,53 a	LA 6,16±0,53 a	6,29±0,68	0,19 11,48 ns
MO (%)	1,84±0,86 b	B 3,10±0,55 a	A 1,68±0,69 b	B 3,18±0,99 a	A 1,61±0,75 b	B 2,66±0,87 ab	M 2,39±1,51	M 2,39±1,51	B 2,66±0,87 ab	B 2,66±0,87 ab	B 2,66±0,87 ab	B 2,66±0,87 ab	2,39±1,51	0,51 40,24 **
CE (dS.cm <sup>-1</sup> )	0,39±0,36 a	NS 0,29±0,13 a	NS 0,18±0,09 a	NS 0,25±0,13 a	NS 0,89±1,04 b	NS 0,20±0,06 a	NS 0,32±0,40	NS 0,32±0,40	NS 0,89±1,04 b	NS 0,89±1,04 b	NS 0,20±0,06 a	NS 0,20±0,06 a	0,32±0,40	0,38 119,53 **
CICs (cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup> )	19,78±1,45 a	M 20,81±4,26 a	A 7,56±4,24 b	B 21,49±8,11 a	A 21,11±11,18 a	A 20,35±10,76 a	A 17,93±9,88	A 17,93±9,88	A 21,11±11,18 a	A 21,11±11,18 a	A 20,35±10,76 a	A 20,35±10,76 a	17,93±9,88	0,46 48,47 **
<b>Elementos Mayores</b>														
S (mg.kg <sup>-1</sup> )	25,29±33,65 ab	A 9,08±10,89 b	B 4,95±5,29 b	B 7,67±6,38 b	B 47,42±61,03 a	A 3,5±1,67 b	B 13,35±26,44	B 13,35±26,44	B 47,42±61,03 a	B 47,42±61,03 a	A 3,5±1,67 b	B 3,5±1,67 b	13,35±26,44	0,39 185,07 **
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	29,98±51,36 a	M 49,99±73,26 a	A 37,21±60,79 a	B 30,55±46,40 a	B 13,19±13,31 a	B 33,98±54,64 a	M 33,19±57,48	M 33,19±57,48	B 13,19±13,31 a	B 13,19±13,31 a	B 33,98±54,64 a	M 33,19±57,48	33,19±57,48	0,19 172,27 ns
Ca (cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup> )	12,41±8,06 a	A 14,80±4,32 a	A 6,01±3,81 ab	M 13,64±5,78 b	A 13,37±8,64 a	A 14,29±7,90 a	A 12,03±6,95	A 12,03±6,95	A 13,37±8,64 a	A 13,37±8,64 a	A 14,29±7,90 a	A 14,29±7,90 a	12,03±6,95	0,42 52,57 *
Mg (cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup> )	5,43±3,22 a	A 5,15±1,12 a	A 7,49±0,74 b	A 6,96±2,81 a	A 5,95±3,11 a	A 5,23±3,08 a	A 4,88±3,16	A 4,88±3,16	A 5,95±3,11 a	A 5,95±3,11 a	A 5,23±3,08 a	A 5,23±3,08 a	4,88±3,16	0,53 53,17 **
K (cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,55±0,37 a	A 0,49±0,37 a	A 0,21±0,11 a	B 0,60±0,55 a	A 0,43±0,27 a	M 0,58±0,40 a	A 0,48±0,97	A 0,48±0,97	A 0,43±0,27 a	A 0,43±0,27 a	M 0,58±0,40 a	A 0,58±0,40 a	0,48±0,97	0,27 86,17 ns
Na (cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup> )	1,37±1,84 a	A 0,36±0,53 ab	B 0,13±0,12 b	B 0,28±0,22 ab	B 1,31±1,38 a	A 0,21±0,15 b	B 0,52±0,98	B 0,52±0,98	B 1,31±1,38 a	B 1,31±1,38 a	A 0,21±0,15 b	B 0,21±0,15 b	0,52±0,98	0,47 162,42 **
<b>Elementos Menores</b>														
Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	127,03±131,04 a	A 81,17±97,23 a	A 132,61±93,27 a	A 82,28±65,11 a	A 177,10±277,72 a	A 81,49±96,39 a	A 109,31±124,21	A 109,31±124,21	A 177,10±277,72 a	A 177,10±277,72 a	A 81,49±96,39 a	A 81,49±96,39 a	109,31±124,21	0,26 117,09 ns
Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	3,32±2,64 a	A 3,55±1,98 a	A 2,93±2,49 a	M 4,04±2,49 a	A 3,70±1,93 a	A 2,29±1,60 a	M 3,32±2,05	M 3,32±2,05	A 3,70±1,93 a	A 3,70±1,93 a	A 2,29±1,60 a	M 2,29±1,60 a	3,32±2,05	0,52 51,31 ns
Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	3,20±2,79 a	A 1,54±0,89 b	M 1,47±1,03 b	B 1,38±0,66 b	B 3,67±4,42 a	A 1,52±0,95 b	M 1,96±2,3	M 1,96±2,3	B 3,67±4,42 a	B 3,67±4,42 a	A 1,52±0,95 b	M 1,52±0,95 b	1,96±2,3	0,37 98,13 **
Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	6,57±6,62 a	M 3,63±2,87 a	B 5,38±2,81 a	M 4,78±4,37 a	B 7,88±7,56 a	M 3,54±1,84 a	B 5,16±4,54	B 5,16±4,54	M 4,78±4,37 a	M 4,78±4,37 a	M 3,54±1,84 a	B 3,54±1,84 a	5,16±4,54	0,26 90,51 ns
B (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,39±0,18 ab	M 0,43±0,24 a	A 0,23 ±0,098 b	M 0,34±0,13 ab	M 0,27±0,18 ab	M 0,33±0,13 ab	M 0,33±0,16	M 0,33±0,16	M 0,27±0,18 ab	M 0,27±0,18 ab	M 0,33±0,13 ab	M 0,33±0,13 ab	0,33±0,16	0,41 45,74 *
<b>Relaciones Cationicas</b>														
Ca/Mg	2,54±0,95 b	M 3,01±1,17 ab	M 5,85±5,17 a	A 2,09±0,95 b	M 2,46±1,15 b	M 2,80±0,91 ab	M 3,23±2,85	M 3,23±2,85	M 2,46±1,15 b	M 2,46±1,15 b	M 2,80±0,91 ab	M 2,80±0,91 ab	3,23±2,85	0,46 76,96 **
Mg/K	11,36±6,65 ab	M 14,18±7,45 ab	M 6,58±3,60 b	M 16,79±10,27 a	M 14,72±7,53 ab	M 12,04±7,50 ab	M 12,46±8,14	M 12,46±8,14	M 14,72±7,53 ab	M 14,72±7,53 ab	M 12,04±7,50 ab	M 12,04±7,50 ab	12,46±8,14	0,46 57,24 *
Ca/K	24,22±9,35 a	B 38,02±13,34 a	A 36,95±40,34 a	A 32,56±19,11 a	A 33,38±17,90 a	A 31,44±18,28 a	A 32,80±23,30	A 32,80±23,30	A 33,38±17,90 a	A 33,38±17,90 a	A 31,44±18,28 a	A 31,44±18,28 a	32,80±23,30	0,4 65,96 Ns
(Ca+Mg)/K	35,59±14,66 a	B 52,21±19,86 a	A 43,53±41,64 a	A 49,36±28,52 a	A 48,10±22,33 a	B 43,48±25,30 a	A 45,27±27,94	A 45,27±27,94	A 48,10±22,33 a	A 48,10±22,33 a	B 43,48±25,30 a	B 43,48±25,30 a	45,27±27,94	0,4 57,16 Ns

Las letras resaltadas en negrita son la interpretación de los valores obtenidos en las variables químicas de suelo ICA (1992). Las abreviaturas LA= ligeramente ácido; A= alto; M= medio; B= bajo; NS= no salino; ANOVA= análisis de varianza; Sig= significancia estadística; letras iguales es ns= no significativo (p>0,05); \*significativo (p<0,05); \*\* altamente significativo (p<0,0001); R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación; CV= coeficiente de variación.

**Análisis de componentes principales (ACP) y correlaciones de Pearson.** El análisis de componentes principales (ACP) permitió observar el comportamiento de los 21 indicadores fisicoquímicos de suelo evaluados, lo que destaca un conjunto mínimo de datos (CMD) capaz de explicar el comportamiento del suelo. Se encontró que 5 componentes principales (CP) obtuvieron valores propios  $>1$ , que explican el 77,7% de la varianza total (Tabla 5). El CP1 (explica el 31,1% de la varianza), aspecto que evidencia la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) con el valor de carga absoluto más alto (0,898), seguida de las bases intercambiables magnesio (Mg), calcio (Ca) (0,888; 0,812, respectivamente) y los parámetros físicos de suelo porosidad total (Pt) y densidad aparente (Da) (0,837 y 0,834 respectivamente), los cuales presentaron valores dentro del rango permitido del 10% del valor más grande. Los indicadores CICe, Mg, Ca, Pt y Da, se correlacionaron

significativamente (Tabla 6), por lo que se seleccionó el indicador de mayor carga CICe, para representar el CP1. Para CP2 (explica el 21,6% de la varianza) la conductividad eléctrica (CE) evidenció el mayor valor de carga (0,904), seguido del elemento mayor azufre (S, 0,856) que estuvo dentro del 10%. Los indicadores CE y S, evidenciaron alta correlación significativa (Tabla 6), por lo que se seleccionó la CE, para representar el CP2. Para CP3 (explica el 10% de la varianza) la reacción del suelo (pH) presentó el valor de carga más alto (0,867). El CP4 (explica el 8,1% de la varianza) el contenido de limo (L) en el suelo presentó el valor de carga más alto (0,838), y el CP5 (explica el 6,9% de la varianza) que identificó el índice de estabilidad estructural (IEE) con la mayor carga (0,733), seguido del contenido de arcilla (A) (-0,709) (Tabla 5), los indicadores IEE y A, presentaron correlación significativa (Tabla 6), por lo que seleccionó al IEE, para representar el CP5.

Tabla 5. Resultados análisis componentes principales.

	Componentes principales					
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	
<b>Autovalor</b>	6,5	4,5	2,1	1,7	1,4	
<b>Varianza (%)</b>	31,1	21,6	10,0	8,1	6,9	
<b>Acumulada (%)</b>	31,1	52,7	62,7	70,8	77,7	
Indicador de Suelo <sup>++</sup>	Vectores propios <sup>+</sup>					Comunalidades
Ar	-0,240	-0,138	-0,073	-0,701	0,609	0,944
A	0,329	0,367	-0,053	0,232	<b>-0,709</b>	0,803
L	0,068	-0,116	0,154	<b>0,838</b>	-0,284	0,824
Da	<b>-0,834</b>	-0,204	0,014	-0,020	0,032	0,739
Pt	<b>0,837</b>	0,186	-0,002	0,086	-0,064	0,746
IEE	0,497	-0,106	0,147	-0,221	<b>0,733</b>	0,865
pH	0,134	-0,030	<b>0,867</b>	-0,144	-0,055	0,795
MO	0,717	-0,079	0,256	0,219	0,448	0,835
CE	0,207	<b>0,904</b>	0,098	0,059	-0,085	0,881
CICe	<b>0,898</b>	0,119	0,297	0,032	-0,067	0,914
P	-0,094	0,040	0,745	0,336	0,217	0,725
S	0,235	<b>0,856</b>	0,074	-0,051	-0,225	0,847
Ca	<b>0,812</b>	0,038	0,400	-0,011	0,056	0,825
Mg	<b>0,888</b>	0,074	0,002	0,093	-0,181	0,835
K	0,442	0,010	0,545	0,287	-0,042	0,577
Na	0,254	0,677	-0,051	-0,014	-0,485	0,760
Fe	-0,275	0,573	-0,428	0,493	0,032	0,831
Mn	-0,088	0,222	-0,600	0,226	-0,041	0,470
Zn	-0,046	0,714	-0,248	0,454	0,090	0,788
Cu	0,162	0,260	-0,151	0,741	0,021	0,667
B	0,454	0,225	0,618	-0,016	0,056	0,642

<sup>+</sup> Los datos resaltados en negrita, fueron los seleccionados para la obtención del conjunto mínimo de datos (CMD) para obtener el índice de calidad de suelo (ICS);

<sup>++</sup> Las abreviaturas son las mismas que las utilizadas en las Tabla 3 y 4.

Tabla 6. Coeficiente de correlación de Pearson entre diferentes indicadores físico y químicos de suelo evaluados en 72 fincas en 6 departamentos, Colombia, 2016.

Indicador		Coeficientes de correlación Pearson, N = 216																				
		Arena	Arcilla	Limo	Da	Pt	IEE	pH	MO	CE	CICE	P	S	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Arena	$\beta$	-0,758 §<0,001	-0,821 §<0,001	0,222 0,065	0,222 0,065	-0,288 0,016	0,42 0,0003	-0,018 0,882	-0,134 0,269	-0,287 0,016	-0,311 0,009	-0,12 0,321	-0,293 0,014	-0,191 0,113	-0,378 0,001	-0,285 0,017	-0,456 §<0,001	-0,317 0,008	-0,137 0,258	-0,332 0,007	-0,503 §<0,001	-0,158 0,191
Arcilla		1	0,251 0,056	-0,298 0,012	0,006 0,001	0,377 0,001	-0,376 0,001	0,012 0,921	-0,014 0,908	0,391 0,001	0,401 0,001	-0,081 0,507	0,461 §<0,001	0,251 0,056	0,47 §<0,001	0,194 0,107	0,678 §<0,001	0,258 0,031	0,23 0,056	0,385 0,001	0,268 0,025	0,176 0,144
Limo			1	-0,069 0,572	0,141 0,245	-0,295 0,013	0,016 0,894	0,211 0,079	0,211 0,079	0,084 0,49	0,111 0,359	0,249 0,037	0,032 0,794	0,064 0,597	0,15 0,216	0,252 0,035	0,084 0,488	0,245 0,041	0,002 0,985	0,142 0,241	0,512 §<0,001	0,08 0,508
Da				1	-0,916 §<0,001	0,024 0,632	-0,058 0,632	-0,494 §<0,001	-0,377 0,001	-0,681 0,001	0,01 0,933	0,01 0,001	-0,406 §<0,001	-0,602 §<0,001	-0,653 §<0,001	-0,418 0,003	-0,325 0,006	0,108 0,375	0,098 0,419	-0,063 0,606	-0,244 0,042	-0,374 0,001
Pt					1	0,238 0,048	0,074 0,542	0,494 §<0,001	0,494 §<0,001	0,366 0,002	0,609 0,002	0,02 0,871	0,391 §<0,001	0,616 §<0,001	0,678 0,001	0,429 0,002	0,429 0,002	-0,08 0,51	-0,073 0,484	0,084 0,889	0,261 0,029	0,379 0,001
IEE						1	0,21 0,081	0,782 §<0,001	0,782 §<0,001	-0,072 0,553	0,422 0,003	0,136 0,261	-0,128 0,29	0,487 §<0,001	0,296 0,118	0,126 0,3	-0,208 0,084	-0,352 0,003	-0,207 0,086	-0,168 0,166	-0,182 0,132	0,333 0,005
pH							1	0,268 0,025	0,268 0,025	0,078 0,523	0,402 0,001	0,524 §<0,001	0,074 0,544	0,499 §<0,001	0,118 0,33	0,4 0,001	-0,006 0,96	-0,533 §<0,001	-0,465 0,014	-0,293 0,014	-0,116 0,339	0,513 §<0,001
MO								1	0,086 0,479	0,086 0,479	0,241 0,044	0,012 0,92	0,664 §<0,001	0,664 §<0,001	0,56 0,001	0,4 0,001	-0,019 0,876	-0,218 0,07	-0,215 0,074	-0,049 0,859	0,149 0,218	0,528 §<0,001
CE									1	0,326 0,006	0,019 0,875	0,9 §<0,001	0,245 0,041	0,245 0,041	0,261 0,029	0,163 0,178	0,642 §<0,001	0,454 0,681	0,05 0,681	0,559 0,681	0,296 0,013	0,284 0,017
CICE										1	0,136 0,26	0,321 0,007	0,955 §<0,001	0,955 §<0,001	0,867 0,001	0,555 0,001	0,303 0,011	-0,275 0,021	-0,179 0,138	0,03 0,807	0,15 0,217	0,575 §<0,001
P											1	-0,071 0,557	0,21 0,081	0,21 0,081	-0,067 0,58	0,455 0,001	-0,075 0,535	-0,135 0,266	-0,194 0,107	0,064 0,599	0,033 0,785	0,385 0,001
S												1	0,235 0,05	0,235 0,05	0,106 0,381	0,669 §<0,001	0,329 0,005	0,046 0,703	0,434 0,0002	0,285 0,017	0,316 0,008	
Ca													1	0,696 §<0,001	0,508 0,001	0,104 0,39	0,349 0,003	0,281 0,019	-0,064 0,601	0,087 0,473	0,571 §<0,001	
Mg														1	0,469 §<0,001	0,399 0,001	0,166 0,17	0,017 0,891	0,088 0,471	0,211 0,079	0,417 0,0003	
K															1	0,081 0,504	0,195 0,106	0,302 0,011	0,046 0,703	0,181 0,135	0,464 §<0,001	
Na																1	0,294 0,013	0,246 0,04	0,437 0,0002	0,134 0,269	0,224 0,062	
Fe																	1	0,377 0,001	0,715 0,001	0,479 0,001	0,264 0,027	
Mn																		1	0,474 §<0,001	0,236 0,049	0,273 0,022	
Zn																			1	0,482 §<0,001	0,042 0,73	
Cu																				1	0,015 0,9	

Φ Indicadores descritos en la Tabla 4.

β Los coeficientes de correlación de Pearson significativos (p < 0,05) están en negrita.

§ Probabilidad de error.

El conjunto mínimo de datos seleccionado (CMD) para explicar el comportamiento del suelo fueron; en el CP1, CICE; en el CP2, CE; en el CP3, pH; en el CP4, Limo (L) y en el CP5, IEE.

**Índices de calidad de suelo (ICS).** Con base en el conjunto mínimo de datos (CMD) y su participación por componente principal (CP), se construyeron los índices de calidad de suelo de

los parámetros fisicoquímicos obtenidos dentro del sistema productivo ganadero en los diferentes departamentos. El índice asociado a la conductividad eléctrica (CE), presentó mayor peso dentro de los índices obtenidos, seguido de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y reacción del suelo (pH). El índice de calidad del suelo (ICS) estuvo dominado por las propiedades químicas del suelo (Figura 1).

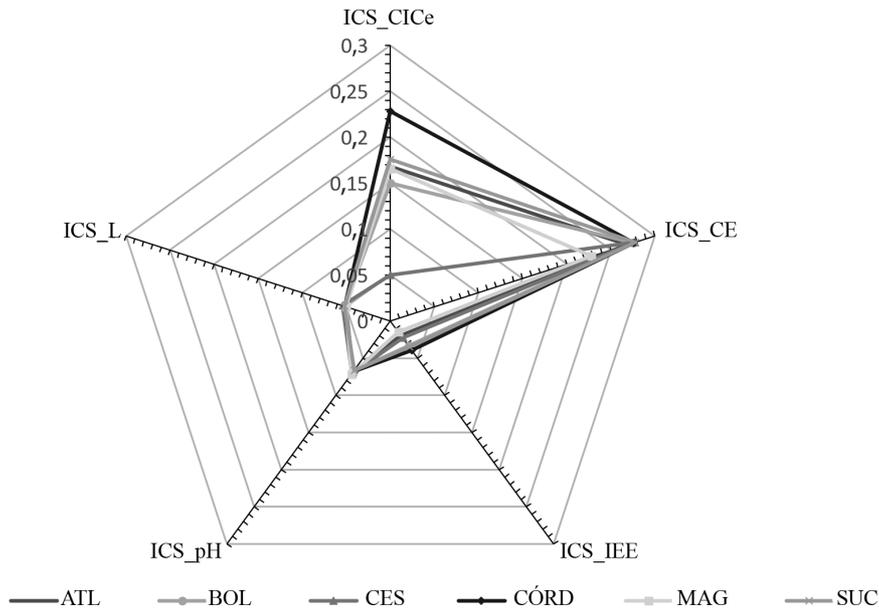


Figura 1. Índices de calidad de suelo (ICS) bajo el sistema productivo ganadero.

El análisis estadístico de los ICS (IEE, L, CE, CICE) evidenció comportamiento diferencial

significativo ( $p < 0,05$ ) en los departamentos evaluados (Tabla 7).

Tabla 7. Diferencias estadísticas entre el grupo de índices de calidad de suelo obtenidos.

+Abrev. Depto.	CMD				
	IEE	Limo	pH	CE	CICE
ATL	ab	a	a	A	ab
BOL	a	a	a	A	ab
CES	ab	a	a	A	b
CÓRD	ab	a	a	A	A
MAG	b	a	a	B	Ab
SUC	a	a	a	A	A
Sig.	**	ns	ns	**	**

CMD= Conjunto mínimo de datos.

Las abreviaturas se describieron en las Tablas 3 y 4.

\*\* alta significancia estadística (p<0,001); ns, no significativo.

Para la integración del índice de calidad de suelo (ICS), asociado con el CMD se

utilizó la ecuación 4. La misma se expone a continuación.

Ecuación 4

$$ICS = 0,40 \times CICE + 0,28 \times CE + 0,13 \times pH + 0,10 \times Limo + 0,09 \times IEE$$

Los resultados obtenidos mostraron diferencias estadísticas significativas (p<0,0001) dentro del sistema productivo ganadero respecto a los departamentos evaluados (Figura 2). Los

departamentos de Sucre y Córdoba presentaron los valores más altos de ICS, contrario a lo reportado por el departamento de Cesar bajo este sistema productivo con ICS de 0,47±0,03.

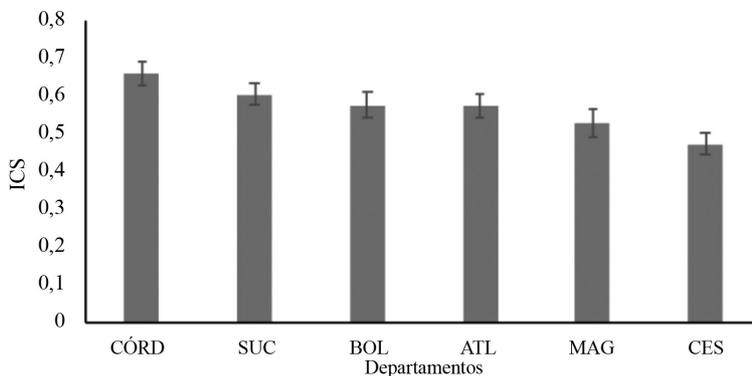


Figura 2. Índice de calidad de suelo (ICS) en sistemas de producción bovina tradicionales en el Caribe Colombiano.

## DISCUSIÓN

**Propiedades fisicoquímicas.** La densidad aparente ( $D_a$ ) mostró valores restrictivos para el desarrollo de las raíces de las gramíneas establecidas, de acuerdo con Burt (2014), valores superiores a  $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ , en suelos de texturas francas o franco-arenoso, son valores limitantes para el desarrollo radicular, y corresponden a suelos con algún grado de compactación (Ojeda-Quintana *et al.* 2018). Resultados similares reportaron Romero-Barrios *et al.* (2015), en suelos forestales y ganaderos, con predominio de texturas franco-arenosas, para evidenciar que los valores superiores a  $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ , son limitantes para el desarrollo radicular, lo cual puede estar asociado al empleo de prácticas inadecuadas de manejo. El aumento de la densidad aparente incrementó la compactación del suelo, aspecto que limitó la retención del agua (Muscolo *et al.* 2014). Diferentes personas autoras han reportado que valores inferiores al 50% en la porosidad total, está asociado a la reducción de los espacios porosos y procesos de compactación, lo que conlleva a una difusión baja del oxígeno dentro del suelo, baja infiltración del agua y alta escorrentía superficial (Salamanca y Amézquita 2015, Contreras Santos *et al.* 2020). El índice de estabilidad de agregados (IEE) se relacionó con el grado de degradación del suelo, relación que se presentó entre el contenido de materia orgánica (MO) y la fracción mineral fina del suelo. De acuerdo con Fernández De Andrade (2014) los valores inferiores a 5 indican suelos degradados, entre 5 y 7 suelos con alto riesgo a degradación, entre 7 y 9 suelos con moderado riesgo a la degradación y valores de IEE superiores a 9 indican suelos estructuralmente estables. Con base a esta afirmación 3 de los departamentos (Cesar, Atlántico y Magdalena) con suelos dedicados al sistema productivo ganadero se encuentran en estado de degradación estructural, situación que evidenció que las fincas evaluadas en el departamento de Magdalena presentaran las condiciones más críticas, aspecto asociado al bajo contenido de materia orgánica y altos contenidos de la fracción mineral fina (Tablas 3 y 4). Valores altos de

IEE, están relacionados con altos contenidos de materia orgánica (Reynolds *et al.* 2009). Las fincas evacuadas en el departamento de Bolívar son de alto riesgo de degradación, contrastado con lo encontrado en los departamentos de Córdoba y Sucre, en riesgo moderado de degradación estructural. Los resultados químicos de suelo (Tabla 4) se interpretaron mediante los estimativos conceptuales reportados por ICA (1992) para suelos en condición tropical y requerimientos nutricionales para cada gramínea establecida. La reacción del suelo (pH) se mantuvo en todas las fincas evaluados en suelos ganaderos una condición ligeramente ácida ( $>6$ ), la cual, no es restrictiva para las gramíneas establecidas (ICA 1992). Estudios realizados sobre tolerancia de acidez de diferentes gramíneas (*Brachiaria* y *Cynodon nlemfuensis*) encontraron que valores inferiores a pH 5,5, son restrictivos para algunas *Brachiarias* y pasto estrella (Mejía Kerguelen *et al.* 2009, Villalobos y Arce 2013). Los valores reportados en este estudio son adecuados para el desarrollo de las gramíneas establecidas en las diferentes fincas evaluadas. Los contenidos de materia orgánica en el suelo evidenciaron valores en rangos altos ( $>3$ ) (Tabla 4), excepto en los departamentos de Atlántico y Magdalena, donde el rango fue bajo ( $<2$ ) (ICA 1992), el contenido de materia orgánica (MO) presentó correlación significativa (Tabla 7) con los parámetros físicos de suelo evaluados, que resalta valores altos de MO mejoran las propiedades físicas del suelo (ej. disminución de la densidad aparente y aumento de la porosidad total del suelo). Resultados similares reportaron Casals *et al.* (2013) y Contreras Santos *et al.* (2019, 2020), cuando evaluaron diferentes sistemas de producción ganadero, donde encontraron que valores elevados de materia orgánica, mejoran las propiedades hidrodinámicas del suelo (retención de humedad), difusión de oxígeno, porosidad y disminución de procesos de compactación. Los valores obtenidos de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) fueron altos en los suelos bajo el sistema productivo ganadero en 5 de los departamentos evaluados, excepto en el departamento de Cesar

con valores bajos (ICA 1992, García-Guzmán *et al.* 2019). La CICE es considerada un indicador de gran relevancia en la calidad del suelo, basado en la interacción con las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Doran y Parkin 1994, Ojeda-Quintana *et al.* 2018).

**Índice de calidad de suelo (ICS).** El conjunto mínimo de datos (CMD) obtenidos para la construcción del índice de calidad de suelo (CICE, CE, pH, IEE y Limo) en sistemas ganaderos dentro de las fincas evaluadas en 6 departamentos, mostraron que los indicadores con mayor peso o sensibilidad para la construcción del ICS están relacionados con las propiedades químicas CE y CICE (Figura 1), asociadas a la concentración de sales y disponibilidad de nutrientes en el suelo. Diferentes investigaciones y personas expertas en el tema, han corroborado la importancia de los indicadores que se seleccionaron para este estudio (Doran y Parkin 1994, Andrews *et al.* 2002, Cherubin *et al.* 2016, Mukhopadhyay *et al.* 2016). El CMD seleccionados cumplen con los criterios establecidos por Cantú *et al.* (2009), número mínimo de variables o atributos de suelo que integran información de otras variables asociadas, incorpora indicadores físicos, químicos y fisicoquímicos, y en su mayoría son de fácil medición. Además, se encontró que los ICS asociados al CMD no superaron 0,39 (Figura 1) en la escala de 1 (Tabla 2) diseñada por Cantu *et al.* (2009), donde estos valores son considerados como bajos. La integración y/o adición (Ecuación 4) de los índices permitió conocer el estado de calidad de los diferentes suelos bajo el sistema productivo ganadero en los 6 departamentos (Figura 2). Córdoba ( $0,66\pm 0,10$ ) y Sucre ( $0,61\pm 0,12$ ) presentaron el índice de calidad de suelo más elevado, valor interpretado como un índice de alta calidad de suelo (Tabla 2), ubicándolos en suelos clase 2 (Cantu *et al.* 2009), los otros 3 departamentos (Bolívar>Atlántico>Magdalena) en un índice de calidad moderada, y los suelos evaluados en el departamento de Cesar ( $0,47\pm 0,03$ ) en ICS baja.

## CONCLUSIONES

Los suelos de las fincas ganaderas evaluadas en los 6 departamentos presentaron procesos de compactación, relacionados con altos valores de densidad aparente y bajo contenido de poros totales. El contenido de nutrientes del suelo fue mayor en el departamento de Córdoba > Magdalena > Sucre > Bolívar. El manejo de suelo bajo los sistemas de producción bovina implementado fue determinante en la cuantificación del índice de calidad de suelo (ICS), para evidenciar que los menores valores de calidad de suelo se registraron en el departamento de Cesar. El conjunto mínimo de datos (CMD) seleccionados para realizar la evaluación de índice de calidad de suelo (ICS), fueron respuesta instantánea del periodo de evaluación, al presentar un ICS susceptible a factores ambientales así como el uso del suelo y antrópicos.

## AGRADECIMIENTOS

Las personas autoras agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural (MADR) por el financiamiento de esta investigación, desarrollada dentro del proyecto “Estrategias para mejorar la competitividad y sostenibilidad de producción de carne y leche en el Caribe húmedo”.

## LITERATURA CITADA

- Andrews, SS; Karlen, DL; Mitchell, JP. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 90(1):25-45. DOI: 10.1016/s0167-8809(01)00174-8.
- Barrera León, J; Barrezueta Unda, S; García Batista, RM. 2020. Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas* 3(1):182-190.
- Burt, R. 2014. Soil survey field and laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N°. 51, Version 2. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, WA, USA. 457 p.

- Calderón, MA; Moreno, MM; Barra, JE. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36(5):605-620.
- Cantú, MP; Becker, AR; Bedano, JC; Schiviano, HF.; Parra, BJ. 2009. Evaluation of the impact of land use and management change by means of soil quality indicators, Cordoba, Argentina. *Cadernos Lab. Xeoloxico de Laxe. Coruna* 34:203-214.
- Casals, P; Romero, J; Rusch, GM; Ibrahim, M. 2013. Soil organic C and nutrient contents under trees with different functional characteristics in seasonally dry tropical silvopastures. *Plant and Soil* 374(1-2):643-659. DOI: 10.1007/s11104-013-1884-9.
- Cherubin, MR; Franco, ALC; Cerri, CE; Oliveira, DM; da S; Davies, CA; Cerri, CC. 2015. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils—Effects of land use change on soil chemical attributes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 211:173-184. DOI: 10.1016/j.agee.2015.06.006.
- Cherubin, MR; Karlen, DL; Cerri, CE; Franco, AL; Tormena, CA; Davies, CA; Cerri, CC. 2016. Soil Quality Indexing Strategies for Evaluating Sugarcane Expansion in Brazil. *PLoS one* 11(3):e0150860. DOI: 10.1371/journal.pone.0150860.
- Contreras Santos, J; Martínez Atencia, J; Cadena-Torres, J; Falla Guzmán, CK. 2019. Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe Colombiano. *Agronomía Costarricense* 44(1):29-41. DOI: 10.15517/rac.v44i1.39999.
- Contreras Santos, J; Martínez-Atencia, J; Cadena-Torres, J; Novoa-Yanez, R; Tamara-Morelos, R. 2020. Una evaluación de las propiedades fisicoquímicas de suelo en sistema productivo de maíz - algodón y arroz en el Valle del Sinú en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 23(2):1-10 DOI: 10.31910/rudca.v23.n2.2020.1375.
- Cortés, D; Pérez, J; Camacho Tamayo, J. 2013. Relación espacial entre la conductividad eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 16(2):401-408. DOI: 10.31910/rudca.v16.n2.2013.912.
- Doran, JW; Parkin, TB. 1994. Defining and assessing soil quality. In Doran, JW; Coleman, DC; Bezdicek, DF; Stewart, BA (eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI, USA, SSSA. p. 1-20.
- Dumanski, J; Gameda, S; Pieri, C. 1998. Indicators of land quality and sustainable land management. Washington DC, USA, World Bank Books. s.p. DOI: 10.1596/0-8213-4208-8.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. FAOSTAT. Ganadería [dataset]. Consultado 23 abr. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QA>
- Fernández De Andrade, L. 2014. Aplicación del índice de estabilidad estructural de Pieri (1995) a suelos montañosos de Venezuela (en línea). *Terra. Nueva Etapa XXX* (48):143-153. Consultado 22 ene. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=721/72132517007>
- García-Guzmán, S; Bautista-Montealegre, L; Bolaños-Benavides, M. 2019. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de cuatro municipios de Cundinamarca (Colombia) para la producción de plátano. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 22(1):e1192. DOI: 10.31910/rudca.v22.n1.2019.1192.
- Holdridge, L. 2000. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. 225 p.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de Asistencia Técnica N°. 25. Colombia, Instituto Colombiano Agropecuario. 64 p.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales); UDCA (Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales). 2015. Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia 2015. Bogotá D.C., Colombia. IDEAM - MADS. 62 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 6 ed. Bogotá, Colombia, Imprenta Nacional de Colombia. 648 p.
- Kaiser, HF. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educ. Psychol. Meas.* 29:141-151.
- Lavelle, P; Rodríguez, N; Arguello, O; Bernal, J; Botero, C; Chaparro, P; Fonte, SJ. 2014. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 185:106-117. DOI: 10.1016/j.agee.2013.12.020.
- Liu, Z; Zhou, W; Lv, J; He, P; Liang, G; Jin, H. 2015. A Simple Evaluation of Soil Quality of Waterlogged Purple Paddy Soils with Different Productivities. *PLoS one* 10(5):e0127690. DOI: 10.1371/journal.pone.0127690.
- Masto, RE; Chhonkar, PK; Singh, D; Patra, AK. 2007. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilization and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. *Environmental Monitoring and Assessment* 136(1-3): 419–435. DOI: 10.1007/s10661-007-9697-z.
- Mejía Kerguelen, S; Rao, I; Ramírez, H; Louw-Gaume, A; Gaume, A; Frossard, E. 2009. Atributos morfológicos y fisiológicos de genotipos de *Brachiaria* en un suelo con bajo fósforo disponible y alta saturación de aluminio (en línea). *Acta Agronómica* 58(1):1-8. Consultado 29 abr. 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1699/169913326001>

- Mukherjee, A; Lal, R. 2014. Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods. PLoS one 9(8):e105981. DOI: 10.1371/journal.pone.0105981.
- Mukhopadhyay, S; Masto, R. E; Yadav, A; George, J; Ram, LC; Shukla, SP. 2016. Soil quality index for evaluation of reclaimed coal mine spoil. Science of The Total Environment 542:540-550. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.035.
- Muscolo, A; Panuccio, MR; Mallamaci, C; Sidari, M. 2014. Biological indicators to assess short-term soil quality changes in forest ecosystems. Ecological Indicators 45:416-423. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.04.047.
- Ojeda-Quintana, LJ; Machado-Díaz, Y; Bernal-Carrazana, Y; Hernández-Vilches, ME; Font-Vila, L; Hernández-Rodríguez, C; Casanovas-Cosío, E. 2018. Soil quality index in the Animal Husbandry Enterprise El Tablón (Cienfuegos, Cuba). Pastos y Forrajes 41(1):13-20.
- Reynolds, WD; Drury, CF; Tan, CS; Fox, CA; Yang, XM. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. Geoderma, 152(3-4):252-263. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.06.009.
- Roveda, G; Peñaranda, A; Ramírez, M; Baquero, I; Galindo, PR. 2012. Diagnóstico de la fertilidad química de los suelos de los municipios de Granada y Sylvania para la producción de uchuva en Cundinamarca. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 13(2):179-188. Consulta 18 may. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945033007>
- Romero-Barrios, C; García-Gallegos, E; Hernández-Acosta, E. 2015. Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de La Malinche, Tlaxcala, México. REIBCI 2(5):63-70.
- Salamanca, A; Amézquita, E. 2015. Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia. RIAA 6(1):43-52.
- Siavosh, S; Rivera, J; Gómez, M. 2000. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. Cali, Colombia, FAO-CIPAV. p. 77-95.
- SQI (Soil Quality Institute). 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA natural resources conservation service. The National Soil Survey Center / The Soil Quality Institute, NRCS, USDA /The National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA. s.p.
- Tovar, H; Noriega, J; Caraballo, P. 2016. Efecto de la ivermectina sobre la estructura del ensamble de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Aphodiinae Scarabaeinae) en las sabanas colombianas de la región Caribe. Actualidades Biológicas 38(April):157-166. DOI: 10.17533/udea.acbi.v38n105a03.
- Velasquez, E; Lavelle, P. 2019. Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. Acta Oecologica 100:103446. DOI: 10.1016/j.actao.2019.103446.
- Villalobos, L; Arce, J. 2013. Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. I. Disponibilidad de biomasa y fenología. Agronomía Costarricense 37(1):91-101.





## Nota técnica

# “TAYNÍ”: VARIEDAD DE FRIJOL COMÚN MESOAMERICANO DE GRANO ROJO BRILLANTE

Néstor Felipe Chaves-Barrantes<sup>1/\*</sup>, Juan Carlos Hernández-Fonseca<sup>2</sup>,  
Rodolfo Araya-Villalobos<sup>3</sup>, Juan Carlos Rosas-Sotomayor<sup>4</sup>

**Palabras clave:** Decoloración del grano; fitomejoramiento participativo; *Phaseolus vulgaris* L; tonalidad del color del grano.

**Keywords:** Grain coat discoloration; participatory plant breeding; *Phaseolus vulgaris* L; grain coat color tone.

Recibido: 14/07/2020

Aceptado: 12/01/2021

## RESUMEN

**Introducción.** El frijol de grano rojo es el segundo más consumido en Costa Rica. El mercado penaliza el precio del grano rojo oscuro y exige variedades de tono claro y brillante, aunque, las personas productoras requieren cultivares resistentes a patógenos y de alto potencial de rendimiento. **Objetivo.** Describir el proceso de desarrollo y las principales características agronómicas de la variedad Tainí. **Materiales y métodos.** Esta variedad se derivó del cruzamiento triple Tío Canela 75 // SRC1-1-18 / SRC 1-12-1 realizado en 1999 en la Escuela Agrícola Panamericana (Honduras). Fue evaluada en Costa Rica entre el 2002 y el 2008, por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria y la Universidad de Costa Rica. El comportamiento y características agronómicas de Tainí se determinaron con base en la información obtenida de la evaluación de 4 viveros de adaptación, 28 ensayos de rendimiento y

## ABSTRACT

**“Tainí”:** shiny red-seeded Mesoamerican common bean cultivar. **Introduction.** Red seeded common bean is the second most consumed in Costa Rica. Market penalizes the price of dark red grain and requires shiny light red-seeded cultivars. At the same time, producers need pathogen resistant and good yielding varieties. **Objective.** Describe the process of development and the main agronomic characteristics of cultivar Tainí. **Materials and methods.** This cultivar was developed from the triple cross Tío Canela 75 // SRC1-1-18 / SRC 1-12-1 made in 1999 in Escuela Agrícola Panamericana (Honduras). It was evaluated from 2002 to 2008, by the Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria and the Universidad de Costa Rica. The agronomic performance and the agronomic characteristics of Tainí were determined through four nurseries, 28 trials and 32 validation plots, carried out under farmer

\* Autor para correspondencia. Correo electrónico: nestor.chaves@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), Alajuela, Costa Rica.

 0000-0001-8465-8130.

2 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), San José, Costa Rica.

 0000-0002-1915-3213.

3 Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), Alajuela, Costa Rica.

 0000-0001-8284-5856.

4 Escuela Agrícola Panamericana/Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.

 0000-0003-4396-702X.

32 parcelas de validación, llevados a cabo bajo manejo del productor en 12 localidades de Costa Rica. La variedad se liberó el 23 de febrero del 2012 en Pueblo Nuevo, Upala, Alajuela. **Resultados.** Tayní es una variedad de grano rojo claro brillante, que obtuvo un rendimiento de 1450 kg.ha<sup>-1</sup> bajo manejo de la empresa productora y de 2063 kg.ha<sup>-1</sup> en condiciones experimentales. Posee un hábito de crecimiento tipo II, resistencia intermedia a *Pseudocercospora griseola* (mancha angular) y a *Thanatephorus cucumeris* (mustia hilachosa), y resistencia a los virus del mosaico común (gen *I*) y del mosaico dorado amarillo (gen *bgm-1* y QTL mayor SW12). La tonalidad del rojo de su grano (grado 5) es de mayor valor comercial que la de Cabécar (grado 6). Bajo condiciones lluviosas, el grano de Tayní se decolora menos que el de Cabécar (1,1 y 2,8%, respectivamente). **Conclusiones.** La tonalidad del color rojo del grano y menor porcentaje de decoloración, le dan a Tayní ventaja comercial con respecto a Cabécar, la variedad de grano rojo más sembrada en Costa Rica.

management in 12 localities of Costa Rica. The cultivar was released on February 23<sup>th</sup>, 2012 in Pueblo Nuevo, Upala, Alajuela. **Results.** Tayní is a shiny red-seeded cultivar, with a yield of 1450 kg.ha<sup>-1</sup> under farmer management and 2063 kg.ha<sup>-1</sup> under experimental conditions. It has a growth habit type II, intermediate resistance to *Pseudocercospora griseola* (angular leaf spot) and *Thanatephorus cucumeris* (wet blight), and resistance to *Bean common mosaic virus* (dominant *I* gene) and *Bean golden yellow mosaic virus* (*bgm-1* gene and SW12 major QTL). Its grain has a tone of red (grade 5) with better commercial value than Cabécar (grade 6). Under rainy conditions the grain of Tayní discolors less than the grain of Cabécar (1.1 and 2.8 %, respectively). **Conclusions.** The red tone of its grain and its lower percentage of discoloration, give Tayní a commercial advantage over Cabécar, the most planted red seeded cultivar in Costa Rica.

## INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un componente básico en la dieta de las personas costarricenses, ya que lo consumen diariamente (37,5 g/p/día de peso crudo) (Rodríguez-González y Fernández-Rojas 2015). Constituye la principal fuente de proteína vegetal, y la de menor costo que dispone la población en general, en especial la de los estratos de menor ingreso (Graham y Rinalli 1997, Salazar-Rojas 1999). El cultivo de esta leguminosa está principalmente en manos de pequeñas personas productoras (< 5 ha), ubicadas en los cantones de La Cruz, Upala, Los Chiles, Pérez Zeledón y Buenos Aires (Hernández-Fonseca 2009b).

Las enfermedades tanto fungosas como virales y las condiciones climáticas, en especial

la cantidad y frecuencia de las precipitaciones, son las principales limitantes para la producción comercial y la calidad del grano de frijol rojo en Costa Rica (Hernández *et al.* 2018). Los problemas patológicos más frecuentes y que provocan pérdidas en rendimiento en el cultivo son los causados por *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & Braun (mancha angular), *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Dong (mustia hilachosa o telaraña) y *Aphelenchoides besseyi* Christie (“amachamiento”) (Araya-Fernández y Hernández-Fonseca 2006, Chaves *et al.* 2013). Aunque los virus del mosaico dorado amarillo (BGYMV) y del mosaico común (BCMV) no son una gran limitante para la producción de frijol en el país, como sí lo son en el resto de Centroamérica, México y el Caribe (Morales 2000), se prefieren aquellas variedades resistentes a

estos para prevenir potenciales epifitias e incremento del inóculo. Por su parte, las larvas de los brúquidos *Acanthoscelides obtectus* Say y *Zabrotes subfasciatus* Boheman también pueden afectar la calidad del grano y causar pérdidas considerables (hasta 35%) durante el almacenamiento (Ishimoto y Chrispeels 1996, Miklas *et al.* 2006, Singh y Schwartz 2011).

El frijol de grano color rojo es el segundo más consumido en Costa Rica, después del frijol negro. La tonalidad del color es un factor a considerar durante la comercialización, ya que el precio de compra a la empresa productora se puede ver afectado por esta característica (Hernández *et al.* 2018). El mercado exige un grano rojo claro brillante, razón por la cual las variedades de grano rojo oscuro son menos demandadas y se penaliza su precio. Esto ha limitado el uso de algunas de ellas a pesar de ser muy productivas, de arquitectura erecta y resistentes a enfermedades, como es el caso del cultivar Bribri (Hernández *et al.* 2001, Rosas *et al.* 2003). Sin embargo, las variedades de color rojo claro brillante usualmente presentan problemas de decoloración del grano, particularmente cuando la cosecha coincide con una condición lluviosa, lo que también afecta el precio de compra.

En Costa Rica, las variedades de frijol se han desarrollado en los últimos 25 años a través de fitomejoramiento participativo (FP), que es la metodología más efectiva para generar cultivos resistentes a enfermedades, de alto potencial productivo y adaptados a las condiciones de la pequeña persona productora, lo que genera una rápida adopción de estos (Almekinders y Elings 2001, Rosas 2001, Hernández y Araya 2004). También constituye la forma más económica para enfrentar las limitantes del cultivo y dar respuesta a las exigencias del mercado. Un ejemplo de ello es Cabécar, variedad de grano rojo, generada a través de FP y la de mayor uso en el país (Araya-Villalobos y Hernández-Fonseca 2007, Chaves-Barrantes *et al.* 2016). El objetivo del presente trabajo fue describir el proceso de desarrollo y las principales características agronómicas de la variedad Tayní.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Tayní, evaluada como la línea BCH 9901-56R, provino del cruzamiento triple Tío Canela 75 // SRC1-1-18 / SRC 1-12-1. Tío Canela 75 es un cultivar Mesoamericano de grano rojo pequeño, derivado del cruzamiento DOR 483 // DOR391 / Pompadour J, resistente al BGYMV y tolerante al estrés por calor (Rosas *et al.* 1997); además, posee el gen *bgm-1* y el *QTL* mayor de resistencia al BGYMV, identificados mediante los marcadores SCAR SR2 (Urrea *et al.* 1996) y SW12 (Blair *et al.* 2007), respectivamente. La línea parental SRC 1-1-18 se derivó del cruzamiento DOR 482 / DOR 476 y posee resistencia a los virus BCMV y BGYMV, y a los hongos que causan la antracnosis [*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. y Magn)] y la roya del frijol [*Uromyces phaseoli* (Pers.) Wint.] (Rosas *et al.* 2000). La línea parental SRC 1-12-1 se derivó del cruzamiento DOR 476 // XAN 155 / DOR 364; posee resistencia a los virus BCMV y BGYMV, y obtuvo un rendimiento promedio mayor a 1200 kg.ha<sup>-1</sup> en evaluaciones realizadas en Costa Rica durante 1998 (Araya *et al.* 1999, Rosas *et al.* 2000, Lorenzo *et al.* 2003).

El cruzamiento que dio origen a la población BCH 9901 y a Tayní, fue realizado a inicios de 1999 por el Programa de Investigaciones en Frijol de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP)/Zamorano, Honduras (N 14°00'36"; W 87°00'40; 800 msnm). El proceso de selección de la generación F<sub>1</sub> a la F<sub>6</sub> se llevó a cabo en la EAP, y la estrategia de selección se basó en la selección de plantas con mejor valor agronómico (Lépiz 1997), arquitectura erecta, precocidad, rendimiento y mayor valor comercial del grano. En mayo de 1999 (época denominada “primera”), se sembraron 40 semillas F<sub>1</sub> de la población BCH 9901, y se obtuvo la F<sub>2</sub> por autofecundación. En octubre de 1999 (época denominada “postrera”), se sembraron 500 semillas de la población F<sub>2</sub> y se seleccionaron 64 plantas individuales. En enero del 2000 (época denominada “verano”), se evaluaron las 64 familias F<sub>3</sub> y se seleccionaron las mejores plantas de 43 familias (5-6 plantas/familia cosechadas manualmente). En la época

de “primera” del 2000 se sembraron las 43 familias  $F_4$  y se seleccionaron las mejores plantas de las 27 mejores familias. Estas 27 familias  $F_5$  fueron evaluadas en la “postrera” del 2000 y se seleccionaron las mejores plantas de 16 familias  $F_6$ . La semilla de las familias  $F_6$  se incrementó en el “verano” del 2001 y éstas se incluyeron en el Vivero de Adaptación Centroamericano de Grano Rojo (VIDAC Rojo). El VIDAC Rojo fue distribuido en mayo del 2001 y se evaluó en 6 países miembros de la Red de Frijol de Centro América y el Caribe, incluida Costa Rica.

Tayní fue introducida en Costa Rica en el 2001 como parte del VIDAC Rojo, que estuvo conformado por 105 líneas de las poblaciones

BCH, BC3 y del ensayo PIF 02-04. En el 2002, el VIDAC Rojo fue sembrado en 4 localidades de Costa Rica: Puriscal, Concepción, El Amparo y Llano Azul (Tabla 1). Se sembró una repetición de cada línea, en unidades experimentales de una hilera simple de 3,0 m de largo, separada 0,5 m y con una densidad de 12 semillas por metro lineal. Cada 10 hileras se sembró alternadamente el testigo nacional y el testigo local. Como testigo nacional se empleó la variedad Bribri (Hernández *et al.* 2001); mientras que el testigo local fue la variedad nativa Sacapobres en Concepción, la variedad nativa Rojo del Estero en Puriscal y la variedad Bribri en El Amparo y Llano Azul (Araya-Villalobos y Hernández-Fonseca 2006).

Tabla 1. Localidades donde se evaluaron los ensayos y parcelas de validación para determinar las características agronómicas y potencial de rendimiento de la variedad de frijol común Tayní. Costa Rica 2001 - 2008.

Localidad	Cantón	Provincia	Región	Localización geográfica	Altitud (msnm)
Turrialba	Turrialba	Cartago	Central	N 09°51'10" O 83°38'28"	613
EEAFBM <sup>†</sup>	Alajuela	Alajuela	Central	N 10°00'26" O 84°15'57"	840
El Amparo	Los Chiles	Alajuela	Huetar Norte	N 10°50'11" O 84°39'24"	62
Llano Azul	Upala	Alajuela	Huetar Norte	N 10°50'37" O 84°59'37"	103
Pueblo Nuevo	Upala	Alajuela	Huetar Norte	N 10°58'57" O 85°07'39"	44
Puriscal	Puriscal	San José	Central	N 09°50'48" O 84°18'55"	1110
El Águila	Pérez Zeledón	San José	Brunca	N 09°07'50" O 83°31'29"	491
El Progreso	Pérez Zeledón	San José	Brunca	N 09°08'50" O 83°32'13"	493
Veracruz	Pérez Zeledón	San José	Brunca	N 09°06'00" O 83°32'37"	615
Chánguena	Buenos Aires	Puntarenas	Brunca	N 08°55'38" O 83°13'29"	462
Concepción	Buenos Aires	Puntarenas	Brunca	N 09°06'18" O 83°28'14"	734
Piedras Azules	La Cruz	Guanacaste	Chorotega	N 11°03'12" O 85°19'23"	223

<sup>†</sup> Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica.

Después de ser evaluada en el VIDAC Rojo, Tayní fue incluida en el Vivero Preliminar Nacional (VPN) de líneas rojas debido a su rendimiento, arquitectura erecta y color de grano. El VPN Rojo, conformado por 36 genotipos, fue sembrado en el 2003 y 2004, este incluyó 34 líneas promisorias, el testigo nacional Bribri y el testigo local, que fue Cabécar en las localidades de Alajuela, Pueblo Nuevo y El Amparo; y la variedad nativa Sacapobres en Veracruz y Concepción (Tabla 1). Se establecieron 10 ensayos VPN Rojo, en un diseño de látice 6x6 con 3 repeticiones, y la unidad experimental estuvo conformada por 2 hileras de 3,0 m de largo, separadas a 0,5 m. En el VPN Rojo se evaluó la arquitectura, el tono del color del grano y el rendimiento de los distintos genotipos.

Durante el 2005 y 2006, Tayní fue evaluada en el Ensayo Nacional de Adaptación y Rendimiento (ENAR) de líneas rojas conformado por 10 genotipos: 8 líneas promisorias, el testigo nacional Bribri y el testigo local. En las localidades de Chánguena, Concepción, El Águila, El Progreso y Veracruz se utilizó la variedad Cabécar como testigo local; mientras que en El Amparo, Pueblo Nuevo y Piedras Azules se empleó la variedad Telire (Araya-Villalobos y Hernández-Fonseca 2007) (Tabla 1). Se establecieron un total de 18 ENAR Rojo, en un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. La unidad experimental consistió de 6 hileras de 2,5 m de largo, separadas a 0,5 m. La reacción de las líneas de frijol del ENAR Rojo a la mustia hilachosa, a la mancha angular, al amachamiento y a los virus BCMV y BGMV fue evaluada con la escala estándar de 1 a 9, del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), donde 1 = inmune y 9 = muy susceptible (CIAT 1987). Por otra parte, la decoloración del grano fue determinada según lo indicado en la norma técnica RTCR 384:2004 (MEIC *et al.* 2005) para grano contrastante y se obtuvo el rendimiento de cada línea en evaluación.

Los ensayos fueron fertilizados a los 8 días después de la siembra (dds) con una dosis

de 18 kg de N, 54 kg de  $P_2O_5$  y 18 kg de  $K_2O$  por hectárea. Las arvenses fueron controladas con el herbicida glifosato 15 días antes de la siembra, glufosinato de amonio a los 2 dds y fomesafen a los 22 dds. Se aplicó deltametrina para el combate de insectos (crisomélidos principalmente) y azoxistrobina para el manejo de enfermedades fungosas, como la mustia hilachosa y la mancha angular.

La fase de validación de Tayní se llevó a cabo durante el 2007 y 2008, junto con las líneas promisorias SRC 1-12-1-43 y MR 14215-9, seleccionadas del ENAR Rojo. En esta fase se evaluó el rendimiento y adaptación de las líneas promisorias en parcelas de validación, sembradas por la persona productora y manejadas bajo condiciones comerciales. Se sembraron 32 parcelas de validación, cuyo tamaño varió entre 500 y 3000 m<sup>2</sup>, en 9 localidades de Costa Rica: Guagaral, Concepción y Chánguena de Buenos Aires; El Águila y Veracruz de Pérez Zeledón; Pueblo Nuevo de Upala, El Amparo de Los Chiles, Turrialba y Piedras Azules de La Cruz (Tabla 1).

La calidad y valor comercial del grano de Tayní fueron evaluados en el 2009 por 7 representantes de las compañías que compran y comercializan el grano, y por 25 personas productoras. Representantes de las compañías evaluaron el valor comercial del grano, definido por su forma ovoide o ligeramente arrañada, tamaño pequeño (menos de 25 g por 100 semillas) y su color rojo claro brillante (Muñoz *et al.* 1993, Rosas *et al.* 2009), mediante el empleo de la escala estándar del CIAT (1987) adaptada, donde 1 es el mayor valor comercial y 9 el menor. Para evaluar la tonalidad del color del grano, se utilizó la escala de Melgar (2004), con un valor de 1 para el tono más claro y 9 para el tono más oscuro. Asimismo, empresas productoras evaluaron las características sensoriales como sabor, textura y densidad del caldo.

La reacción de Tayní al BCMV y al BGMV fue determinada a través de pruebas de laboratorio llevadas a cabo en la EAP/Zamorano, Honduras en 2012. El marcador molecular SCAR

SW13 se utilizó para determinar la presencia del gen *I*, ligado a la resistencia a BCMV; mientras que los marcadores SR2 y SW12 se utilizaron para determinar la presencia del gen recesivo *bgm-1* y del QTL mayor respectivamente, ligados a la resistencia al BGMV.

A los datos de rendimiento obtenidos en cada ensayo se les hizo un análisis de varianza (ANOVA) con ayuda del programa estadístico Statistica 6.0 (StatSoft, Inc. 1984-2001). La separación de medias de genotipos se realizó con la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) a una  $p < 0,05$ , mediante un análisis combinado para las diferentes épocas de siembra y localidades. Las calificaciones del nivel de reacción a los patógenos se analizaron a través de la prueba de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) y las de valor comercial del grano, por medio de la prueba de Wilcoxon para muestras independientes ( $p < 0,05$ ). Mediante observaciones de campo se registró la fenología y se hizo una descripción de las principales características morfológicas de la variedad Tayní, según los descriptores indicados en las guías de Muñoz *et al.* (1993) y Rosas *et al.* (2009), información fundamental para distinguirla de otras variedades.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tayní fue evaluada del 2002 al 2008 en 4 viveros, 28 ensayos y 32 parcelas de validación para determinar su grado de resistencia a los patógenos, comportamiento agronómico y potencial de rendimiento. La evaluación de la variedad se llevó a cabo en 12 localidades (Tabla 1), 9 de ellas localizadas en las principales zonas de producción de frijol de Costa Rica. La altitud de los sitios de evaluación varió desde los 44 msnm en Pueblo Nuevo hasta los 1110 msnm en Puriscal. Con ello se cubrió todo el rango de altitud, tipos de suelo, condiciones climáticas y zonas de vida donde se ubica la producción

comercial de frijol en Costa Rica. Al respecto, Pueblo Nuevo tiene una temperatura promedio de 25,9°C (mínima 19,5°C y máxima de 32,2°C) y una precipitación promedio anual de 2395 mm (Villalobos *et al.* 2013), mientras que Puriscal tiene una temperatura promedio de 24,0°C (mínima 19,0°C y máxima de 29,0°C) y una precipitación promedio anual de 2541 mm (Vahrson y Palacios 1993, Weather Spark 2020). Los suelos donde se siembra frijol son predominantemente ultisoles con niveles de fósforo (P) menores a 10 ppm (Hernández-Fonseca 2009a) y las áreas de producción están localizadas en el bosque premontano muy húmedo (bmh-P) y el bosque húmedo tropical (bh-T) de acuerdo con las zonas de vida de Holdridge (1978).

En el VIDAC Rojo evaluado en el 2002, Tayní tuvo un rendimiento promedio de 1319 kg.ha<sup>-1</sup>, mientras que los testigos local y nacional, 1094 kg.ha<sup>-1</sup> y 1056 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 2). En la evaluación de los VPN Rojo (2003-2004), Tayní alcanzó un promedio de rendimiento de 1198 kg.ha<sup>-1</sup>, que no difirió estadísticamente con la del testigo local pero sí del nacional (Tabla 2). En el ENAR, Tayní obtuvo un rendimiento de 1691 kg.ha<sup>-1</sup>, el cual no difirió del testigo local pero que fue inferior al testigo nacional (Tabla 2). En este mismo ensayo, Tayní alcanzó un promedio de rendimiento de 2063 kg.ha<sup>-1</sup> en las localidades de los cantones de Pérez Zeledón y Buenos Aires, similar al testigo local Cabécar (2091 kg.ha<sup>-1</sup>), lo que indica el potencial de rendimiento de la variedad en la región Brunca de Costa Rica, donde mayormente se emplean cultivares de grano rojo para la producción comercial. En general, Tayní alcanzó un rendimiento promedio que no difirió de la variedad Cabécar, utilizada como testigo local en 21 de los 28 ensayos VPN y ENAR. Cabécar es el cultivar de grano rojo más sembrado en Costa Rica (Chaves *et al.* 2016).

Tabla 2. Rendimiento promedio de la variedad de frijol común Tayní ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), comparado con los testigos local y nacional, en el Vivero de Adaptación Centroamericano de Grano Rojo (VIDAC), Vivero Preliminar Nacional (VPN) y el Ensayo Nacional de Adaptación y Rendimiento (ENAR). Costa Rica. Período 2002-2006.

Cultivar	Ensayo		
	VIDAC	VPN	ENAR
Tayní	1319	1198	1691
Testigo local†	1094	1352	1754
Bribri (testigo nacional)	1056	1455	1869
Media de ensayos	1136	1304	1832
DMS <sub>0,05</sub>	-	228	144

†Testigo local: VIDAC: Sacapobres en la región Brunca, Rojo del Estero en la región Central y Cabécar en la región Huetar Norte. VPN: Sacapobres en la región Brunca y Cabécar en las regiones Central y Huetar Norte. ENAR: Cabécar en la región Brunca y Telire en las regiones Huetar Norte y Chorotega.

Los resultados del ENAR en cuanto a la reacción de Tayní a los principales patógenos que afectan el cultivo en Costa Rica, indicaron que Tayní mostró resistencia intermedia (calificación de 4 a 6) a *P. griseola*, excepto en la localidad de Concepción (Tabla 3). Con respecto a *T. cucumeris*, mostró resistencia intermedia en todas las localidades, con excepción de El Águila (Tabla 3). Además, fue completamente susceptible a *A. besseyi* (calificación  $\geq 7$ ), al igual que las demás variedades comerciales disponibles, ya que aún no existe germoplasma con resistencia a este nematodo (Chaves-Barrantes y Araya-Fernández 2012). Durante

el desarrollo de los ensayos de campo no se observaron plantas infectadas por BGYMV o BCMV. Tayní posee el gen dominante *I* de resistencia al BCMV, confirmado mediante el marcador molecular SCAR SW13 (Haley *et al.* 1994, Melotto *et al.* 1996); el gen recesivo *bgm1*, determinado con el marcador SR2 (Urrea *et al.* 1996), y el QTL mayor de resistencia al BGYMV, encontrado a través del marcador SW12 (Miklas *et al.* 1996). Cabe mencionar que los tres progenitores de Tayní (Tío Canela 75, SRC 1-1-18 y SRC 1-12-1) presentan resistencia de campo al BCMV y al BGYMV, y poseen los genes de resistencia mencionados.

Tabla 3. Calificación promedio de la reacción de la variedad de frijol común Tayní a *Pseudocercospora griseola* (mancha angular) y *Thanatephorus cucumeris* (mustia hilachosa) en el Ensayo Nacional de Adaptación y Rendimiento (ENAR). Costa Rica. Período 2005 y 2006.

Localidad	Época de siembra <sup>†</sup>	Calificación promedio <sup>††</sup>		
		Tayní	Testigo local <sup>†††</sup>	Bribri (testigo nacional)
<i>Pseudocercospora griseola</i> (mancha angular)				
Piedras Azules	2005-C	5,3 a	4,3 a	5,3 a
Concepción	2006-A	6,7 a	6,0 a	4,7 a
Los Chiles	2006-C	1,8 a	1,0 a	1,0 a
<i>Thanatephorus cucumeris</i> (mustia o telaraña)				
Concepción	2005-A	6,0 b	4,0 a	2,8 a
El Águila	2006-A	7,5 a	3,0 a	2,5 a
Veracruz	2006-A	4,0 ab	6,3 b	3,3 a
Veracruz	2006-B	1,8 a	1,0 a	1,0 a
Los Chiles	2006-C	1,0 a	1,5 a	1,0 a

<sup>†</sup> Época de siembra: A (May-Ago); B (Oct-Ene); C (Dic-Mar).

<sup>††</sup> Calificación de la enfermedad (escala de 1-9) donde 1: sin síntomas y 9: completamente infectada (CIAT, 1987). Letras distintas indican diferencias significativas a  $p < 0,05$  según la prueba de Kruskal-Wallis.

<sup>†††</sup> Testigo local: Cabécar (Concepción, El Águila y Veracruz) y Telire (Los Chiles y Piedras Azules).

La respuesta de Tayní frente a los principales patógenos fungosos que causan problemas en el cultivo de frijol en Costa Rica, no difirió de la de los testigos en la mayoría de las localidades donde se evaluó (Tabla 3). Esto indica que bajo condiciones climáticas normales y buenas prácticas de manejo, que incluyen el uso de semilla de calidad, mínima labranza y un uso racional de fungicidas (Chaves-Barrantes y Araya-Fernández 2014), los patógenos no deberían limitar seriamente el rendimiento de la variedad Tayní.

El rendimiento promedio de Tayní durante la fase de validación, bajo el manejo de la empresa productora, fue de 1106 kg.ha<sup>-1</sup> y varió desde 840 hasta 1450 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabla 4). Tayní no difirió en rendimiento de las otras 2 líneas experimentales evaluadas, excepto en las localidades de Concepción y El Águila, donde fue superado por MR 14215-9 (cultivar Diquis). Estos resultados indican que Tayní presentó buena adaptación a las condiciones de producción comercial en las distintas localidades donde se evaluó, las cuales son representativas de las principales regiones de producción de frijol en Costa Rica.

Tabla 4. Rendimiento promedio de la variedad de frijol común Tayní (BCH 9901-56R) en parcelas de validación en fincas de productores y bajo manejo comercial. Costa Rica. Período 2007-2008.

Localidad	Rendimiento promedio (kg.ha <sup>-1</sup> )			Parcelas	DMS <sub>0,05</sub>
	BCH 9901-56R	MR 14215-9	SRC 1-12-1-43		
Concepción	840	1300	900	5	250
Veracruz	1240	736	1062	2	ns
El Águila	1117	1467	1063	7	304
Chánguena	1176	1120	1176	5	ns
Guagaral	840	840	840	1	-
Pueblo Nuevo	1240	736	1062	5	ns
El Amparo	1450	1400	950	2	ns
Piedras Azules	1000	1380	740	2	ns
Turrialba	1050	1200	780	3	ns
Media general	1106	1131	953	32	ns

† ns: diferencias no significativas entre genotipos.

Durante la evaluación, representantes de empresas privadas que compran el frijol de las personas agricultoras, consideraron que Tayní posee un buen valor de mercado por su grano de forma ovoide, tamaño pequeño y color rojo claro brillante. Al evaluar su valor comercial, Tayní obtuvo una mejor calificación (3,1) que Cabécar (5,6), de acuerdo con la prueba de Wilcoxon ( $p \leq 0,01$ ). Al comparar la tonalidad del color del grano de ambas variedades, según la escala de

Melgar (2004), Tayní obtuvo grado 5, mientras que Cabécar grado 6 (Figura 1). Es importante recalcar que Cabécar fue el testigo local en la mayoría de ensayos y es la variedad que regularmente adquieren las empresas para empacar. En las pruebas sensoriales, el 84% de las personas productoras y sus familias consideraron que Tayní posee buen sabor, 85% que su caldo es de baja densidad (poco espeso o ralo) y 54% que tiene poco hollejo.

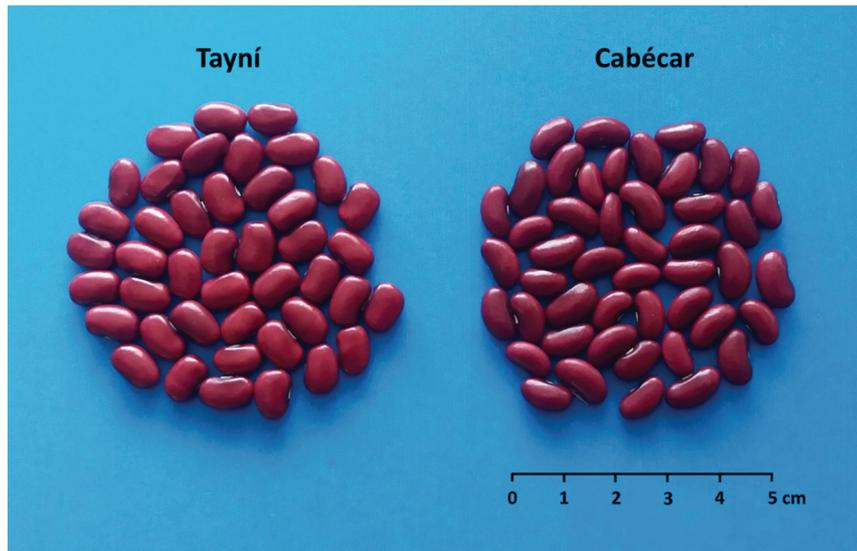


Figura 1. Comparación de la tonalidad del color del grano de las variedades de frijol común Tayní (grado 5) y Cabécar (grado 6), según la escala de Melgar (2004). Alajuela, Costa Rica, 2020.

La decoloración del grano de frijol en variedades de grano rojo es un factor de penalización del precio durante la compra del grano. Este problema se presenta cuando la cosecha coincide con condiciones lluviosas, como sucede en algunas ocasiones en los cantones de La Cruz, Upala y Los Chiles, y en la primera época de siembra en la zona de Pejibaye y localidades cercanas (área limítrofe entre Pérez Zeledón y Buenos Aires). De acuerdo con la norma técnica RTCR 384:2004 (MEIC *et al.* 2005), se permite un valor máximo de 1,0% de grano contrastante (que incluye el grano decolorado) para el frijol de primera calidad. Las evaluaciones de color del grano indicaron que Tayní presentó un promedio de 1,2% de decoloración en comparación con el testigo Cabécar, que presentó un 2,8%. Esta característica, junto con la tonalidad del color

del grano, le dan a Tayní una ventaja comercial con respecto a Cabécar y la posibilidad de que las personas productoras que la siembren obtengan mayores beneficios económicos.

Con base en las condiciones en que fue evaluada y seleccionada, la variedad Tayní presentó un hábito de crecimiento indeterminado arbustivo con guías cortas (tipo II) y una arquitectura erecta y compacta. Alcanzó la floración entre los 35 y 37 dds, la madurez fisiológica a los 66 dds y la madurez de cosecha entre los 73 y 75 dds. Sus flores son blancas, las vainas inmaduras verdes, las vainas maduras amarillo claro y las vainas secas de color crema (Figura 2). El promedio de semillas por vaina es de 6, con forma ovoide y color rojo claro brillante al secarse (Figura 1). El peso promedio de 100 semillas fue de  $21,19 \pm 0,48$  g (al 12% de humedad).

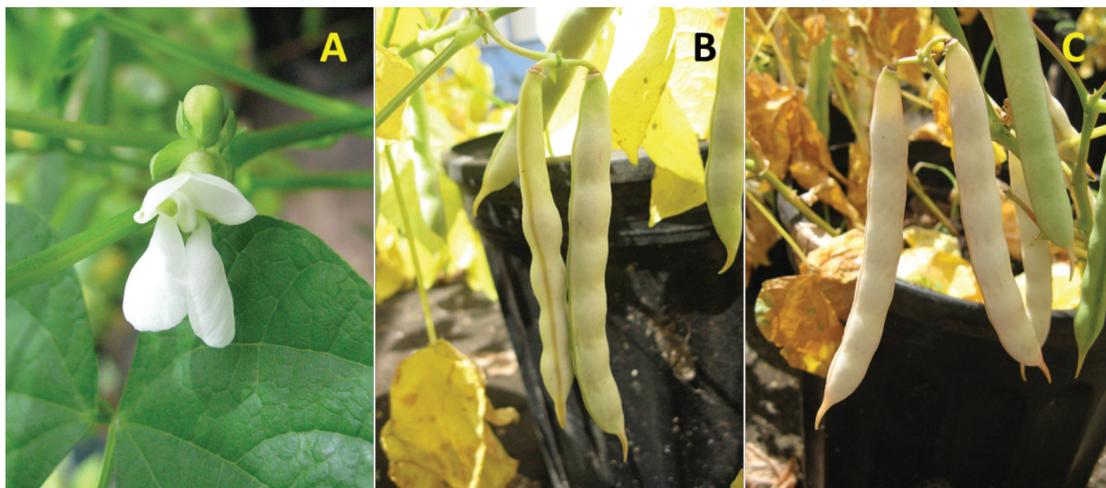


Figura 2. Flores (A), vainas en madurez fisiológica (B) y de cosecha (C) de la variedad Tayní. Alajuela, Costa Rica. 2020.

La variedad Tayní fue liberada el 23 de febrero del 2012 en Pueblo Nuevo, Upala, Alajuela. Es producto del trabajo conjunto del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad de Costa Rica (UCR), en colaboración con el Programa de Investigaciones en Frijol de la EAP/Zamorano en Honduras. Esta variedad fue registrada con el número FR-004-195 en la Oficina Nacional de Semillas (ONS) de Costa Rica. El nombre “Tayní es derivado de la lengua Cabécar, un grupo indígena de Costa Rica, y corresponde al territorio indígena del mismo nombre, localizado en el distrito de Valle de La Estrella, cantón y provincia de Limón (Rojas-Chaves 1997-1998). La semilla de Tayní puede ser obtenida en la EAP/Zamorano y en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) de la UCR.

#### AGRADECIMIENTOS

La investigación que dio origen a Tayní fue financiada por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, la Universidad de Costa Rica y la Escuela Agrícola Panamericana/Zamorano. Se agradece

el apoyo del Ing. Carlos Cordero Morales del INTA, del Utviklingsfondet (Fondo de Desarrollo Noruego), del Dry Grain Pulses CRSP (USAID Award No. EDH-A-00-07-00005-00), del Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica (FP-MA), la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (FITTACORI), de Coope Pueblo Nuevo R.L. y de las Asociaciones de Productores de El Águila, Veracruz, Concepción, Guagal y Chánguena.

#### LITERATURA CITADA

- Almekinders, CJM; Elings, A. 2001. Collaboration of farmers and breeders: Participatory crop improvement in perspective. *Euphytica* 122(3):425-438. DOI: 10.1023/A:1017968717875.
- Araya, CM; Araya, R; Morales, A; Acuña, O; Flores, G. 1999. Informe técnico anual POA 98-99. San José, Costa Rica, Programa de investigación y transferencia de tecnología agropecuaria – frijol (PROFRIJOL). 53 p.
- Araya-Fernández, CM; Hernández-Fonseca, JC. 2006. Guía para la identificación de las enfermedades del frijol más comunes en Costa Rica. San José, Costa Rica, MAG. 44 p.

- Araya-Villalobos, R; Hernández-Fonseca, JC. 2006. Mejora genética participativa de la variedad criolla de frijol "Sacapobres". *Agronomía Mesoamericana* 17(3):347-355. DOI: 10.15517/AM.V17I3.5170.
- Araya-Villalobos, R; Hernández-Fonseca, JC. 2007. Variedades de frijol de grano rojo, obtenidas por fitomejoramiento participativo en Costa Rica 2000 - 2007. Alajuela, Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. 20 p.
- Blair, MW; Rodríguez, LM; Pedraza, F; Morales, F; Beebe, S. 2007. Genetic mapping of the bean golden yellow mosaic geminivirus resistance gene *bgm-1* and linkage with potyvirus resistance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 114(2):261-271. DOI: 10.1007/s00122-006-0428-6.
- Chaves-Barrantes, NF; Araya-Fernández, CM. 2012. Pérdidas causadas por el amachamiento del frijol (*Aphelenchoides besseyi* Christie) y reacción del germoplasma comercial al patógeno. *Agronomía Mesoamericana* 23(1):01-12. DOI: 10.15517/AM.V23I1.2013.
- Chaves-Barrantes, NF; Araya-Fernández, CM. 2014. Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el Cultivo de Frijol. Heredia, Costa Rica, Editorial de la Universidad Nacional (EUNA). 129 p.
- Chaves-Barrantes, NF; Hernández-Fonseca, JC; Araya-Fernández, CM. 2016. Determinación de la capacidad de transmisión por semilla del amachamiento del frijol (*Aphelenchoides besseyi* Christie). *Agronomía Mesoamericana* 27(1):109-113. DOI: 10.15517/am.v27i1.21890.
- Chaves, N; Cervantes, E; Zabalgoceazcoa, I; Araya, CM. 2013. *Aphelenchoides besseyi* Christie (Nematoda: Aphelenchoididae), agente causal del amachamiento del frijol común. *Tropical Plant Pathology* 38(3):243-252.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Von Schoonhoven, A; Pastor-Corrales, M (eds.). Cali, Colombia, CIAT. 56 p.
- Graham, P; Rinalli, P. 1997. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research* 53:131-146.
- Haley, SD; Afanador, L; Kelly, JD. 1994. Identification and application of a random amplified polymorphic DNA marker for the *I* gene (potyvirus resistance) in common bean. *Phytopathology* 84:157-160.
- Hernández-Fonseca, JC. 2009a. Clima y suelos. *In* Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Manual de recomendaciones técnicas para el cultivo de frijol. Hernández, JC; Ramírez, L (eds.). San José, Costa Rica, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). p. 17.
- Hernández-Fonseca, JC. 2009b. Zonas de cultivo y épocas de siembra. *In* Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Manual de recomendaciones técnicas para el cultivo de frijol. Hernández, JC; Ramírez, L (eds.). San José, Costa Rica, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). p. 18.
- Hernández, JC; Araya, R. 2004. Logros de la implementación del fitomejoramiento participativo (FP) en frijol en Costa Rica. *In* Reunión Anual del Sector Frijolero de Costa Rica (8, 2004, Santa Clara, Costa Rica). Araya, R; Hernández, JC (eds.). Memoria. San José, Costa Rica, SIEDIN. p. 13-24.
- Hernández, JC; Araya, R; Morales, A. 2001. Bribrí, nueva variedad de frijol rojo pequeño para Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 12(1):15-23. DOI: 10.15517/AM.V12I1.17242.
- Hernández, JC; Chaves, NF; Araya, R; Beebe, S. 2018. "Diquís", variedad de frijol común rojo brillante. *Agronomía Costarricense* 42(1):127-136.
- Holdridge, LR. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Ishimoto, M; Chrispeels, MJ. 1996. Protective mechanism of the Mexican bean weevil against high levels of  $\alpha$ -amylase inhibitor in the common bean. *Plant Physiology* 111:393-401.
- Lépiz, R. 1997. Valor agronómico, un criterio de evaluación. Hojas de PROFRIJOL. N°. 4. Guatemala, Guatemala. s.p.
- Lorenzo, E; Guerra, P; Rodríguez, R; Rivera, E; González, F; Jiménez, V; Rojas, E. 2003. Validación de frijol de grano rojo pequeño en Chiriquí, Panamá. *Agronomía Mesoamericana* 14(1):11-14. DOI: 10.15517/AM.V14I1.11956.
- Melgar, H. 2004. Cartilla para evaluar color de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Escuela Agrícola Panamericana/Zamorano. Honduras. 1 p.
- MEIC (Ministerio de Economía, Industria y Comercio), Ministerio de Salud (MS), y Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2005. Decreto Ejecutivo N°. 32149-MEIC-S-MAG. Reglamento Técnico RTCR 384:2004 Frijol en Grano. Diario oficial La Gaceta N°. 3 del 05 de enero del 2005. s.p.
- Melotto, M; Afanador, L; Kelly, JD. 1996. Development of a SCAR marker linked to the *I* gene in common bean. *Genome* 39:1216-1219. DOI: 10.1139/g96-155.
- Miklas, PN; Johnson, E; Stone, V; Beaver, JS; Montoya, C; Zapata, M. 1996. Selective mapping of QTL conditioning disease resistance in common bean. *Crop Science* 36:1344-1351.
- Miklas, PN; Kelly, JD; Beebe, SE; Blair, MW. 2006. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. *Euphytica* 147:105-131. DOI: 10.1007/s10681-006-4600-5.
- Morales, FJ. 2000. El mosaico dorado y otras enfermedades del frijol común causadas por geminivirus transmitidos por mosca blanca en la América Latina.

- Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 169 p.
- Muñoz, G; Giraldo, G; De Soto, JF. 1993. Descriptores varietales: arroz, frijol, maíz, sorgo. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 174 p.
- Rodríguez-González, S; Fernández-Rojas, SE. 2015. Prácticas culinarias asociadas al consumo de frijoles en familias costarricenses. *Agronomía Mesoamericana* 26(1):145-151. DOI: 10.15517/am.v26i1.16937.
- Rojas-Chaves, C. 1997-1998. Revitalización lingüística de las lenguas indígenas de Costa Rica. *Estudios de Lingüística Chibcha* 16:9-17.
- Rosas, JC. 2001. Aplicación de metodologías participativas para el mejoramiento genético de frijol en Honduras. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):219-228. DOI: 10.15517/AM.V12I2.17238.
- Rosas, JC; Castro, A; Flores, E. 2000. Mejoramiento genético del frijol rojo y negro mesoamericano para Centroamérica y El Caribe. *Agronomía Mesoamericana* 11(2):37-43. DOI: 10.15517/AM.V11I2.17305.
- Rosas, JC; Guachambala, M; Ramos, RA. 2009. Guía ilustrada para la descripción de las características de variedades del frijol común. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 22 p.
- Rosas, JC; Hernández, JC; Araya, R. 2003. Registration of ‘Bribri’ Small Red Bean (Race Mesoamerica). *Crop Science* 43(1):430-431.
- Rosas, JC; Varela, OI; Beaver, JS. 1997. Registration of ‘Tío Canela 75’ Small Red Bean (Race Mesoamerica). *Crop Science* 37(4):1391.
- Salazar-Rojas, JJ. 1999. Situación actual y perspectivas de la producción de frijol en Costa Rica. *In III Taller Anual de Resultados de Investigación y Transferencia en Tecnología del PITTA-FRIJOL (1999, Alajuela, Costa Rica)*. Araya, CM; Araya, R; Hernández, JC (eds.). Memoria. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional. p. 11-18.
- Singh, SP; Schwartz, HF. 2011. Breeding common bean for resistance to insect pest and nematodes. *Canadian Journal of Plant Science* 91(2):239-250. DOI: 10.4141/CJPS10002.
- Urrea, CA; Miklas, PN; Beaver, JS; Riley, RH. 1996. A codominant randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) marker useful for indirect selection of BGMV resistance in common bean. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121(6):1035-1039. DOI:10.21273/JASHS.121.6.1035.
- Vahrson, WG; Palacios, G. 1993. Datos complementarios de erosión, escorrentía y pérdida de nutrimentos en Cerbatana de Puriscal: resultados 1991. *Agronomía Costarricense* 17(2):95-98.
- Villalobos, R; Jiménez, E; Hernández, K; Córdoba, J; Solano, P. 2013. Descripción del clima. Cantón de Upala. San José, Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) e Instituto Meteorológico Nacional (IMN). 18 p.
- Weather Spark. 2020. El clima promedio en Santiago, Puriscal, San José, Costa Rica (en línea). Consultado 06 abr. 2020. Disponible en <http://www.es.weatherspark.com/y/15451/Clima-promedio-en-Santiago-Costa-Rica-durante-todo-el-año>





Nota técnica

## INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE PRODUCCIÓN Y DESARROLLO DE MUCUNA (*Mucuna pruriens* L. DC)

Estefanny García-Abarca<sup>1/\*</sup>, Rubén Calderón-Cerdas<sup>2</sup>

**Palabras clave:** *Mucuna pruriens*; densidad de siembra; fisiología de los cultivos.

**Keywords:** *Mucuna pruriens*; plant spacing; crop physiology.

**Recibido:** 18/05/2020

**Aceptado:** 22/01/2021

### RESUMEN

**Introducción.** La mucuna es una planta postrada y trepadora, cuya biomasa puede aportar anualmente al suelo hasta 331 kg de nitrógeno por hectárea. Actualmente, se utiliza como fertilizante natural y como cobertura vegetal en plantaciones de palma, mango y en rotación con maíz y frijol. **Objetivo.** El objetivo fue analizar el desarrollo de *M. pruriens* y establecer la densidad de siembra adecuada para la producción de semilla, en un sistema de espaldera. **Materiales y métodos.** El estudio fue desarrollado en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) de la Universidad de Costa Rica. Se analizó el crecimiento y la productividad de la mucuna sembrada a densidades de 4900, 3267 y 2450 plantas.ha<sup>-1</sup>. Se evaluó el desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta, la fenología y los grados día acumulados. Se determinó el índice de área foliar y de cosecha e se calculó el

### ABSTRACT

**Influence of planting density on production and growth of mucuna (*Mucuna pruriens* L. DC). Introduction.** Mucuna is a prostrate and climbing plant, whose biomass can contribute annually to the soil up to 331 kg of nitrogen per hectare. Currently, it is used as a natural fertilizer and soil cover in palm and mango plantations and in rotation system with corn and beans. **Objective.** The objective was to analyze the development of *M. pruriens* and establish the appropriate sowing density for seed production, in a trellis system. **Materials and methods.** The study was developed at the Fabio Baudrit Moreno Experimental Station (EEAFBM) of the Universidad de Costa Rica. The growth and productivity of the mucuna sown at densities of 4900, 3267 and 2450 plants.ha<sup>-1</sup> were analyzed. The vegetative and reproductive development of the plant, the phenology and

\* Autora para correspondencia. Correo electrónico: estefanny.garcia@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

 0000-0001-6270-3156.

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronegocios, Cartago, Costa Rica.

 0000-0002-2791-0106.

rendimiento. **Resultados.** El ciclo total del cultivo abarcó 19 semanas. La productividad de las plantas sembradas a densidades de 4900, 3267 y 2450 plantas.ha<sup>-1</sup>, fue de 2611, 1207 y 807 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Durante la semana 15 se alcanzó el valor máximo de índice de área foliar (5,8). A 4900 plantas.ha<sup>-1</sup> se obtuvo el mayor rendimiento (2611 kg.ha<sup>-1</sup>), de índice de cosecha (0,19) y de vainas por planta (125). **Conclusión.** Con respecto al desarrollo de las plantas, no se encontraron diferencias entre las densidades utilizadas, sin embargo, con la densidad de 4900 plantas.ha<sup>-1</sup> se logró alcanzar un mayor rendimiento del cultivo.

the accumulated degree days were evaluated. The leaf area index, harvest index and yield were calculated. **Results.** The total cultivation cycle took 19 weeks. The productivity of the plants sown at densities of 4900, 3267 and 2450 plants.ha<sup>-1</sup>, was 2611, 1207 and 807 kg.ha<sup>-1</sup>, respectively. During week 15, the maximum value of the leaf area index (5,8) was reached. At 4900 plants.ha<sup>-1</sup> the highest yield was obtained (2611 kg.ha<sup>-1</sup>), with a harvest index (0,19) and pods per plant (125). **Conclusion.** Regarding the development of the plants, no differences were found between the densities used, however, with the density of 4900 plants.ha<sup>-1</sup>, a higher crop yield was achieved.

## INTRODUCCIÓN

La mucuna (*Mucuna pruriens* L. DC.) es originaria del sureste asiático y es nativa de India. Actualmente su cultivo se encuentra distribuido por el trópico (Brunner *et al.* 2011). En Centroamérica fue introducida en la década de 1930 por las empresas bananeras, quienes la utilizaron como alimento para las mulas que transportaban el banano (Hernández 2004). Posteriormente se utilizó como cobertura para el combate de malezas. La mucuna se ha sembrado en asocio con cultivos como maíz, palma aceitera, café y yuca.

En los últimos años, debido al aporte neto de nitrógeno al suelo, la mucuna ha tenido auge como fertilizante natural. Además se ha determinado que durante la descomposición de la materia vegetal, libera compuestos orgánicos que fungen como nematicidas (Klassen *et al.* 2006, Bonilla 2015). Brunner *et al.* (2011), según el porcentaje de nitrógeno total de la mucuna, su peso seco y producción de materia verde, reportaron un aporte de nitrógeno total de 80,91 kg.ha<sup>-1</sup>. En Puerto Rico se encontraron valores de hasta 331 kg de nitrógeno por ha. De modo comparativo,

la fijación simbiótica del nitrógeno por bacterias del género *Rhizobium* sp. es capaz de aportar hasta 150 kg.ha<sup>-1</sup> al año (Ravi *et al.* 2018).

El rendimiento de semilla de mucuna varía conforme a la región y genotipo utilizado. Puerto Rico reportó entre 1700 a 3000 kg.ha<sup>-1</sup> en sistemas de producción de semillas donde se provee un soporte artificial (Asongwed y Onana 2002). En Nicaragua, Departamento de Carazo, se reportó 1290 kg.ha<sup>-1</sup> de semilla para el cultivo de *M. pruriens*, luego de un ciclo de vida de 6 meses (Carazo y Romero 2000) y para plantas cultivadas en Guatemala, Gálvez (1990) indicó rendimientos de 3796 a 3965 kg.ha<sup>-1</sup>. En cuanto a la cantidad de semillas por vaina, se señaló que cada vaina puede contener en promedio 4,5 (Tenorio 2016) y de 4 a 6 semillas por vaina (Oudhia 2001).

Algunos beneficios de la mucuna en la agricultura son la conservación del suelo, el mantenimiento de la fertilidad y el potencial productivo. También, ayuda en la mejora de la estructura física y el aumento de la actividad biológica en profundidades mayores a la capa arable del suelo (Chakoma *et al.* 2016), debido a

la simbiosis con microorganismos micorrícicos (Philipp y Gamboa 2003).

La producción de mucuna en Costa Rica, se realiza principalmente en los cantones de Buenos Aires y Pérez Zeledón, provincias de Puntarenas y San José respectivamente (Hernández 2004). La producción de semillas de mucuna está en manos de pequeñas empresas productoras (<5 ha) de granos básico y obedece a una actividad secundaria, ya que su uso se enfoca en aprovechar los beneficios de la rotación de cultivos con frijol y maíz (Díaz y Estupinan 2004).

En la industria farmacéutica, la mucuna se ha utilizado como tratamiento para la enfermedad de Parkinson por su alta concentración de L-Dopa (6-7%), precursor de la dopamina en el sistema nervioso (Chakoma *et al.* 2016, Raghavendra *et al.* 2012, Manyam *et al.* 2004). Además, la mucuna es considerada rica en compuestos antioxidantes, antiepilépticos, analgésicos y antiinflamatorios (Hussian y Manyam 1998, Lampariello *et al.* 2012, Ravi *et al.* 2018).

La densidad de siembra afecta la eficiencia en la interceptación de la radiación, así como procesos de asimilación de nutrientes y consumo de agua (Wells 1991); además se relaciona con el desarrollo del área foliar de las plantas, la propagación e incidencia de enfermedades y de insectos plaga, así como la presencia y biomasa de las arvenses. Estos factores afectan directamente el rendimiento (Evans y Fischer 1999) y la eficiencia en el uso de los recursos, aspecto que ha llevado a estudiar la eficiencia de los sistemas productivos a través de la variación en la densidad de siembra y el arreglo espacial de los cultivos (Walker *et al.* 2010). Según lo anterior, se presenta esta investigación, con el objetivo de establecer la densidad de siembra adecuada para maximizar la producción de semilla de *M. pruriens* en un sistema de espaldera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEA-FBM) de la Universidad de Costa Rica, ubicada en la provincia de Alajuela. La altitud es de 840 msnm y se encuentra en la zona de vida Bosque Húmedo Tropical (Holdridge 1982).

La siembra de las plantas se realizó en setiembre del 2017 y se cosechó en marzo del 2018. Se escogió esa época de siembra, para que la etapa vegetativa de las plantas coincidiera con la época lluviosa y las etapas reproductiva y de cosecha con la época seca. Se utilizó como material de siembra 2 kg de semilla de *M. pruriens* de una variedad criolla de Costa Rica, la cual es el resultado de una mezcla de diversas variedades de mucuna que se han cruzado de forma natural en el sur del país, principalmente en la zona de Buenos Aires, Puntarenas (R. Gómez. 2019. Variedad de semilla criolla de *Mucuna pruriens*, utilizada en esta investigación. Comunicación verbal. Defensa pública). Las semillas producidas por estas plantas son de color café, con pintas de color beige, sus flores son moradas y su hábito de crecimiento es indeterminado y rastrero. La semilla que se utilizó fue cosechada en enero del 2017 en la EEA-FBM.

Dadas las condiciones homogéneas del terreno, se optó por un diseño experimental irrestricto al azar, constituido por 3 hileras de 83,5 m de longitud, para un total 2600 m<sup>2</sup>. El ensayo contó con 3 tratamientos correspondientes a 3 densidades de plantas y cada unidad experimental utilizada correspondió a 6 plantas; se implementaron 3 repeticiones por tratamiento. En cada hilera se colocaron los 3 tratamientos. Para obtenerlos se varió únicamente las distancia entre plantas: 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m (Tabla 1). Cada hilera de plantas se encontró separada por 2 m de distancia entre sí.

Tabla 1. Densidad, distancia entre hileras, distancia entre plantas y espacio que puede ser ocupado por estas en cada tratamiento.

Tratamiento	Distancia entre hileras (m)	Distancia entre plantas (m)	Densidad (plantas/ha)	Espacio por planta <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> /planta)
A	2	1,0	4 900	2
B	2	1,5	3 267	3
C	2	2,0	2 450	4

<sup>1</sup> Corresponde al espacio en m<sup>2</sup> que puede ocupar una planta. Se obtiene de la división de 10000 m<sup>2</sup>/ la cantidad de plantas por ha.

El suelo fue labrado y se elaboraron lomillos con 2 metros de separación. Se estableció un sistema con soporte de espaldera y se utilizaron 72 postes, a estos se les amarró una malla sintética reforzada con alambre metálico.

Asimismo, se determinó el índice de área foliar (IAF), el desarrollo del cultivo, variables climáticas, componentes del rendimiento, índice de cosecha y la acumulación de grados día durante todo el ciclo del cultivo. El índice de área foliar fue determinado a través de métodos directos e indirectos. Para la primera cuantificación del área foliar, las plantas eran muy pequeñas (4 semanas después de la siembra), para poder realizar la determinación de IAF y mejorar la precisión, se tuvo que utilizar un escáner de área foliar (Licor modelo Li3100).

A partir de la sexta semana después de la siembra, se realizaron de manera bisemanal las evaluaciones de IAF con un ceptómetro marca

Accupar, modelo LP-80. En cada evaluación se procedió a colocar el instrumento de manera horizontal para así realizar un transecto. Semanalmente, se realizaron 9 mediciones por tratamiento elegidos al azar en todas las ocasiones.

Para evaluar la fenología del cultivo, se llevó registro del crecimiento de las plantas y de las mediciones de la estación meteorológica de la EEAFBM. Para cada uno de los tratamientos se evaluó semanalmente el estado de desarrollo de las plantas de mucuna, en los cuales se utilizó, como parámetro, la escala de las etapas de desarrollo modificada por Montes de Oca y Cervantes (1996) a partir de lo establecido por White (1988) para el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

En cuanto al rendimiento, para cada una de las 3 densidades de siembra se calculó a través de la multiplicación de la cantidad de plantas por hectárea, vainas por planta, semillas por planta y el peso de la semilla (Ecuación 1).

### Ecuación 1

$$\text{Rendimiento} = (\text{plantas/ha} * \text{vainas/planta} * \text{semillas/vaina} * \text{peso semilla (kg)})$$

Para determinar la cantidad de vainas por planta, se contabilizaron las vainas por cada racimo nuevo que la planta emitió. Para evitar tomar racimos ya contados, se marcaron los racimos ya contabilizados con una cinta.

Por su parte, la cantidad de plantas por hectárea fue calculada a partir de las distancias entre plantas y entre hileras (Ecuación 2).

## Ecuación 2

$$\text{Plantas/ha} = [(\text{ancho parcela/distancia entre hileras}) - 1\text{m}] * (\text{largo parcela/distancia entre plantas})]$$

Para el peso de las semillas, se tomó una muestra de 100 semillas y se pesó. Dicho peso se dividió entre 100 para obtener el peso promedio de una semilla.

**Grados día.** Con el objetivo de establecer el acumulado de grados día necesarios para que

el cultivo de mucuna llegara a cada etapa de desarrollo, se utilizaron los datos de la temperatura horaria de la estación meteorológica ubicada en la EEAFBM. Los grados día fueron calculados a partir de la temperatura diurna máxima y mínima (Ecuación 3).

## Ecuación 3

$$\text{GD} = \frac{\text{Tmin} + \text{Tmax}}{2} - \text{Tbase}$$

La T base corresponde a la temperatura, en la cual, el metabolismo de la planta se ralentiza al punto de no permitir el crecimiento de la planta. La temperatura base utilizada fue de 11°C reportada por (Hartkamp *et al.* 2002) para este cultivo. Los grados día acumulados para alcanzar cada etapa de desarrollo corresponde a la sumatoria de los GD.

**Índice de cosecha.** Para cada una de las repeticiones, se tomó una muestra de 100 granos de mucuna cosechados en madurez fisiológica, además, de los tallos, los granos, hojas, semilla y vainas de 9 plantas por tratamiento, esto con el fin de determinar la biomasa aérea de la mucuna. Todo se colocó rotulado en la estufa por 48 horas a 76°C, para posteriormente determinar su peso.

## Ecuación 4

$$\text{IC} = \frac{\text{Peso de los granos}}{\text{Peso del rastrojo} + \text{peso de los granos}}$$

**Análisis estadístico.** Inicialmente, para cada una de las variables se analizó la normalidad, la homogeneidad y la aditividad, por medio de las pruebas de Shapiro-Wilk modificado y de Levene, respectivamente. Se realizó un análisis de variancia y una separación de medias a través de la prueba de Fisher. Para la discriminación entre tratamiento se utilizó un valor de  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plántulas de mucuna emergieron pasados 6 días después de su siembra. El ciclo del cultivo alcanzó 160 días y acumuló un total 2133 grados día. Independientemente de la densidad de siembra utilizada, las plantas no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,005$ ) en el desarrollo (Tabla 2).

Tabla 2. Desarrollo de plantas de *M. Pruriens*. según la duración de sus fases y etapas en grados día acumulados, semanas y días después de siembra.

Fase	Etapas desarrollo	Días después de siembra (DDS)	Grados día Acumulados (GDA)	Semanas (DDS)
V0	Germinación	4	13,5	0
V1	Emergencia	6	54,7	0
V2	Hojas primarias	9	82,9	1
V3	Segundas hojas trifoliadas	15	206,3	1
V4	Terceras hojas trifoliadas	19	256,8	2
R5	Prefloración	35	494,6	9
R6	Floración	65	1323,4	13
R7	Formación de vainas	77	1492,7	15
R8	Llenado	86	1613	16
R9	Madurez fisiológica	105	1737,7	18
C1	Cosecha	114	1870,2	19
C2	Cosecha	124	1930,6	20
C3	Cosecha	131	2034,3	21
C4	Cosecha	138	2133,7	22

En cuanto a las condiciones atmosféricas, durante el ensayo, la temperatura máxima fue de aproximadamente 30 C, mientras que la mínima fue de 19 C. La temperatura máxima fue alcanzada generalmente a las 13:00 horas. La temperatura mínima se ubicó entre 4:00 y 5:00 horas. La precipitación durante setiembre

y octubre fue de 270 y 234 mm, respectivamente. A partir de noviembre, se observó una disminución de la precipitación. La mayor parte de las lluvias se distribuyeron a lo largo de la etapa vegetativa y la disminución de estas, coincidieron con el inicio de la etapa reproductiva (Figura 1).

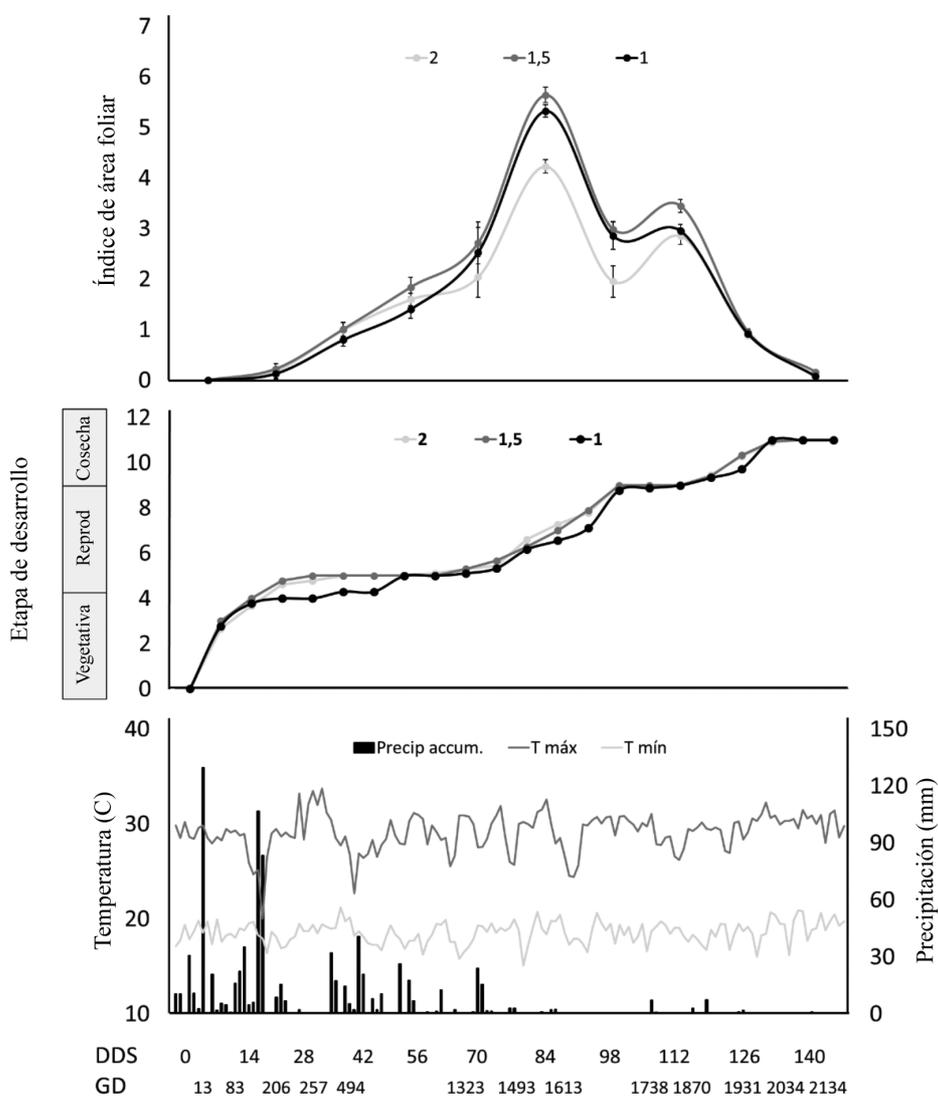


Figura 1. Dinámica del ciclo de desarrollo de la *Mucuna pruriens*.

Panel superior = índice de área foliar de mucuna sembrada a 1,0; 1,5 y 2,0 m entre plantas con  $n = 9$ .

Panel medio = etapas de desarrollo.

Panel inferior = condiciones del tiempo, temperatura máxima, mínima y precipitación diaria y grados día acumulados a lo largo del ciclo del cultivo. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, setiembre 2017 a marzo 2018.

La etapa reproductiva R6, según la escala elaborada, se alcanzó a partir de la semana 13. El patrón de lluvias sugiere que la época de siembra elegida fue adecuada. De acuerdo con

Araya y Hernández (2003), las etapas vegetativas deben coincidir con la época de lluvias y las etapas reproductivas deben experimentar una disminución en la precipitación. Durante la etapa

reproductiva, la partición de asimilados vulnera a las hojas de padecer de enfermedades de follaje (Agris 2005). Por ello, una disminución del régimen de precipitaciones tiende a mantener las plantas más sanas, lo que se traduce en mayor rendimiento (Ferreira *et al.* 2013).

Las etapas de desarrollo avanzaron con respecto al acúmulo de grados día, con un comportamiento similar para las 3 densidades de siembra estudiadas. La etapa que más tiempo y grados día tomó fue la R5, la cual corresponde al desarrollo entre la prefloración y la antesis. Para el tratamiento de 4900 plantas por hectárea, el tiempo requerido para completar la etapa R5 fue mayor en comparación con el resto de los tratamientos pues le tomó 30 GD más (Figura 1).

**Índice de área foliar.** El índice de área foliar aumentó conforme avanzó el estado de desarrollo de las plantas. Las plantas expusieron su mayor área foliar durante la semana 11 (Figura 1), con valores entre los 4,3 y 5,8. Luego de la semana 13, el área foliar en las plantas empezó a decrecer, hasta llegar a valores de 1 en la semana 18, y de 0 para la semana 20.

El índice de área foliar de las sembradas a las distancias entre plantas de 1,5 y 2 fue estadísticamente similar ( $p > 0,05$ ) en todos los

momentos de evaluación. El distanciamiento de 1 m entre plantas, presentó un IAF menor a los otros 2 tratamientos (Figura 1). Al final del ciclo, se evidenció una caída del IAF. Se ha evidenciado que las plantas de senectud monocárpica, producen hojas para acumular fotoasimilados, las cuales son translocadas hacia las vainas (Ferreira *et al.* 2013). También se ha identificado que las hojas se convierten en fuente, disminuyen su biomasa y senescen (Taiz *et al.* 2015).

**Componentes del rendimiento.** Durante la semana 12 se observó y cuantificaron las primeras vainas formadas. En la semana 15, se produjo la mayor cantidad de vainas emitidas. Para cada distancia de siembra (1 m, 1,5 m y 2 m) se obtuvo un total de 125; 89 y 74 vainas por planta, respectivamente. La cantidad de vainas por planta fue mayor con la distancia de 1 m entre plantas en comparación con los otros distanciamientos; en la semana 15, esa diferencia fue estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ). Por otra parte, en la producción de vainas por planta para los distanciamientos de 1,5 m y 2,0 m, no se presentaron diferencias significativas ( $> 0,05$ ) (Figura 2).

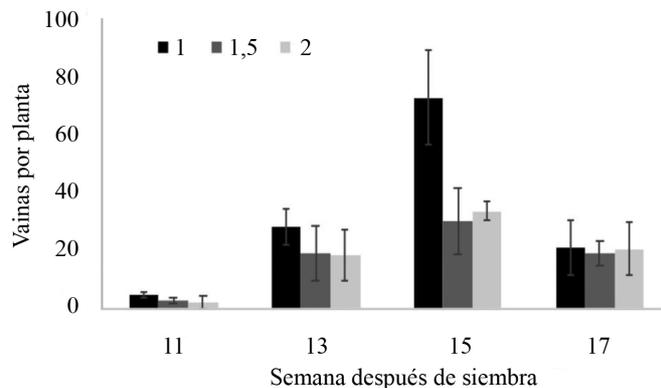


Figura 2. Cantidad de vainas por plantas que fueron producidas por *Mucuna pruriens* en las semanas 11, 13, 15 y 17 posteriores a la siembra en 3 densidades de siembra (1,0 m, 1,5 m y 2,0 m).

Letras diferentes denotan diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Las comparaciones se realizaron entre tratamientos para cada una de las semanas evaluadas.

Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. Marzo 2018.

La plasticidad fenotípica de las plantas permite variaciones como el número y el tamaño de sus órganos (Villalobos Rodríguez 2001) y la partición de los asimilados (Marschner 2012). La densidad de siembra con la cual se obtuvo el mayor rendimiento también fue la que produjo mayor cantidad de vainas por planta, esto coincide con los resultados obtenidos por (Calero *et al.* 2018, Zaldiva *et al.* 2017) en sus respectivos estudios, donde se analizan las vainas por planta como componente de rendimiento en frijol *Phaseolus vulgaris* L.

La cantidad de semillas por vaina fue de 5,0; 4, 6 y 4,8 para las distancias de 1,0 m, 1,5 m y 2,0 m respectivamente. La cantidad de semillas fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ), para el tratamiento de 1m de distancia entre plantas. Los valores coinciden con otros estudios que indican que por cada vaina se encuentran de 2 a 7 semillas, con un promedio de 4,5 (Tenorio 2016) y de 4 a 6 semillas (Oudhia 2001).

En cuanto al peso de las semillas, las plantas de mucuna sembradas a 2 m, obtuvieron el mayor peso de semillas (93 g/100 semillas), similar a los 94,8 g/100 semillas reportados por (Díaz y Estupinan 2004). Este valor difirió estadísticamente con el tratamiento de mayor densidad de siembra, cuyas semillas tuvieron un peso de 85 g/100 semillas. Por su parte, el peso de la semilla del tratamiento de 1,5 m, alcanzó los 90,1 g; sin diferencias con respecto a los tratamientos de 2 m y 1 m entre plantas.

Que la menor distancia de siembra (1,0 m entre plantas) resultara con menor peso de semilla, pudo deberse a que al producir el mayor número de vainas por planta, la translocación de fotoasimilados y su partición debe hacerse de los órganos fuente (hojas) a un número mayor de órganos sumideros (vainas y semillas) (Schiltz 2005), por lo que el peso de estas últimas disminuyó en comparación con la distancia de siembra superior (2,0 m entre plantas), con la cual se obtuvo un mayor peso de semilla (White 1988).

**Rendimiento.** El rendimiento obtenido fue proporcional a la densidad de siembra lo que

significa que, a mayor densidad mayor rendimiento. El rendimiento del sistema con distancia de siembra de 1,0 m entre plantas y densidad de 4900 plantas.ha<sup>-1</sup>, fue el más alto (2611,5 kg.ha<sup>-1</sup>), seguido por 1206,6 kg.ha<sup>-1</sup> del sistema con plantas sembradas a 1,5 m y finalmente el rendimiento menor se obtuvo del sistema con 2,0 m distancia entre plantas (806,9 kg.ha<sup>-1</sup>).

El cultivo de *M. pruriens*, al utilizar espaldera con una densidad de siembra baja (2450 plantas.ha<sup>-1</sup>) y plantas separadas entre sí por 2,0 m, expuso un desaprovechamiento de los recursos luz, espacio y agua (Walker *et al.* 2010). Al incrementar la densidad y utilizar una menor distancia entre plantas (4900 plantas.ha<sup>-1</sup> y 1,0 m), se logra cubrir una mayor área de suelo y así capturar más energía lumínica desde etapas previas a la reproducción, lo que promueve la eficiencia en la interceptación de la luz (Zhu *et al.* 2010) y, por tanto, rendimiento (Osuna *et al.* 2018).

El rendimiento de semilla producida por planta para cada una de las distancias de siembra utilizadas (1 m; 1,5 m y 2 m) fueron, respectivamente: 0,5 kg; 0,4 kg y 0,3 kg. Hasta el momento, en Costa Rica el único registro que existe sobre rendimiento en mucuna es el mencionado por Hernández (2004), quien reporta de 3 a 4 kg de semilla por planta, al ser cultivadas sobre cercas vivas de árboles de poró (*Erythrina poeppigiana*). Que el rendimiento por planta obtenido, en esta investigación, sea menor al de las plantas de mucuna en cercas de poró, podría relacionarse con los beneficios obtenidos del asocio entre la mucuna y ese árbol. El poró aporta nitrógeno mediante la fijación atmosférica, mejora la infiltración de agua y reduce la evaporación en suelo, aporta materia orgánica y brinda soporte natural y protección contra el viento (Acosta 2005). La mucuna, al igual que el poró, tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico mediante la simbiosis con el género de bacterias *Rhizobium* (Peter *et al.* 1996). Este nitrógeno es utilizado por la planta en sus procesos desarrollo y crecimiento, y propicia el aumento de la fertilidad de un suelo, lo cual beneficia a todo tipo de plantas que crecen en él (Acosta 2005).

El rendimiento obtenido con la densidad de 4900 plantas fue de 2611 kg.ha<sup>-1</sup>, se encuentra dentro del rango de los rendimientos que se reportan en Puerto Rico (1700- 3000 kg.ha<sup>-1</sup>). Este reporte refiere a sistemas de producción de semilla donde se provee un soporte artificial y manejo agronómico. En Nicaragua (Departamento de Carazo) se reportó 1290 kg.ha<sup>-1</sup> (Brunner *et al.* 2011, Carazo y Romero 2000). El rendimiento obtenido por Gálvez (1990) para plantas de mucuna cultivadas en Guatemala fue de 3796-3965 kg.ha<sup>-1</sup>.

La diferencia entre el rendimiento de mucuna reportado en Guatemala y el obtenido en esta investigación, podrían deberse a que las condiciones de la EEAFBM son cálidas y secas, condiciones que favorecen a las plantas con metabolismo fotosintético C4. La mucuna, al ser una planta C3, posee una menor eficiencia cuántica por cada molécula de agua absorbida (Way *et al.* 2014: 4), por lo que le favorecen condiciones de temperatura cercanas a los 25 C y basta disponibilidad de agua. La EEAFBM se encuentra en la zona de vida de Bosque Húmedo Tropical (Holdridge 1982), mientras que el rendimiento reportado en Guatemala corresponde a siembra en un Bosque húmedo subtropical templado (Carazo y Romero 2000).

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los departamentos de Manejo de Malezas y Plantas Arvenses, Leguminosas de Grano y Ecofisiología de los Cultivos Tropicales de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno de la Universidad de Costa Rica.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, C. 2005. Narraciones de la ciencia: Los árboles fijadores de nitrógeno y sus mecanismos biológicos. *Inventio, la genesis de la cultura universitaria en Morelos* 37(1):23-27. DOI: <http://dx.doi.org/10.30973/inventio/2019.15.37>.
- Agrios, G. 2005. *Plant pathology*. Burlington, MA, Elsevier Academic Press. 952 p.
- Araya, C; Hernández, JC. 2003. Distribución agroecológica de enfermedades del frijol en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 68(1):26-33.
- Asongwed, A; Onana, J. 2002. Variability in productivity of *Mucuna pruriens* varieties in a semi-arid environment. Maroua, Camerun, Institute of Agricultural Research for Development. 6 p.
- Bonilla, S. 2015. Caracterização e avaliação da atividade nematicida de constituintes químicos da parte aérea de *Mucuna pruriens* var. utilis. Tesis M.Sc. Viçosa, Brasil, Universidade Federal de Viçosa. 79 p.
- Brunner, B; Beaver, J; Flores, L. 2011. Hoja Informativa *Mucuna pruriens*. Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, Estación Experimental Agrícola de Lajas, Puerto Rico. Yumpu (1):1-5.
- Calero, A; Castillo, Y; Quintero, E; Pérez, Y; Olivera, D. 2018. Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias* 7(1):88-100. DOI: 10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.67773.
- Carazo J; Romero, LF. 2000. Evaluación de las concentraciones y extracciones de macro y micronutrientes por el cultivo de maíz (*Zea mays* L) bajo la incorporación de diferentes abonos verdes en un suelo. Tesis Ing. en Suelos y Aguas. Managua, Nicaragua, Universidad Nacional Agraria. 92 p.
- Chakoma, I; Godfrey, M; Lovemore, G; Siboniso, M; Sikhhalazo, D. 2016. The agronomy and use of *Mucuna pruriens* in smallholder farming systems in southern Africa. *International Livestock Research Institute* 4(1):1-4.
- Díaz, G; Estupinan, K. 2004. La mucuna como cultivo de cobertura alternado con el maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias I(1):3-15.
- Evans, LT; Fischer, RA. 1999. Yield potential: Its definition, measurement, and significance. *Crop Science* 39(6):1544-1551. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961544x>.
- Ferreira, EP; Stone, LF; Didonet, AD. 2013. Green manure species and sowing time effects on the agronomic performance of common bean. *Agronomy Journal* 105(6):1721-1727. DOI: 10.2134/agronj2012.0478.
- Gálvez, M. 1990. Producción de semilla de frijol terciopelo *Mucuna pruriens* (L) (DC) en tres diferentes zonas ecológicas de Guatemala con distintas densidades de siembra. Tesis Lic. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 187 p.
- Hartkamp, A; Hoogenboom, G; Gilbert, R; Benson, T; Tarawali, S; Gijssman, A; Bowen, W; White, J. 2002. Adaptation of the CROPGRO growth model to velvet bean (*Mucuna pruriens*). *Field Crops Research*. 78(1):27-40. DOI: 10.1016/S0378-4290(02)00090-4.
- Hernández, JC. 2004. Una alternativa para mejorar los suelos y combatir las malezas. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, SUNNI. 6 p.

- Holdridge, L. 1982. Ecología basada en zona de vida. San Jose, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Hussian, G; Manyam, B. 1998. *Mucuna pruriens* proves more effective than L-DOPA in Parkinson's disease animal model. *Phytotherapy Research* 11(6): 419-423. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1573(199709)11.
- Klassen, W; Codallo, M; Zasada, I; Abdul, A. 2006. Characterization of velvetbean (*Mucuna Pruriens*) lines for cover crop use. Proceedings of the annual meeting of the Florida State Horticultural Society 119:258-262.
- Lampariello, L; Cortelazzo, A; Guerranti, R; Sticozzi, C; Valacchi, G. 2012. The Magic Velvet Bean of *Mucuna pruriens*. *Journal of Traditional and Complementary Medicine* 2(4):331-339. DOI: 10.1016/S2225-4110(16)30119-5.
- Manyam, BV; Dhanasekaran, M; Hare, TA. 2004. Neuroprotective effects of the antiparkinson drug *Mucuna pruriens*. *Phytotherapy Research* 18(9):706-712. DOI: 10.1002/ptr.1514.
- Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Adelaide, Australia, Academic Press. 672 p. DOI: 10.1016/C2009-0-63043-9.
- Montes de Oca, P; Cervantes, C. 1996. Fenología de la *Mucuna* sp. y el efecto de la cobertura en los contenidos de materia orgánica y nitrógeno en un andisol del valle central de Heredia. Memoria del Congreso Agronómico, Costa Rica. 170 p.
- Osuna, E; Reyes, L; Padilla, J; Martínez, M. 2018. Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(7):1389-1400. DOI: 10.29312/remexca.v3i7.1345.
- Oudhia, P. 2001. Kapikacchu or Cowhage (*Mucuna pruriens*). Raipur, India, Society for Parthenium Management Purdue University. 1 p.
- Peter, J; Young, W; Haukka, KE. 1996. Diversity and phylogeny of rhizobia. *New Phytologist* 133(1):87-94. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1996.tb04344.x.
- Philipp, D; Gamboa, W. 2003. Observaciones sobre el sistema mucuna-maíz en laderas de Waslala, región Atlántica de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana* 14(2):215-221.
- Raghavendra, S; Kumar, V; Ramesh, C; Khan, M. 2012. Enhanced production of L-DOPA in cell cultures of *Mucuna pruriens* L. and *Mucuna prurita* H. *Natural Product Research* 26(9):792-801. DOI: 10.1080/14786419.2011.553721.
- Ravi, C; Hadapad, B; Shetty, R; Shrivaprasad, M; Bindu, H; Prasad, M. 2018. Evaluation of velvet bean (*Mucuna pruriens* L.) genotypes for growth, yield, L-dopa content and soil nitrogen fixation in rubber plantation under hill zone of Karnataka. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(3S):26-29.
- Schiltz, S. 2005. Dynamics of exogenous nitrogen partitioning and nitrogen remobilization from vegetative organs in pea revealed by <sup>15</sup>N in vivo labeling throughout seed filling. *Plant Physiology* 137(4):1463-1473. DOI: 10.1104/pp.104.056713.
- Taiz, L; Zeiger, E; Møller, IM; Murphy, AS. 2015. Plant physiology and development. Massachusetts, USA, Sinauer Associates, Inc., Publishers. 761 p.
- Tenorio, P. 2016. Método de evaluación rápida de invasividad (MERI) para especies exóticas en México *Mucuna pruriens* utilis (L.) (en línea). Consultado 15 ene. 2020. Disponible en [https://procurement-notice.undp.org/view\\_file.cfm?doc\\_id=56983](https://procurement-notice.undp.org/view_file.cfm?doc_id=56983)
- Villalobos Rodríguez, E. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. San José, Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica. 229 p.
- Walker, ER; Mengistu, A; Bellaloui, N; Koger, CH; Roberts, RK; Larson, JA. 2010. Plant Population and Row-Spacing Effects on Maturity Group III Soybean. *Agronomy Journal* 102(3):821-826. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0219>.
- Way, DA; Katul, GG; Manzoni, S; Vico, G. 2014. Increasing water use efficiency along the C3 to C4 evolutionary pathway: a stomatal optimization perspective. *Journal of Experimental Botany* 65(13):3683-3693. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eru205>.
- Wells, R. 1991. Soybean Growth Response to Plant Density: Relationships among Canopy Photosynthesis, Leaf Area, and Light Interception. *Crop Science* 31(3):755-761. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100030044x>.
- White, J. 1988. Conceptos básicos de la fisiología del frijol: Guía de estudio. Cali, Colombia, Centro de Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). p. 46-47.
- Zaldiva, JC; Torres, A; Patterson, AB; Infante, G. 2017. Evaluación agroproductiva de cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la CCS Reytel Jorge del municipio Jesús Menéndez. *Ojeando la Agenda* 45(1):36-53.
- Zhu, X-G; Long, SP; Ort, DR. 2010. Improving Photosynthetic Efficiency for Greater Yield. *Annual Review of Plant Biology* 61(1):235-261. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042809-112206.





## Nota técnica

# VIGOR EN PLANTAS DE PLÁTANO (*MUSA* AAB CV. HARTÓN) Y SU RELACIÓN CON CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO\*

Hebandreyna González-García<sup>1/\*</sup>, Ana F. González-Pedraza<sup>2</sup>, Gustavo Rodríguez-Yzquierdo<sup>3</sup>, Rommel León-Pacheco<sup>4</sup>, Mónica Betancourt-Vásquez<sup>5</sup>

**Palabras clave:** Musáceas; calidad del suelo; microorganismos; productividad.

**Keywords:** *Musaceae*; soil quality; microorganisms; productivity.

**Recibido:** 24/09/2020

**Aceptado:** 17/02/2021

## RESUMEN

**Introducción.** La zona sur del Lago de Maracaibo es la región con mayor área y volumen de producción de plátano (cv. Hartón) en Venezuela, aspecto que motiva al estudio de diversas propiedades del suelo de la localidad. **Objetivo.** Evaluar las características físicas, químicas y biológicas del suelo asociadas al vigor del cultivo *Musa* AAB cv. Hartón. **Materiales y métodos.** Se seleccionaron 7 fincas representativas de la región, en las que se determinaron lotes con alto (AV) y bajo vigor (BV), mediante la evaluación del número de manos por

## ABSTRACT

**Vigor of plantain plants (*Musa* AAB cv. Harton) and its relationship with physical, chemical and biological characteristics of the soil. Introduction.** The southern zone of lake Maracaibo is the region with the biggest area and highest volume of plantain (cv. Hartón) production in Venezuela, aspect that motivates the study of various properties of the local soil. **Objective.** To evaluate the physical, chemical and biological characteristics of the soil associated with the vigor of the *Musa* AAB cv. Harton. **Materials and methods.** Seven

\* Este trabajo de investigación es producto de la tesis doctoral de la primera autora, denominada: Índice de calidad en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) en el eje central de producción del sur del lago de Maracaibo, Venezuela.

\*\* Autora para correspondencia. Correo electrónico: gonzalezh@unesur.edu.ve

1 Universidad Nacional Experimental Sur del Lago "Jesús María Semprum" (UNESUR). Programa de Ingeniería de la Producción Agropecuaria. Laboratorio de Suelos. Santa Bárbara, Estado Zulia, Venezuela.

 0000-0001-9622-1139.

2 Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Agricultura y Ganadería Sostenibles (GIAS), Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

 0000-0002-4392-3724.

3 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Departamento de Semillas, Sede Central, Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

 0000-0003-3709-8534.

4 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Caribia, Zona Bananera, Magdalena, Colombia.

 0000-0002-9928-5282.

5 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca.

 0000-0002-6702-9524.

racimo (NMR), circunferencia del pseudotallo de la planta madre (CPM) y altura del hijo de sucesión (AHS). Se determinaron diferentes características físicas, químicas y biológicas del suelo en unidades experimentales de 1000 m<sup>2</sup> por cada lote de vigor evaluado. **Resultados.** Los resultados de las variables estudiadas permitieron categorizar lotes contrastantes de vigor en el cultivo de plátano. En cuanto a las relaciones con las características edáficas, resultaron correlaciones significativas y negativas entre porcentaje de arena, densidad aparente, infiltración básica e instantánea con NMR, AHS y CPM. Se obtuvieron correlaciones positivas entre porcentaje de limo y humedad del suelo con NMR. Al considerar las características químicas, no se presentaron correlaciones significativas. Respecto a las variables biológicas, resultaron correlaciones negativas entre la población total de fitonematodos con el NMR y CPM. El carbono microbiano presentó correlaciones positivas con CPM y AHS. El análisis de componentes principales permitió determinar la agrupación de lotes de AV y BV, y su correlación con variables edáficas con mayor peso en la expresión de la variabilidad de los resultados. **Conclusión.** La identificación de variables edáficas asociadas al vigor del cultivo de plátano permite evidenciar aquellas características que deben considerarse para el manejo eficiente del suelo y su efecto sobre el desarrollo del cultivo de plátano.

farms representative of the region were selected, in which lots with high (AV) and low vigor (BV) were determined, by evaluating number of hands per bunch (NMR), circumference of the pseudostem of the mother plant (CPM) and height of the succession plant (AHS). Different physical, chemical and biological characteristics of the soil were determined in experimental units of 1000 m<sup>2</sup> for each lot of vigor evaluated. **Results.** The results of the studied variables allowed to categorize contrasting lots of vigor in the plantain crop. Regarding the relationship with edaphic characteristics, significant and negative correlations were found between percentage of sand, bulk density, basic and instantaneous infiltration with NMR, AHS and CPM. Positive correlations between silt percentage and soil moisture were obtained with NMR. Considering the chemical characteristics, there were no significant correlations. Regarding biological variables, negative correlations were found between total population of phytonematodes with NMR and CPM. Microbial carbon showed positive correlations with CPM and AHS. The principal component analysis allowed determining the grouping of batches of AV and BV, and their correlation with edaphic variables with greater weight in the expression of the variability of the results. **Conclusion.** The identification of edaphic variables associated with the vigor of plantain crop allows to show the characteristics that must be considered for the efficient management of the soil and its effect on the development of plantain.

## INTRODUCCIÓN

El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo después del arroz, el trigo y el maíz. Esta fruta constituye la base de la alimentación de muchas regiones tropicales y además representa una importante fuente de ingresos para las empresas productoras (Rodríguez *et al.* 2018).

Aproximadamente, el 70% de la producción de plátano en Venezuela se concentra en la Zona Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela, específicamente en los estados Zulia, Trujillo, Mérida y Táchira (Rodríguez *et al.* 2012). El estado Zulia, por su parte, ocupa el mayor número de tierras sembradas con el cv Hartón y las

más grandes unidades de producción, especialmente aquellas situadas entre los ríos Escalante, Mucujepe y en las riberas del río Chama (González *et al.* 2021).

La información generada sobre la morfología de la cepa del plátano Hartón y el ciclo de las plantas está relacionada con la producción. La longitud del pseudotallo y su circunferencia están en relación directa, en primer término, con el tipo de clon y luego con el vigor de la planta producto de su estado de crecimiento. De igual modo, es un cultivar de cocción, a diferencia de los clones de banano del subgrupo Cavendish, los cuales se consumen frescos (Rodríguez *et al.* 2018).

El número de manos por racimo, circunferencia del pseudotallo y altura del hijo de sucesión son parámetros que están altamente correlacionados con la producción o vigor de la plantación en banano o plátano (Rosales *et al.* 2008).

Para la búsqueda de mejoras en la productividad del cultivo y la selección de zonas realmente aptas para el óptimo desarrollo de plantas de plátano y banano, es necesario realizar estudios que contemplen la caracterización pertinente del suelo, en cuanto a propiedades o atributos del mismo, pero no tendría ningún sentido observar esto aisladamente sin que interactúe en el sistema la variable planta y su relación con el suelo (Olivares *et al.* 2020).

La textura, resistencia a la penetración, densidad aparente e infiltración son características físicas que determinan la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rodríguez y Lobo 2004, Rodríguez 2009), por lo que se considera necesario conocer dichas características físicas del suelo, para conocer en qué medida y cómo afectan en el crecimiento y desarrollo de las plantas, para mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Castañeda *et al.* 2014). Algunas propiedades químicas como pH, conductividad eléctrica, fracciones de carbono y

disponibilidad de nutrientes han sido señalados como indicadores de calidad de suelo que condicionan la expresión del desarrollo y productividad de cultivos (Martínez *et al.* 2010, Martínez *et al.* 2013), incluidas las musáceas (Olivares *et al.* 2020). Complementariamente, el contenido de materia orgánica, es otro factor elemental que favorece diversas propiedades del suelo y los procesos de mineralización de nutrientes para el sustento de las plantas (Monsalve *et al.* 2017).

Por su parte, las características biológicas forman parte de las actividades bioquímicas que se presentan en la fase sólida del suelo, por lo que son las interfaces sólido-líquido y líquido-gas los sitios de preferencia de los microorganismos. Esas características en conjunto contribuyen al diagnóstico previo de la degradación de suelos, por lo que propone que el análisis de estas, permitiría la aplicación de labores hortícolas y prácticas culturales que aumenten la sustentabilidad del recurso suelo. De la misma forma, la actividad microbiológica y la biomasa microbiana representan indicadores biológicos del suelo importantes de tener en cuenta en los sistemas productivos de cultivos (Paolini 2017).

La zona de estudio carece de investigaciones que relacionen el vigor de plantas de plátano y características del suelo, adicionalmente, existen algunas limitantes edáficas en esta región que pueden afectar el desarrollo y productividad del cultivo de plátano. Por lo tanto, se planteó como objetivo central de este estudio determinar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y su relación con la expresión del vigor del cultivo de plátano en fincas del Sur del Lago de Maracaibo, de la parroquia el Moralito, municipio Colón, estado Zulia, Venezuela.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** La investigación se llevó a cabo en diferentes unidades de producción ubicadas entre el km 35 y el km 41 de los sectores: El Uvito, Bancada de Limones, Caño Negro y Cuatro Bocas de la parroquia el Moralito, municipio Colón del estado Zulia, Venezuela.

Esta zona se encuentra a una altitud de 8 msnm y cuenta con una precipitación acumulada anual que varía de 1200 a 1500 mm, una temperatura promedio al año de 38°C y una humedad relativa máxima de 90% y media de 85%. Los suelos están clasificados como: Typic tropopsamments mixto e isohipertémico de la serie Bancham y Fluventic Eutropepts mixto e isohipertémico de la serie chama con inclusiones de la serie chamita (González 2018).

#### **Definición de los sitios de muestreo.**

Se seleccionaron 7 unidades de producción de plátano, de las cuales 6 tenían una superficie de menos de 10 ha y una entre 12 y 15 ha. De acuerdo con la metodología propuesta por Rosales *et al.* (2008) y Delgado *et al.* (2010), en las 6 unidades de producción con menos de 10 ha se procedió a delimitar una parcela de 20 m x 50 m (1000 m<sup>2</sup>) por cada lote de vigor; mientras que en la unidad de producción entre 12 y 15 ha se procedió a demarcar 2 parcelas con la misma superficie por cada lote de vigor.

**Criterios para seleccionar lotes de alto y bajo vigor.** La selección de lotes con plantas de alto y bajo vigor se realizó al tomar el criterio indicado por Rodríguez y Rodríguez (1998), quienes señalan que valores de circunferencia del pseudotallo de la planta madre, por encima de 76,36 cm en promedio y 7 manos por racimo, pueden ser consideradas como el biotipo ideal de planta madre con elevada productividad para el caso del clon Hartón en Venezuela y complementariamente, que dichas plantas tuvieran 16 hojas activas por hijo de sucesión y una media de 5,48 hojas con ancho de lámina foliar mayor de 10 cm. Para identificarlo se realizó una fase previa de diagnóstico en campo por medio de un pre-muestreo sistemático en cada finca evaluada en los lotes de alto y bajo vigor (AV y BV, respectivamente), de acuerdo con los criterios señalados por Rosales *et al.* (2008) y González *et al.* (2021).

#### **Determinación del vigor de las plantas.**

En cada parcela de 1000 m<sup>2</sup> se seleccionaron 20

plantas con racimos próximos a ser cosechados (3 semanas antes del momento de cosecha) que fueron marcados con cintas, a las cuales se les determinó los siguientes parámetros de vigor: número de manos por racimo, circunferencia del pseudotallo de la planta madre y altura del hijo de sucesión, parámetros que están altamente correlacionados con la producción o vigor de la plantación (Rosales *et al.* 2008, Delgado *et al.* 2010, Lobo *et al.* 2011). La circunferencia de la planta madre se evaluó desde la base del suelo hasta los 100 cm de altura con una cinta métrica. La altura del hijo de sucesión se determinó al medir desde el nivel del suelo hasta la inserción del peciolo de la última hoja expandida con la hoja candela. Luego de desarrollado el racimo, se procedió a contar todas las manos presentes en el mismo.

**Toma de muestras de suelos.** En cada parcela de 1000 m<sup>2</sup> ubicadas en los lotes de alto y bajo vigor se seleccionaron 3 puntos de muestreo al azar y en cada uno de ellos se abrieron minicalicatas de 60 cm ancho por 60 cm largo y 60 cm profundidad. Estas se ubicaron en la banda de fertilización de las plantas de plátano recién florecidas. En cada minicalicata se realizó una descripción del perfil del suelo y se separaron los horizontes genéticos, cuyo espesor dependió de las características intrínsecas de cada suelo y de cómo han actuado los factores y los procesos de formación de suelos.

En cada horizonte, se procedió a tomar las muestras de suelo para la determinación de las características físicas, químicas y biológicas del suelo en cada lote identificado. Para lograr una mejor representatividad del muestreo, se realizó un patrón de 10 submuestras por cada muestra de suelo colectadas del área adyacente al punto central de muestreo (minicalicata), las cuales se tomaron en tres profundidades (0-5; 5-15; 15-30). Las muestras fueron debidamente identificadas y transportadas a los laboratorios de Suelos de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago y Microbiología y Fitopatología de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado para sus respectivas determinaciones.

### Propiedades físicas del suelo

**Textura.** Se determinó mediante el método del hidrómetro de Gee y Bauder (1986).

**Humedad.** Se aplicó la siguiente ecuación:  
$$\% \text{ humedad} = (\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco}) / \text{Peso de suelo seco} * 100.$$

**Densidad aparente.** Se determinó con la metodología propuesta por Blake y Hartge (1986). En los 3 primeros horizontes genéticos del suelo, se tomaron muestras con el uso de los cilindros de Kopecky de 5,08 cm de diámetro por 5 cm de altura, los cuales fueron introducidos en el suelo con la ayuda de un martillo de goma. Una vez tomadas las muestras sin perturbar, se taparon con papel aluminio y se trasladaron al laboratorio, donde se pesaron y se secaron en una estufa a 105°C por 24 horas, se dejaron enfriar y se volvieron a pesar. Se determinó la relación del peso y volumen del cilindro de suelo.

**Conductividad hidráulica saturada.** Se determinó al utilizar valores de arena y arcilla de la muestra de suelo, mediante el empleo del programa Piras para evaluar las características hidráulicas de una muestra de suelo (Orellana 2016).

**Resistencia a la penetración.** Se evaluó en 3 vértices de cada minicalicata a través del uso de un penetrómetro de profundidad por impacto (Nacci y Pla 1992).

**Determinación de infiltración básica e instantánea.** Se determinó, de acuerdo con el método del doble anillo propuesto por Reynolds *et al.* (2002), al frente del hijo de sucesión de la planta madre.

### Propiedades químicas del suelo

**pH.** La acidez activa se determinó en extracto acuoso con una relación suelo-agua de 1:2,5, en agitación durante 2 horas (McLean 1982), mediante el uso de un medidor de pH marca Digital pH meter, modelo pH-2006.

**Conductividad eléctrica.** Se determinó en el mismo extracto utilizado para determinar la acidez activa, con un conductímetro marca HANNA, modelo HI 9033, calibrado previamente con una solución de KCL 0,040 mol.L<sup>-1</sup> a una temperatura de 25°C.

**Contenido de materia orgánica.** Se realizó al seguir el método de digestión húmeda propuesta por Walkley-Black 1934, modificado por Sims y Haby (1971).

**Nitrógeno total.** Se siguió el método de Kjeldahl (Fleck y Munro 1965).

**Nitrógeno amoniacal.** Se determinó al seguir el método propuesto por Keeney y Nelson (1982).

**Amonio disponible.** Se realizó al seguir la metodología de Anderson e Ingram (1993).

**Fósforo total.** La extracción se realizó mediante el procedimiento de digestión con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado y oxidación con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), al utilizar el método de Tiessen y Moir (1993).

**Suma de cationes.** Se realizó mediante el uso de la solución extractora Mehlich 3, para determinar K, Ca, Mg y Na, en un equipo de absorción atómica modelo perkin Elmer 3110.

**Sodio soluble.** Se determinó por el método de fotometría de llama, a través de la metodología propuesta por Pérez y Gilabert (1997).

**Porcentaje de saturación de bases.** Previo a la determinación de porcentaje de saturación de bases, se determinó la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), lo cual consistió en tomar los valores finales en cmol<sup>+</sup>. kg<sup>-1</sup> de las bases de la muestra analizada por espectrofotometría de absorción atómica más el aluminio e hidrógeno retenido en las cargas del suelo (Chávez 2015).

En este sentido, la proporción de la CICE que es ocupada por cationes básicos ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$ ) se tomó en consideración en la siguiente fórmula para determinar porcentaje de saturación de bases:  $\%SB = \text{Suma de bases intercambiables} / \text{CICE} \times 100$ .

### Propiedades biológicas del suelo

**Hongos, bacterias y actinomicetos en suelo.** Se utilizó la técnica de los platos de dilución (Rosales *et al.* 2008).

**Carbono microbiano y respiración basal del suelo.** El carbono asociado con la biomasa microbiana del suelo se determinó mediante la técnica de fumigación-extracción, en la cual se provoca la muerte de la microbiota del suelo con cloroformo y se extrae con una solución de sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) 0,5 N (Rosales *et al.* 2008). Para la respiración microbiana o respiración basal del suelo, el análisis se realizó mediante la técnica de incubaciones estáticas, donde se analiza la concentración de  $\text{CO}_2$  desprendido (producto de la actividad biológica y del contenido de carbono orgánico fácilmente mineralizable presente en el suelo). El  $\text{CO}_2$  es capturado en una solución alcalina (NaOH 0,2 N) durante 10 días de incubación bajo condiciones ambientales óptimas (Alef y Nannipieri 1995, Rosales *et al.* 2008).

**Diseño experimental.** El diseño de muestreo fue sistemático dirigido, este se basa en el seguimiento de un patrón geométrico específico (recorrido en zig-zag con líneas de cada 15 m dentro del área de 1000  $\text{m}^2$  para determinación de puntos de muestreo en los lotes), donde las muestras son tomadas a intervalos regulares a lo largo

de ese patrón. Obtenidos los resultados de campo y laboratorio, se procedió a realizar un análisis de varianza previo cumplimiento de los supuestos. Cuando el ANOVA fue significativo ( $p < 0,05$ ) se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey, a través del programa Statistix versión 8,0. Además, se realizó un análisis correlacional lineal de Pearson entre los parámetros de vigor de plantas de plátano y las características físicas, químicas y biológicas del suelo con la finalidad de determinar cómo las características pueden influir en el vigor de las plantas de plátano.

Con el fin de identificar las relaciones entre las variables edáficas medidas con los lotes de alto y bajo vigor, se realizó un análisis multivariado por componentes principales con el apoyo del programa Infostat.

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Parámetros de vigor de plantas de plátano.** En la Tabla 1, se observa que las variables de vigor estudiadas: número de manos por racimo, la circunferencia de la planta madre (cm) y la altura del hijo de sucesión (m) presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con valores más altos en lotes de plantas de plátano de alto vigor (AV) respecto a los de bajo vigor (BV). Esto indica que las variables seleccionadas son adecuadas para separar lotes con vigor contrastantes. Resultados similares con estas variables en el cultivo de banano han demostrado que pueden distinguir lotes contrastantes en cuanto a vigor se refiere (Rodríguez *et al.* 2010a), relacionado, además, con variables edáficas que determinan la productividad del suelo (Rodríguez *et al.* 2010b, Lobo *et al.* 2011, Olivares *et al.* 2020).

Tabla 1. Parámetros de vigor de plantas de plátano en fincas. Sur del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Lotes de vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre (cm)	Altura del hijo de sucesión (m)
Alto vigor	7,50±0,97 <sup>a*</sup>	66,86±8,29 <sup>a</sup>	2,56±0,53 <sup>a</sup>
Bajo vigor	4,96±0,89 <sup>b</sup>	59,44± 9,16 <sup>b</sup>	2,03±0,48 <sup>b</sup>
Probabilidad	<0,00	<0,00	<0,00

\* Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según prueba Tukey entre lotes de vigor de plantas de plátano.

Los resultados obtenidos de las variables biométricas de vigor son similares a los presentados por González-Pedraza *et al.* (2014) en una finca con características de suelos relativamente similares cultivada con plátano Hartón, ubicada en el municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela. Los lotes de alto vigor presentaron mayor número de manos por racimo, circunferencia del pseudotallo de la planta madre y altura del hijo de sucesión, que los lotes de bajo vigor.

Los valores de circunferencia de la planta madre (cm) fueron relativamente altos, en comparación con los datos reportados por Delgado *et al.* (2008) en un trabajo realizado en la región central del estado Barinas, Venezuela, bajo condiciones de suelo y clima muy similares a las de este estudio, en plantaciones de plátano (*Musa* AAB cv. subgrupo plátano Hartón) con densidades de siembra de 1111 plantas.ha<sup>-1</sup>, los cuales señalan valores de 55,9 cm. No obstante, Rodríguez y Rodríguez (1998) presentaron datos

relacionados con la biometría de plátano cv. Hartón, en la planicie del río Chama, depresión del Lago de Maracaibo, Venezuela, y encontraron que el perímetro promedio del pseudotallo de la planta madre fue de 76,36 cm. Dichos valores son superiores a los encontrados en la presente investigación. Sin embargo, para el mismo clon evaluado Rodríguez *et al.* (2018), se reportan valores de adecuado vigor bajo condiciones de los Llanos Orientales de Colombia, similares a los encontrados en la presente investigación.

### **Vigor de plantas de plátano y su relación con las propiedades físicas, químicas y biológicas en los suelos evaluados**

Los resultados para cada profundidad de suelo evaluada y lotes de vigor contrastantes para las propiedades físicas, químicas y biológicas se presentan en las Tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2. Características físicas del suelo entre lotes de plantas de plátano con diferente vigor para cada horizonte genético en fincas.  
Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Características físicas del suelo								
Vigor de plantas	Horizonte	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Grupo textural	Densidad aparente (g.cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Conductividad hidráulica saturada (K) (cm/h <sup>-1</sup> )
AV	1	*6,56±1,29 <sup>a</sup>	77,81±16,66 <sup>a</sup>	15,62±16,94 <sup>a</sup>	FL	1,27± 0,10 <sup>a</sup>	21,48±8,41 <sup>a</sup>	3,99±0,44 <sup>a</sup>
BV		4,38±2,22 <sup>b</sup>	68,13±22,15 <sup>a</sup>	27,50±21,04 <sup>a</sup>	FL	1,33±0,06 <sup>a</sup>	15,33±5,39 <sup>a</sup>	3,87±0,45 <sup>a</sup>
AV	2	3,75±1,33 <sup>a</sup>	81,25± 16,20 <sup>a</sup>	15,00±15,64 <sup>a</sup>	L	1,33±0,11 <sup>a</sup>	20,52±9,13 <sup>a</sup>	3,96±0,42 <sup>a</sup>
BV		5,00±2,67 <sup>a</sup>	66,25± 28,72 <sup>a</sup>	28,75±27,03 <sup>a</sup>	FL	1,34±0,13 <sup>a</sup>	15,52±7,96 <sup>a</sup>	3,88±0,59 <sup>a</sup>
AV	3	4,06±2,65 <sup>a</sup>	73,56±20,59 <sup>a</sup>	22,37±21,80 <sup>a</sup>	FL	1,34±0,12 <sup>a</sup>	18,34±7,00 <sup>a</sup>	4,14±0,55 <sup>a</sup>
BV		5,00± 2,67 <sup>a</sup>	56,25±35,22 <sup>a</sup>	38,75±33,88 <sup>a</sup>	FL	1,30±0,11 <sup>a</sup>	15,54±7,85 <sup>a</sup>	4,23±1,00 <sup>a</sup>

\* Valor promedio ± desviación estándar seguidos por letras minúsculas diferente entre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según prueba Tukey entre lotes de plantas de plátano para cada horizonte de suelo. AV = alto vigor, BV = bajo vigor, FL = franco limoso y L = limoso.

Tabla 3. Características químicas del suelo entre lotes de plantas de plátano con diferente vigor para cada horizonte genético en fincas. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Vigor de plantas	Horizonte	Características químicas del suelo									
		pH	CE	MO	NT	Amonio (mg N/kg suelo)	PT	SC	CICE	%SB	
AV	1	*5,56±0,88 <sup>a</sup>	0,15±0,09 <sup>a</sup>	8,60±4,40 <sup>a</sup>	0,02±0,01 <sup>a</sup>	251,12±160,64 <sup>a</sup>	637,85±382,31 <sup>a</sup>	8,82±1,96 <sup>a</sup>	8,97±1,95 <sup>a</sup>	98,26±1,59 <sup>a</sup>	
BV		5,87±1,07 <sup>a</sup>	0,09±0,06 <sup>a</sup>	10,54±5,25 <sup>a</sup>	0,02±0,01 <sup>a</sup>	208,28±109,16 <sup>a</sup>	791,64±417,47 <sup>a</sup>	9,76±3,27 <sup>a</sup>	9,99±3,32 <sup>a</sup>	97,36±2,85 <sup>a</sup>	
AV	2	5,90±0,56 <sup>a</sup>	0,08±0,09 <sup>a</sup>	5,06±1,46 <sup>a</sup>	0,02±0,009 <sup>a</sup>	224,76±106,10 <sup>a</sup>	670,12±305,37 <sup>a</sup>	8,19±2,30 <sup>a</sup>	8,30±2,27 <sup>a</sup>	98,45±1,03 <sup>a</sup>	
BV		6,02±0,92 <sup>a</sup>	0,09±0,09 <sup>a</sup>	4,97±2,07 <sup>a</sup>	0,02±0,01 <sup>a</sup>	290,67±226,88 <sup>a</sup>	686,20±303,25 <sup>a</sup>	8,25±2,43 <sup>a</sup>	8,41±2,40 <sup>a</sup>	97,83±1,95 <sup>a</sup>	
AV	3	6,16±0,60 <sup>a</sup>	0,07±0,11 <sup>a</sup>	4,23±2,19 <sup>a</sup>	0,02±0,006 <sup>a</sup>	147,31±123,95 <sup>a</sup>	716,84±321,91 <sup>a</sup>	8,25±2,38 <sup>a</sup>	8,36±2,36 <sup>a</sup>	98,45±1,03 <sup>a</sup>	
BV		6,13±0,72 <sup>a</sup>	0,04±0,03 <sup>a</sup>	3,17±1,43 <sup>a</sup>	0,02±0,008 <sup>a</sup>	180,27±143,36 <sup>a</sup>	641,20±327,18 <sup>a</sup>	7,33±1,97 <sup>a</sup>	7,44±1,96 <sup>a</sup>	98,36±0,77 <sup>a</sup>	

\* Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferente entre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según prueba Tukey entre lotes de plantas de plátano para cada horizonte de suelo. AV= alto vigor, BV= bajo vigor, CE= conductividad eléctrica (mS/cm), MO= materia orgánica (%), NT= nitrógeno total (%), PT= fósforo total ( $\mu\text{gP}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{suelo}$ ), SC= suma de cationes ( $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ); CICE= capacidad de intercambio catiónico efectiva ( $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ); %SB= porcentaje de saturación de bases.

Tabla 4. Características biológicas del suelo entre lotes de plantas de plátano con diferente vigor para el primer horizonte genético en fincas. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Vigor de plantas	Características biológicas del suelo				
	UFC Hongos	UFC Bacterias	UFC Actinomicetos	PTNS	PTNR
AV	*1,29±0,04 <sup>a</sup>	9,74±1,27 <sup>a</sup>	0,88±0,09 <sup>a</sup>	356,58±0,51 <sup>a</sup>	38,37±0,28 <sup>b</sup>
BV	1,30±0,03 <sup>a</sup>	9,93±1,18 <sup>a</sup>	0,5±0,07 <sup>b</sup>	232,58±0,39 <sup>a</sup>	72,87±0,37 <sup>a</sup>

\* Valor promedio ± desviación estándar seguidos por letras minúsculas diferente entre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según prueba Tukey entre lotes de vigor de plantas de plátano. UFC= unidades formadoras de colonia. PTNS= población total de nematodos en suelos. PTNR= población total de nematodos en raíces.

Con respecto a las relaciones lineales entre variables edáficas y los parámetros de vigor del suelo, en general, se encontraron correlaciones significativas bajas para las características físicas, químicas y biológicas en los suelos (Tablas 5, 6, 7, 8, 9). De esta manera, se observa una correlación significativa y negativa entre

arena y el número de manos por racimo (NMR) y la altura del hijo de sucesión (AHS); densidad aparente respecto a NMR y circunferencia de la planta madre (CPM). Por lo tanto, a medida que aumentan los porcentajes de arena y la densidad aparente, disminuyen los parámetros de vigor evaluados (Tabla 5).

Tabla 5. Relación entre el vigor de plantas de plátano y propiedades físicas del suelo en fincas. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Vigor de plantas/ propiedades físicas del suelo	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
ARC	*0,02 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
LIM	0,19 <sup>**</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>*</sup>
ARE	-0,20 <sup>**</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>*</sup>
HUM	0,15 <sup>*</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
DA	-0,13 <sup>*</sup>	-0,14 <sup>*</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
K	0,01 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>
RES	0,10 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
IB	-0,40 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>
II	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>

\* Valor de R, acompañado de letra de significancia. ARC= arcilla. LIM= limo. ARE= arena. HUM= humedad. DA= densidad aparente. K= conductividad hidráulica saturada. RES= resistencia a la penetración. IBC= infiltración básica entre calles. II= infiltración instantánea. IB= infiltración básica. IIH= <sup>ns</sup>= no significativo. \*= significativo. \*\*= altamente significativo.

Tabla 6. Relación entre el vigor de plantas de plátano y las características químicas del suelo en fincas. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Vigor de plantas/ características químicas del suelo	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
pH	*0,01 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
CE	0,22 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
MO	0,08 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	- 0,05 <sup>ns</sup>
NT	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
AMON	0,01 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
PT	0,11 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	- 0,20 <sup>ns</sup>
SC	0,10 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
CICE	0,09 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
SB	0,26 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>

\* Valor de R, acompañado de letras de significancia. CE= conductividad eléctrica. MO= materia orgánica. NT= nitrógeno total. Amon= amonio disponible. PT= fósforo total. SC= suma de cationes. CIC= capacidad de intercambio catiónico efectiva. SB= porcentaje de saturación de bases.  
<sup>ns</sup>= no significativo. \*= significativo. \*\*= altamente significativo.

Tabla 7. Relación entre el vigor de plantas de plátano y la población total de fitonemátodos y géneros encontrados en raíces de plantas en fincas. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Vigor de plantas/ características biológicas del suelo	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
PTNR	*-0,25*	-0,44*	-0,24 <sup>ns</sup>
<i>Aphelenchus</i> sp.	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>
<i>Basiria</i> sp.	0,07 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
<i>Helicotylenchus</i> sp.	-0,24*	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,28*
<i>Helicotylenchus multicinctus</i> .	0,02 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>
<i>Meloidogyne</i> sp.	-0,20 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>
<i>Pratylenchus</i> sp.	-0,29*	-0,36*	-0,15 <sup>ns</sup>
<i>Radopholus similis</i> .	0,10 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>
<i>Rotylenchulus</i> sp.	0,01 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>
<i>Tylenchus</i> sp.	0,15 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,37*

\* Valor de R, acompañado de letra de significancia. PTNR= población total de fitonemátodos en raíces.  
<sup>ns</sup>= no significativo. \*= significativo. \*\*= altamente significativo.

Tabla 8. Relación entre el vigor de plantas de plátano y la población total de bacterias y actinomicetos encontrados en suelos de fincas. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Vigor de plantas/ características biológicas del suelo	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
PTB	*0,05 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>
PTA	0,18*	0,08 <sup>ns</sup>	0,16*

\* Valor de R, acompañado de letra de significancia. PTB= población total de bacterias en suelos. PTA= población total de actinomicetos en suelos. <sup>ns</sup>= no significativo. \*= significativo. \*\*= altamente significativo.

Tabla 9. Relación entre el vigor de plantas de plátano y carbono microbiano y respiración basal del suelo de fincas. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela

Vigor de plantas/ características biológicas del suelo	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
Cmic	*0,03 <sup>ns</sup>	0,13*	0,13*
RB	-0,06 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>

\* Valor de R, acompañado de letra de significancia. Cmic= carbono microbiano en suelos. RB= respiración basal del suelo. <sup>ns</sup>= no significativo. \*= significativo. \*\*= altamente significativo.

En este sentido, se confirma que suelos con texturas arenosas no son favorables para la retención de humedad, al igual que suelos con estas características pueden favorecer pérdidas de nutrientes en procesos de lixiviación, lo cual ocasionaría un bajo vigor en las plantaciones de plátano (Lobo *et al.* 2011). En cuanto a la densidad aparente, valores altos generan procesos de compactación y dificultad de penetrar adecuadamente las raíces en capas más profundas del suelo, lo cual afecta la profundidad efectiva del sistema radical (Rodríguez 2009, Olivares *et al.* 2020). De igual manera, valores altos de densidad aparente dificultan algunas propiedades de movimiento del agua dentro del perfil del suelo (Rodríguez y Lobo 2004, Rey *et al.* 2009, Rodríguez *et al.* 2010b). En tal sentido, Serrano (2002) expuso que valores de densidad aparente (Da) mayores 1,30 Mg.m<sup>-3</sup>, para suelos bananeros

indican un grado de compactación moderada. De igual forma, Rodríguez *et al.* (2010a) señalaron valores limitantes para el desarrollo radical en banano de 1,4 Mg.m<sup>-3</sup>.

Resultados similares fueron presentados por Herrera *et al.* (2017) al evidenciar correlaciones negativas entre arena y la densidad aparente respecto al número de manos por racimo. Por su parte, Olivares *et al.* (2020) señalan que, para un índice de productividad de suelos en banano para regiones productoras de Venezuela, la compactación del suelo determinada por variables como densidad aparente y resistencia a la penetración, fueron seleccionadas dentro de los 5 indicadores que determina el modelo desarrollado por estas personas autoras.

Adicionalmente, se observa una correlación positiva y significativa entre limo y humedad con el número de manos por racimo. De esta

manera, se infiere que, conforme aumenten los contenidos de limo y porcentaje de humedad, se incrementa el número de manos por racimo. Esto se encuentra asociado fundamentalmente a que ambas propiedades intervienen en la dinámica de disponibilidad de nutrientes y facilidad de intercambio de cationes en el suelo (Rodríguez *et al.* 2010a).

Para el caso de las características químicas evaluadas, no se observaron correlaciones significativas respecto a las variables de vigor (Tabla 6). Al respecto, en investigaciones desarrolladas en banano relacionadas con índices de salud y calidad de suelo e índices de productividad de suelos en Venezuela, se ha identificado que la proporción de variables químicas que funcionan como indicadores ha sido menor comparado con las propiedades físicas y biológicas (Rey *et al.* 2009, Delgado *et al.* 2010, Olivares *et al.* 2020). Los resultados encontrados en la presente investigación no permitieron correlacionar variables químicas del suelo con los parámetros de vigor de las plantas de plátano en los suelos estudiados. Al respecto, las variables químicas en los lotes evaluados obtuvieron valores muy homogéneos, tal y como se evidencia en la Tabla 4. Por otra parte, Castañeda *et al.* (2014) encontraron en un estudio de variabilidad espacial de suelo y determinación de variables edáficas relacionadas con la producción de banano en suelos de Urabá, Colombia, una mayor proporción de propiedades químicas del suelo para identificar las variables con mayor potencial para la implementación en un programa de manejo por sitio específico.

Adicionalmente, se encontró una correlación significativa y negativa entre la población total de fitonemátodos en raíces (PTNR) y las variables de vigor estudiadas (número de manos por racimo y circunferencia de la planta madre). En cuanto a los géneros de los nemátodos, se determinó una correlación negativa entre *Helicotylenchus* sp, y el NMR y la AHS; entre *Pratylenchus* sp y el NMR y la CPM; lo que significa que conforme aumente la PTNR y los géneros de fitonemátodos indicados,

disminuirán las características de vigor en el cultivo de plátano (Tabla 7).

Los principales fitonemátodos que causan pérdidas económicas en el cultivo del banano y plátano son los endoparásitos migratorios *Radopholus similis* y *Pratylenchus coffeae*, el ectoparásito migratorio *Helicotylenchus multicinctus* y el endoparásito sedentario *Meloidogyne* spp (Torrado y Castaño 2009). Por su parte, Guzmán (2011) señala que en banano y plátano, generalmente, se encuentran comunidades poli específicas, compuestas por los 4 principales fitonemátodos, anteriormente mencionados y que la importancia económica se presenta en el siguiente orden: *R. similis* > *Helicotylenchus* spp. > *Meloidogyne* spp. > *Pratylenchus* spp.

En estudios de salud y calidad de suelos en banano para 2 regiones productivas de Venezuela, se determinó que unos de los indicadores que aportaba al índice de salud y calidad del suelo eran nematodos de vida libre totales y bacteriófagos, aunque estos no son patogénicos, son importantes a tener en cuenta cuando se desea evaluar aspectos de la salud del suelo (Delgado *et al.* 2010). De igual modo, Olivares *et al.* (2020) en un estudio de relación de propiedades del suelo con parámetros de vigor y productividad de banano en Venezuela, propone como parte del índice de productividad de suelo los nemátodos omnívoros de vida libre. Por otra parte, los nemátodos fitoparásitos son determinantes en la salud del sistema radical en plantas de banano y plátano (Rodríguez 2009).

Los resultados de poblaciones totales de bacterias no presentan correlaciones significativas (Tabla 8), lo que implica que las poblaciones microbianas sobreviven con el aporte de nutrientes añadidos por los fertilizantes (Meena y Meena 2017, Horwarth 2017). Sin embargo, para actinomicetos, se observaron correlaciones positivas y significativas respecto a NMR y AHS. En tal sentido, estos microorganismos son conocidos por desarrollar diversas actividades en el ecosistema, tales como el mejoramiento de la estructura del suelo y producción de compuestos bioactivos con actividad antagonista contra

microorganismos patógenos, por lo que son los principales productores de antibióticos. Otros estudios han descrito actividades que pueden catalogar a los actinomicetos como rizobacterias promotoras del crecimiento (Franco-Correa 2009). Además, tienen gran importancia en la participación de la degradación de materia orgánica, intervienen en interacciones entre planta-microorganismo, que permiten desarrollar una auténtica micorrizosfera que promueve el crecimiento y nutrición de las plantas (Chaurasia *et al.* 2018, Vurukonda *et al.* 2018).

De igual manera, se observó que no hay correlación lineal entre carbono microbiano y NMR, pero sí una correlación positiva y significativa entre esta variable y CPM y AHS. En cuanto a la respiración basal del suelo, no se determinó una correlación con respecto a alguna de las variables de vigor estudiadas (Tabla 9). Al respecto, estudios de variables de vigor y productividad en banano enfocados en índice de salud y calidad del suelo (Rey *et al.* 2009, Delgado *et al.* 2010) y para índices de productividad del suelo (Olivares *et al.* 2020) han considerado variables biológicas, como respiración microbiana total y biomasa de la materia orgánica, como indicadores importantes en cuanto a la parte biológica del suelo.

El carbono microbiano ha sido frecuentemente estudiado por su alta y rápida sensibilidad a los cambios que se producen en el sistema y, además, porque es uno de los pocos que controla parte de los procesos que involucran la transformación y el ciclado de nutrientes, así como la macroagregación, lo cual favorece la retención de agua y la aireación del suelo (Pérez *et al.* 2017, Ren *et al.* 2019). Variables como carbono microbiano están asociadas a la cantidad y actividad de los microorganismos del suelo (Velmourougane 2016, Yang *et al.* 2017, Vurukonda *et al.* 2018). En tal sentido en lotes de alto vigor, el carbono microbiano se encontró con valores más altos.

Morocho y Leiva (2019) señalaron que los microorganismos pueden promover el reciclaje de nutrientes en el suelo, así como incrementar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo cual implica una mejor respuesta en el desarrollo de los cultivos. De igual modo, podrían presentarse a partir de la diversidad de microorganismos identificados, otros beneficios como promoción de crecimiento como biofertilizantes (Walia *et al.* 2013, Beltrán 2014), estimulación en la formación de raíces y mejora en la nutrición de las plantas (Aung *et al.* 2018), solubilización de fósforo (Satyaprakash *et al.* 2017), fijación de nitrógeno (Grajo *et al.* 2017, Kakraliya y Singh 2018), solubilización de hierro o producción de sideróforos (Aguado-Sánchez *et al.* 2012) y actividad antagonista frente a patógenos (Chaurasia *et al.* 2018).

Con respecto a la diversidad de hongos encontrados en la Figura 1, se presentan los resultados en lotes de vigor contrastantes. La biodiversidad fúngica predominante en suelos cultivados con plátano en la zona Sur del Lago estuvo representada por 4 hongos que se identificaron como: *Aspergillus* sp, *Fusarium* spp, *Penicillium* sp y *Trichoderma* sp. Así, de los hongos identificados, no se observaron diferencias estadísticas entre los suelos cultivados con plantas de plátano de diferente vigor para UFC de *Fusarium* spp., *Penicillium* sp. Micelio estéril y *Trichoderma* sp. Sin embargo, en el lote de AV se evidenció un valor más elevado de UFC para *Trichoderma*. Por otra parte, se identificaron mayor UFC de *Aspergillus* sp. en suelos con lotes de BV respecto a los de AV.

En ese sentido, *Trichoderma* se incluye entre los hongos con capacidades de bioestimulación, ya que promueven el crecimiento y el vigor en las plantas por la habilidad que poseen para hacer que las raíces sean más robustas, aspecto que favorece mayor profundidad, porque son más resistentes a las sequías y pueden absorber más nutrientes (Donoso *et al.* 2008, Valdés 2014, Santana y Castellanos 2018).

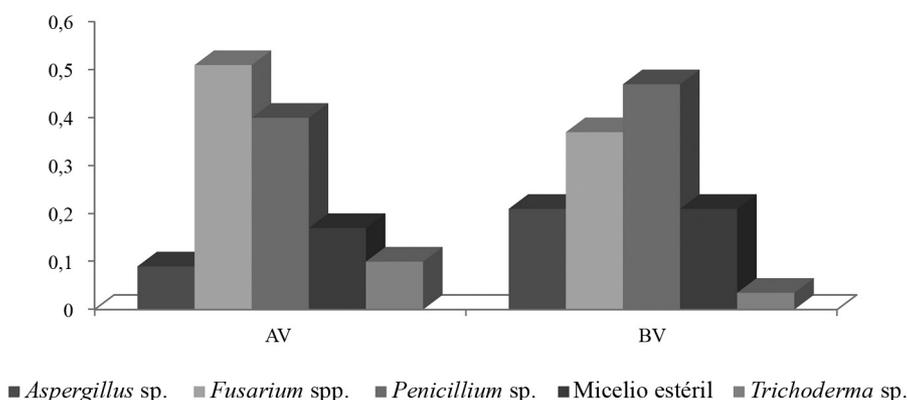


Figura 1. Unidades formadoras de colonias de hongos aislados en suelos cultivados con plantas de plátano de diferente vigor. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. Columnas acompañadas por letras distintas señalan diferencias estadísticas entre lotes de plantas de plátano ( $p < 0,05$ ). Cada barra representa el total de unidades formadoras de colonia de los hongos aislados en suelos cultivados con plátano. AV= lotes plantas de plátano de alto vigor. BV= lotes de plantas de plátano de bajo vigor.

**Análisis multivariado.** Para buscar relaciones no lineales entre todas las variables edáficas evaluadas y los parámetros de vigor en plantas de plátano, se realizó un análisis de los componentes principales de los cuales los 3 primeros explicaron el 62% de la variabilidad encontrada, porcentaje que coincide con lo reportado por Yan *et al.* (2000).

Para adoptar una decisión definitiva en la selección de las variables, fue necesario examinar los vectores propios entre las variables originales y los componentes principales, aspecto que indica que las variables con los valores más altos en los componentes seleccionados serán las de mayor importancia (Pla 1986). En este sentido, al evaluar los vectores propios de la matriz correlación de las 20 variables edáficas evaluadas, se observaron altos valores para 15 de ellas (conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono microbiano, respiración basal a los 4, 7 y 10 días, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente, población total de hongos, bacterias y actinomicetos, % de arena y limo, coeficiente metabólico). Con base en estas variables, se

realizó el biplot multivariado para evaluar las interrelaciones entre las variables y los lotes de alto y bajo vigor del cultivo de plátano.

Yan *et al.* (2000) señalan que en los biplot de análisis multivariado, cuando los ángulos entre los vectores son de  $180^\circ$ , las relaciones son inversas; si el ángulo es  $0^\circ$ , el coeficiente es positivo aspecto que expone que hay relaciones importantes entre las variables, mientras que para ángulos de  $90^\circ$  no hay relaciones entre las mismas, situación que permite la posibilidad de detectar relaciones entre variables y fincas, de tal forma que se puedan identificar aquellas que estén positiva o negativamente relacionadas.

Seguidamente, se analizaron las correlaciones de las variables con mayor aporte en cada componente (Tabla 10) y se pudo determinar que las características del suelo que prioritariamente definen a cada componente son la biomasa y la actividad microbiana, la capacidad de intercambio catiónico y textura (componente 1; 38%), materia orgánica y diversidad de microorganismos (componente 2; 12%) y densidad aparente, así como la conductividad eléctrica (componente 3; 11%).

De esta forma los análisis confirman la significancia de las variables analizadas en forma de correlaciones lineales, que afectaron la expresión del vigor de plantas de plátano. Adicionalmente,

permitió observar en forma conjunta, variables que se pueden asociar a propiedades funcionales del suelo, más allá de la interpretación de los resultados de variables individuales.

Tabla 10. Correlaciones con las variables originales, para determinar aquellas mayormente relacionadas con los componentes definidos en el análisis multivariado.

Variabes	CP 1	CP 2	CP 3
CE	-0,75	-0,25	-0,46
MO	-0,57	0,72	-0,01
CM	-0,45	-0,14	0,53
RB4	0,55	-0,05	0,47
RB7	0,81	-0,33	0,23
Pdisp	-0,67	0,53	0,01
SC	-0,8	0,3	0,45
CIC	-0,81	0,29	0,43
DA	0,2	-0,16	0,64
k	0,25	0,32	-0,2
TBACT	0,46	0,68	-0,26
TACTI	-0,21	-0,43	-0,59
THONG	-0,24	0,36	-0,14
ARE	0,69	0,32	-0,13
HUM	-0,68	-0,08	-0,16
LIM	-0,68	-0,34	0,14
AMON	-0,68	-0,13	-0,36
RB10	0,71	0,05	-0,05
CmicCOT	0,86	0,09	-0,09
qCO2	-0,56	-0,37	0,04
Correlación cofenética= 0,911			

CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica; CM= carbono microbiano; RB 4, 7, 10= respiración basal a los 4, 7 y 10 días; Pdisp= fósforo disponible; SC= suma de cationes; CIC= capacidad de intercambio catiónico; DA= densidad aparente; K= conductividad hidráulica saturada; TBACT= total de bacterias; TACT= total de actinomicetos; THONG= total de hongos; ARE= % de arena; HUM= contenido de humedad; LIM= % de limo; AMON= contenido de amonio; CmicCOT= relación carbono microbiano= carbono orgánico total; qCO2= coeficiente metabólico.

Los lotes de vigor evaluados en puntos 1 al 8 alto vigor y 9 al 16 bajo vigor se relacionaron con los vectores representados por las variables que presentaron mayor peso, para

explicar la variabilidad existente así se evidenciaron los lotes de alto vigor asociados a las variables contenido de actinomicetos y hongos, materia orgánica, coeficiente metabólico y

aspectos de fertilidad (CIC, fósforo y amonio), los cuales se observan en la parte izquierda de la gráfica, mientras que los lotes de bajo vigor se

asocian predominantemente con variables como respiración basal, carbono microbiano y densidad aparente (Figura 2).

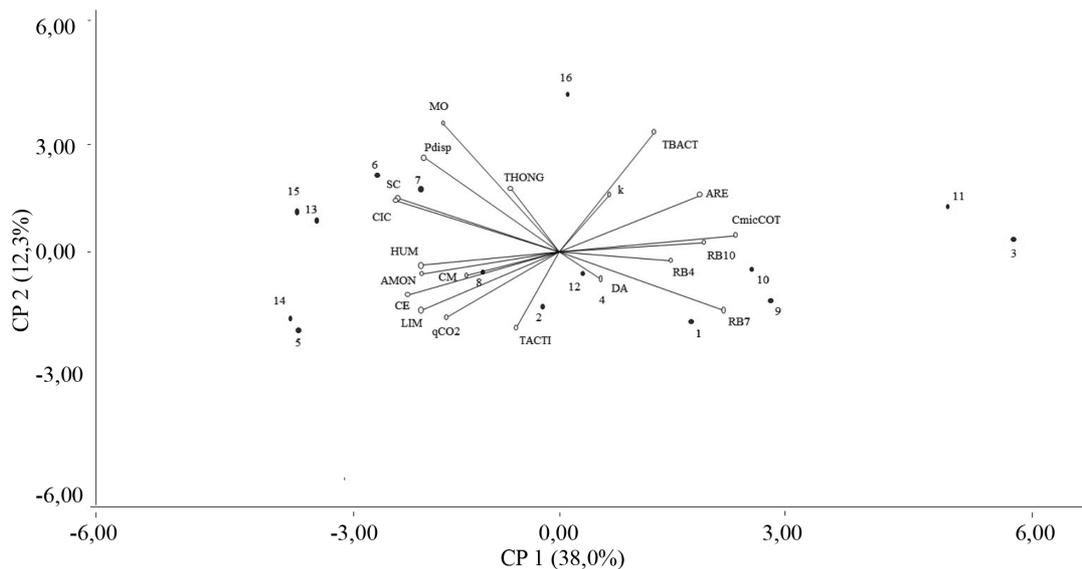


Figura 2. Biplot multivariado por componentes principales en 16 lotes de plátano (1-8 alto vigor) y (9-16 bajo vigor) en las 20 variables evaluadas.

Se identificaron variables edáficas asociadas a las respuestas del cultivo de plátano en términos de vigor, que se deberán considerar para diseñar estrategias de manejo como, la preparación de suelo, enmiendas orgánicas, fertilización y riego en función de la dinámica las propiedades físicas, químicas y biológicas.

## CONCLUSIONES

Los parámetros del cultivo tales como número de manos por racimo, circunferencia de la planta madre y la altura del hijo de sucesión fueron adecuados para separar lotes de vigor contrastantes.

Los lotes de AV y BV expusieron correlaciones significativas con variables de física de suelos como % de arena, % de limo y densidad aparente. En cuanto a las variables químicas, el

contenido de P disponible y la CIC presentaron un mayor peso en la respuesta del vigor del cultivo. Finalmente, en cuanto a las propiedades biológicas, el carbono microbiano y respiración basal, fueron las variables que se relacionaron en mayor medida con los lotes de bajo vigor.

El conocimiento de las variables edáficas que mayormente inciden sobre los parámetros del vigor del cultivo de plátano aportan información valiosa para el diseño de prácticas de manejo para mejorar condiciones de desarrollo y productividad del cultivo de plátano en las condiciones de los suelos evaluados.

## LITERATURA CITADA

Aguado-Sánchez, G; Moreno-Gómez, B; Jiménez-Francisco, B; García-Moya, E; Preciado-Ortiz, R. 2012. Impacto de los sideróforos microbianos y

- fotosideróforos en la asimilación del hierro por las plantas: Una síntesis. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(1):9-21.
- Alef, K; Nannipieri, P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London, UK, Academic Press. 608 p.
- Anderson, J; Ingram, J. 1993. *Tropical soil Biology and fertility: A Handbook of methods*. Wallingford, UK, CAB International. 62 p.
- Aung, K; Jiang, Y; He, SY. 2018. The role of water in plant in plant microbe Interaction. *The Plant Journal* 93:771-780.
- Beltrán, M. 2014. Solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica Cien. Tecnol. Agropecuaria* 15(1):101-113.
- Blake, G; Hartge, K. 1986. Bulk density. *In Klute, A (ed.). Methods of soil analysis, Part I: Physical and mineralogical methods*. Agronomy. 2 ed. N°. 9. Wisconsin, United States of America, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. p. 363-375.
- Castañeda, D; Jaramillo, D; Cotes, J. 2014. Selección de propiedades del suelo espacialmente relacionadas con la producción del cultivo de banano. *Ciencia Suelo (Argentina)* 32(1):73-83.
- Chaurasia, A; Meena, BR; Tripathi, AN; Pandey, KK; Rai, AB; Singh, B. 2018. Actinomycetes: an unexplored microorganism for plant growth promotion and biocontrol in vegetable crops. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 34(9):132.
- Chávez, A. 2015. Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras. Tesis Lic. Zamorano, Honduras, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. 16 p.
- Delgado, E; Gómez, N; González, O; Marín, C. 2008. Evaluación a nivel de finca del efecto de la alta densidad de siembra en plátano (*Musa* AAB cv. Subgrupo plátano Hartón), Municipio Obispo, Barinas, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 25:603-616.
- Delgado, E; Trejos, J; Villalobos, M; Martínez, G; Lobo, D; Rey, JC; Rodríguez, G; Rosales, F; Pocasangre, L. 2010. Determinación de un índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en Venezuela. *Interciencia* 35(12):927-933.
- Donoso, E; Lobos, G; Rojas, N. 2008. Efecto de *Trichoderma harzianum* y compost sobre el crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* en vivero. *Bosque* 29(1):52-57. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002008000100006>.
- Fleck, A; Munro, H. 1965. The determination of organic nitrogen in biological materials. *Clin. Chim. Acta* 2:2-12.
- Franco-Correa, M. 2009. Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización. *Rev. Peru. Biol.* 16(2):239-242.
- Gee, G; Bauder, J. 1986. Particle-size Analysis. *In Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis, Part I: Physical and mineralogical methods*. Agronomy. 2 ed. N°. 9. Wisconsin, United States of America, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. p. 383-412.
- González, H. 2018. Índice de calidad en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) en el eje central de producción del Sur del Lago de Maracaibo. Tesis Ph.D. Maracaibo, Venezuela, Universidad del Zulia. 173 p.
- González, H; González, A; Pineda, M; Casanova, M; Rodríguez, G; Soto, A. 2021. Poblaciones de fitonematodos asociados al vigor de plantas de plátano. *Agronomía Mesoamericana* 31(2):163-177.
- González-Pedraza, A; Atencio, J; Cubillán, K; Almendrales, R; Ramírez, L; Barrios, O. 2014. Actividad microbiana en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. 1 Hartón) con diferente vigor de plantas. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 1:526-538.
- Grajo, MR; Villegas, LC; Montecillo, AD; Trinidad, L; Anarna, J; Migo, V. 2017. Effect of organic fertilizer amina P on the yield of pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) and soil microbial population. *Philippine Agricultural Scientist* 100:12-20.
- Guzmán, O. 2011. El nematodo barrenador (*Radopholus similis* Cobb Turner) del banano y plátano. *Revista Luna Azul* 33(2):137-153.
- Herrera, R; Calderón, L; Gutiérrez, A. 2017. Soil quality index in conventional and semi-ecological farms producing plantain (*Musa* AAB Simmonds cv. Dominic Hartón) in Anolaima-Cundinamarca, Colombia. *Rev. Acta Agron.* 66(4):457-465.
- Horwath, WR. 2017. The role of the soil microbial biomass in cycling nutrients. *In Microbial Biomass: A Paradigm Shift in Terrestrial Biogeochemistry*. p. 41-66. DOI: [https://doi.org/10.1142/9781786341310\\_0002](https://doi.org/10.1142/9781786341310_0002).
- Kakraliya, M; Singh, R. 2018. Effect of soil test crop response basis integrated nitrogen management on yield, quality and profitability of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(4):532-534.
- Keeney, D; Nelson, D. 1982. Nitrogen-Inorganic forms. *In Page, AL; Miller, RH; Keeney, DR (eds.). Methods of soil analysis, Part II: Chemical and microbiological properties*. Agronomy. 2 ed. N°. 9. Wisconsin, United States of America, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. p. 643-698.
- Lobo, D; Pulido, M; Rey, JC; Rodríguez, G; Martínez, G. 2011. Índice de productividad de Pearce y el vigor en plantaciones de banano (*Musa* AAA). *In Memorias XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Calabozo, Guárico*. 6 p.

- Martínez, M; Gutiérrez, V; Novo, R. 2010. Microbiología aplicada al manejo sustentable de suelos y cultivos. Santiago, Chile, Editorial USM. 235 p.
- Martínez, M; Ortega, R; Angulo, J; Janssens, M. 2013. Effect of different carbon rates on table grapes (Thompson seedless) in a controlled experiment. *Acta Horticulturae* 1018:271-278.
- McLean, O. 1982. Soil pH and Lime Requirement. In Page, AL; Miller, RH; Keeney, DR. (eds.). *Methods of soil analysis, Part II: Chemical and microbiological properties*. Agronomy. 2 ed. N°. 9. Wisconsin, United States of America, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. p. 199-224.
- Meena, SK; Meena, VS. 2017. Importance of soil microbes in nutrient use efficiency and sustainable food production. In *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*, Singapore, Springer. p. 3-23.
- Monsalve, O; Gutiérrez, J; Cardona, W. 2017. Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son plaidadas enmiendas orgánicas: Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11(1):200-209.
- Morocho, M; Leiva, M. 2019. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola* 46(2):93-103.
- Nacci, S; Pla, I. 1992. Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Tropical* 42(1-2):115-132.
- Olivares, B; Araya, M; Acevedo, C; Rey, JC; Cañete, P; Giannini, F; Balzarini, M; Lobo, D; Navas, J; Landa, B; Gómez, J. 2020. Relationship between soil properties and banana productivity in the two main cultivation areas in Venezuela. *J. Soil Sci Plant Nutr.* s.p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00317-8>.
- Orellana, R. 2016. Evaluación de las características hidráulicas de la muestra de suelo. Curso INSAI. Intersuelo. Software. s.p.
- Paolini, JE. 2017. Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Terra Latinoamericana* 36(1):13-22. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>.
- Pérez, C; Chavarria, D; Huidobro, J; Meriles, J; Pérez, C; Vargas, S. 2017. Influence of a tropical grass (*Brachiaria brizantha* cv. Mulato) as cover crop on soil biochemical properties in a degraded agricultural soil. *European Journal of Soil Biology* 83:84-90.
- Pérez, R; Gilabert, J. 1997. Métodos para caracterizar suelos y aguas afectadas por sales. Manual de métodos de referencia. Barquisimeto, Venezuela, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. 48 p.
- Pla, L. 1986. Análisis multivariado: Método de componentes principales. *Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico* 27:15-26.
- Ren, F; Sun, N; Meng, X; Zhang, X; Lianhai, W; Minggang, X. 2019. Changes in soil microbial biomass with manure application in cropping systems: A metaanalysis. *Soil and Tillage Research* 194:104-291.
- Rey, JC; Martínez, G; Rodríguez, G; Lobo, D; Trejos, J; Pocasangre, L; Rosales, F. 2009. Aspectos sobre calidad y salud de suelos bananeros en Venezuela. *Producción Agropecuaria* 2(1):52-55.
- Reynolds, W; Elrick, D; Youngs, E; Amoozegar, A; Booltink, H; Bouma, J. 2002. Saturated and field-saturated water flow parameters. In Dane, JH; Topp, GC (eds.). *Methods of soil analysis, Part 4: Physical Methods*. Madison, United States of America, Soil Science Society of America. p. 797-878.
- Rodríguez, G. 2009. Aspectos sobre salud radical de banano en suelos de Venezuela. *Producción Agropecuaria* 2(1):49-51.
- Rodríguez, G; Abreu, Y; Rey, JC; Lobo, D; Muñoz, N. 2010a. Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre el desarrollo radical del banano (*Musa* AAA) en lotes de vigor y productividad contrastantes. In *Memorias XIX Reunión Internacional de la Asociación para la Cooperación en la Investigación y el Desarrollo Integral de las Musáceas (banano y plátano) (ACORBAT)*, Medellín, Colombia. p. 377-381.
- Rodríguez, G; Abreu, Y; Rey, JC; Lobo, D; Muñoz, N. 2010b. Relación entre el vigor del cultivo de banano (*Musa* AAA) con la salud y desarrollo radical en suelos aluviales del estado Aragua, Venezuela. In *Memorias XIX Reunión Internacional de la Asociación para la Cooperación en la Investigación y el Desarrollo Integral de las Musáceas (banano y plátano) (ACORBAT)*, Medellín, Colombia. p. 514-518.
- Rodríguez, G; Becerra, J; Betancourt, M; Miranda, T; Alzate, S; Pisco, C; Sandoval, H. 2018. Modelo productivo para la producción de plátano Hartón en los Llanos Orientales. Mosquera, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). 216 p. Consultado 12 mar. 2021. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35058>
- Rodríguez, G; Leal, F; Naranjo, B. 2012. Situación actual de los cultivos frutales de mayor importancia en Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (UCV). Edición Especial Alcance* 72:195-209.
- Rodríguez, G; Lobo, D. 2004. Desarrollo y distribución de raíces en tres clones de musáceas y su relación con las propiedades de un suelo lacustrino de la Cuenca del Lago de Valencia. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 21(1):121-128.

- Rodríguez, V; Rodríguez, O. 1998. Biometría de la cepa de plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) en plantas con rendimientos superiores a 18 kilogramos por racimo, en Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 15:439-445.
- Rosales, F; Pocasangre, L; Trejos, J; Serrano, E; Peña, W. 2008. Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos. Montpellier, Francia, Bioversity International. 79 p.
- Santana, T; Castellanos, L. 2018. Efecto biostimulante de *Trichoderma harzianum* Rifai en posturas de Leucaena, Cedro y Samán. *Colombia Forestal* 21(1):81-90.
- Satyaprakash, M; Nikitha, T; Reddi EUB; Sadhana, B; Satya, S. 2017. Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 6(4):2133-2144.
- Serrano, E. 2002. Diagnóstico físico-químico del suelo y su relación con el crecimiento del banano en fincas con diferentes condiciones edafoclimáticas de la zona Caribe de Costa Rica. *In Informe anual 2002*. San José, Costa Rica, Dirección de Investigaciones de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA). p. 113-117.
- Sims, J; Haby, V. 1971. Simplified colorometric determination of soil organic matter. *Soil Sci.* 112:137-141.
- Tiessen, H; Moir, J. 1993. Characterization of available P by sequential extraction. *In Carter, M (ed.). Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science. Boca Raton, FL., USA, Lewis Pub. p. 75-86.
- Torrado, M; Castaño, J. 2009. Incidencia de nematodos en plátano en distintos estados fenológicos. *Agronomía Colombiana* 27(2):237-244.
- Valdés, EL. 2014. Caracteres principales, ventajas y beneficios agrícolas que aporta el uso de *Trichoderma* como control biológico. *Agroecosistemas* 2(1):254-264.
- Velmourougane, K. 2016. Impact of organic and conventional systems of coffee farming on soil properties and culturable microbial diversity. *Scientifica* p. 1-9. DOI: 10.1155/2016/3604026.
- Vurukonda, SS; Giovanardi, D; Stefani, E. 2018. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International Journal of Molecular Sciences* 19(4):952.
- Walia, A; Mehta, P; Chauhan, A; Shirkot, C. 2013. Effect of *Bacillus subtilis* strain CKT1 as inoculum on growth of tomato seedling under net house condition. *P. Natl. Sci. India* 84(1):145-155.
- Yan, W; Hunt, A; Sheng, Q; Szlavnic, Z. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on gge biplot. *Crop science* 40(3):597-605.
- Yang, Z; Jiang, Z; Hse, CY; Liu, R. 2017. Assessing the impact of wood decay fungi on the modulus of elasticity of slash pine (*Pinus elliottii*) by stress wave non-destructive testing. *International Biodeterioration & Biodegradation* 117: 123-127.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a [rac.cia@ucr.ac.cr](mailto:rac.cia@ucr.ac.cr)

Nota técnica

**CALIDAD NUTRICIONAL Y CONSUMO POR CABRAS DE FORRAJE  
DE BOTÓN DE ORO (*Tithonia diversifolia*)\***

Jorge Alberto Elizondo-Salazar<sup>1</sup>

**Palabras clave:** Rumiantes menores; nutrición animal; materia seca; forrajes; *Capra hircus*.

**Keywords:** Small ruminants; animal nutrition; dry matter; forages; *Capra hircus*.

**Recibido:** 27/05/2020

**Aceptado:** 05/08/2020

**RESUMEN**

**Introducción.** Las cabras se han adaptado a condiciones ambientales variables y tienen la capacidad de sobrevivir en zonas de escasa vegetación, sin embargo, su desempeño productivo se verá afectado significativamente por una mala alimentación. **Objetivo.** Evaluar la calidad nutricional de forraje botón de oro (*Tithonia diversifolia*) a partir de la selección y consumo por cabras. **Materiales y métodos.** El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental de Ganado Lechero “Alfredo Volio Mata” de la Universidad de Costa Rica desde setiembre hasta noviembre del 2019. El botón de oro se extrajo de un cultivo con un año de establecido y se cosechó a una edad de rebrote de 50 días y fue suministrado a 16 cabras no lactantes ni preñadas de las razas Saanen, LaMancha y Toggenburg no lactantes y no gestantes, con un peso vivo promedio de 48±5 kg. El forraje fresco se ofreció en forma entera tal como fue cosechado. Los animales se ubicaron en 2 corrales de 12 m<sup>2</sup> cada uno y

**ABSTRACT**

**Nutritional quality and intake of golden botton forage (*Tithonia diversifolia*) in goats. Introduction.** Goats have adapted to variable environmental conditions and have the ability to survive in sparsely vegetated areas; however, their productive performance will be significantly affected by poor diet. **Objective.** To evaluate the nutritional quality of golden botton forage (*Tithonia diversifolia*) from the selection and consumption by goats. **Materials and methods.** The experiment was carried out in the “Alfredo Volio Mata” Experimental Station of the University of Costa Rica from September to November 2019. Golden botton forage was extracted from a crop with a year of established and was harvested at a regrowth age of 50 days and was fed to 16 non-lactating and non-pregnant Saanen, LaMancha and Toggenburg goats, with an average live weight of 48±5 kg. Fresh forage was offered in its entirety as harvested. Animals were placed in 2 pens of 12 m<sup>2</sup> each and received the

\* Inscrito en la Vicerrectoría de Acción Social de la Universidad de Costa Rica. Proyecto ED-2746.

<sup>1</sup> Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Alfredo Volio Mata, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr

recibieron el forraje en una relación de 20% de su peso vivo como forraje verde, en 6 porciones iguales distribuidas a lo largo del día. El periodo experimental fue de 73 días que incluyó un periodo de 28 días para adaptación a la nueva dieta y a las compañeras del grupo. **Resultados.** En promedio las cabras consumieron  $6580 \pm 2430$  g de forraje fresco por día ( $13,6 \pm 5,0\%$  de su peso vivo), lo que corresponde a  $700 \pm 210$  g por día ( $1,44 \pm 0,4\%$  de su peso vivo) en base seca. No se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre la concentración de nutrientes en el forraje ofrecido y el rechazado. La concentración de proteína cruda en el forraje no superó el  $17,2\%$  y el consumo diario por animal de este nutriente fue en promedio de  $130 \pm 70$  g. La concentración de fibra detergente neutro en el forraje fue inferior a  $38\%$ . **Conclusión.** El forraje de botón de oro cosechado a 50 días de rebrote presentó un adecuado contenido nutricional y se presenta como una alternativa más para la alimentación de cabras.

forage in a ratio of 20% of their live body weight as green forage, in 6 equal portions distributed throughout the day. The experimental period was 73 days, which included a 28-day period for adaptation to the new diet and to the groupmates. **Results.** On average, goats consumed  $6580 \pm 2430$  g of fresh forage per day ( $13.6 \pm 5.0\%$  of their live weight) which corresponded to  $700 \pm 210$  g per day ( $1.44 \pm 0.4\%$  of its live weight) of dry matter. No significant differences ( $p > 0.05$ ) were found between the concentration of nutrients in the offered and rejected forage. Crude protein concentration in forage did not exceed  $17.2\%$  and daily consumption per animal of this nutrient was on average  $130 \pm 70$  g. Neutral detergent fiber concentration in forage was less than  $38\%$ . **Conclusion.** Golden button forage harvested at 50 days of regrowth presented an adequate nutritional content and is considered as one more alternative for feeding goats.

## INTRODUCCIÓN

Las cabras se aprovechan por su leche, su carne y su piel, con un grado de especialización muy variado que va desde explotaciones extensivas hasta estructuras muy intensivas en países industrializados (Elizondo-Salazar 2018). Históricamente, los rumiantes menores eran el eje principal de la vida pastoril alrededor del mundo; eran importantes en los tiempos romanos y aún son valiosos en Europa y son todavía más en África, Asia y el Medio Oriente (Duncanson 2012), ya que continúan con un nicho importante en la agricultura de subsistencia en países en desarrollo y soportan una variedad de funciones socioeconómicas (Solaiman 2010).

Estos animales han sido por muchos años útiles para las personas, especialmente por su adaptabilidad a condiciones ambientales

variables, su aptitud para la producción láctea, y su capacidad para convertir forrajes y otros materiales, casi inutilizables por otras especies animales, en productos de alta calidad como leche, carne y pelo (Rankins y Pugh 2012).

En los sistemas de producción caprina, se trata de aumentar la proporción de forraje en la ración para minimizar los costos de alimentación. Además, debido a que algunas personas prefieren reducir o eliminar el consumo de productos de origen animal, maximizar la utilización de forrajes es una herramienta cada vez más importante en la producción animal (Baumont *et al.* 2000).

Existe una serie de especies forrajeras que presentan características de calidad nutritiva, de disponibilidad, de producción de biomasa y de versatilidad agronómica importantes, con un excelente potencial para mejorar la calidad

alimenticia e incrementar la producción de las cabras. Entre ellas se encuentra el botón de oro (*Tithonia diversifolia*), que en los últimos años, ha sido objeto de especial atención como opción alimentaria para cabras.

Esta especie pertenece a la familia Asteraceae, la cual puede presentar una producción de biomasa cercana a 19 t.ha<sup>-1</sup> por año de MS (Gallego *et al.* 2015). Asimismo, contiene hasta un 25% de proteína cruda (PC) y una adecuada concentración de aminoácidos esenciales en relación con la proteína total (Medina *et al.* 2009, Rivera *et al.* 2015); además se reportan adecuadas concentraciones de fibra detergente neutro (FDN) (de 25,2 a 39,0%) (Rivera *et al.* 2015, Cardona-Iglesias *et al.* 2017).

En este sentido, cuantificar el consumo de materia seca (MS), para determinar la ingestión de nutrientes, es un principio básico en la nutrición animal. El consumo de MS es determinado por un proceso de saciedad, que obedece a una serie de señales fisiológicas, integradas especialmente a nivel de hipotálamo, que se activan por la composición del alimento y su procesamiento en el organismo del animal. Algunas de estas señales son la sensación de llenado en el rumen, la concentración de los productos de la fermentación, la concentración de nutrientes en la dieta y el requerimiento nutricional (Baumont *et al.* 2000).

Además de estos factores fisiológicos, las características de los forrajes también tienen influencia sobre el consumo de MS. Así, por ejemplo, conforme aumenta la edad de la planta, su desarrollo histológico y morfológico hace que disminuya el contenido celular, que es soluble, fácilmente degradable en el rumen, por lo que prácticamente no ocasiona llenado físico, entre tanto aumenta el contenido de pared celular (Baumont *et al.* 2000), lo cual provoca el llenado físico.

La FDN, componente importante de la pared celular, es el factor más determinante en el consumo voluntario de materia seca, pero otros factores como la frecuencia y eficiencia del masticado, el tamaño de partícula, la fragilidad de

la partícula, la fracción indigestible de la FDN y la tasa de fermentación de la FDN digestible afectan también el llenado físico del animal (Allen 1996). Sin embargo, el contenido de lignina puede también disminuir el consumo (Jung y Allen 1995). Todo esto se podría asociar con una disminución en la digestibilidad de la MS; por ende, con el aporte energético (Luo *et al.* 2004).

La integración de estos y otros factores son muy importantes para explicar el consumo de MS en cabras. En este sentido, un análisis de investigaciones realizadas en Costa Rica, que evaluaron el desempeño productivo en cabras alimentadas con diferentes fuentes de forraje, determinó que el consumo de MS es muy variable y que oscilaba entre 250 y 1200 g.animal<sup>-1</sup> por día (Elizondo-Salazar 2018).

Sin embargo, se identificó que en el país no se ha investigado el uso de forraje de *T. diversifolia* en la alimentación de cabras, por esta razón el presente estudio tuvo el objetivo de evaluar la selectividad y el consumo en cabras de forraje de botón de oro, así como su calidad nutricional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Ubicación.** El experimento se llevó a cabo en el módulo caprino de la Estación Experimental de Ganado Lechero “Alfredo Volio Mata” de la Universidad de Costa Rica desde setiembre hasta noviembre del 2019. La finca se ubica en Ochomogo, en el distrito de San Rafael, cantón de La Unión de la provincia de Cartago, a una latitud de 9°54'31"N, una longitud 83°57'18"O y una altura de 1542 msnm, presenta una precipitación media anual de 1500 mm distribuidos de mayo a noviembre, con una humedad relativa media de 84% y temperatura media de 19,3°C (Elizondo-Salazar 2015).

**Cultivo y animales utilizados.** El botón de oro se extrajo de un cultivo con un año de establecido y se cosechó a 0,60 m sobre el nivel del suelo. El cultivo se dividió en parcelas y se programó una uniformización escalonada para que tuviera una edad de rebrote de 50 días.

El forraje cosechado se suministró a 16 cabras de las razas Toggenburg, LaMancha y Saanen, no lactantes y no gestantes, con un peso vivo promedio de  $48 \pm 5$  kg. El forraje se ofreció en forma entera, tal como fue cosechado (tallos y hojas) y en fresco.

Las cabras se ubicaron en dos corrales de  $12 \text{ m}^2$  cada uno (8 animales en cada corral), con comederos comunes, recibieron solamente forraje en una relación de 20% de su peso vivo como forraje verde, en 6 porciones distribuidas a lo largo del día desde las 09:00 hasta las 18:00 horas. La relación del 20% de forraje ofrecido fue para garantizar que los animales pudieran seleccionar el material a consumir y para una adecuada cantidad de rechazo. La cantidad de forraje ofrecido diariamente en cada corral fue anotada en una bitácora y dividida entre 8 para calcular el ofrecimiento por animal.

**Periodo experimental y análisis de muestras.** El experimento tuvo una duración de 73 días, que incluyó un periodo de 28 días para adaptación a la nueva dieta y a las compañeras del grupo. Los 45 días restantes fueron para evaluar el consumo y para la toma de muestras. A los animales se les suplieron sales minerales en bloque y consumieron agua *ad libitum* durante el ensayo.

El forraje rechazado en cada corral se recogió de los comederos diariamente a las 8:00 a.m., se pesó y dicha cantidad se dividió entre 8 para calcular el consumo diario por animal. Al inicio de cada día de evaluación, se tomaron muestras del material que se ofrecería durante el día y del material rechazado en cada corral, para analizar el contenido bromatológico del forraje. Las muestras del forraje ofrecido y rechazado se analizaron para determinar el contenido de MS,

FDN, PC, cenizas, fibra detergente ácido (FAD) y lignina, por medio de los procedimientos aprobados (Van Soest *et al.* 1991, AOAC 2005) y para calcular el consumo de nutrientes (Elizondo-Salazar 2015).

Previo al análisis bromatológico de las dietas, se prepararon muestras compuestas (de cada 3 días para un total 15 muestras) del material ofrecido y el material rechazado, que se secaron a  $65^\circ\text{C}$  en un horno de aire forzado durante 48 horas y, finalmente, se sometieron a molienda para obtener un tamaño de partícula de un milímetro.

**Análisis de los datos.** Los datos obtenidos sobre consumo y composición bromatológica se analizaron mediante el PROC MEANS de SAS (SAS 2008) y la comparación de medias para el material consumido y rechazado se realizó mediante la prueba de Tukey con el PROC GLM de SAS (SAS 2008) con una significancia  $\alpha < 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis de consumo.** Los datos de consumo de forraje fresco y seco, y la concentración de materia seca en el forraje ofrecido se presentan en la Tabla 1. En promedio, el consumo por animal fue de  $6580 \pm 2430$  g de forraje fresco por día, lo que corresponde a un  $13,6 \pm 5,0\%$  de su peso vivo. Con respecto a la MS del forraje, los animales consumieron en promedio  $700 \pm 210 \text{ g.d}^{-1}$ , lo que representa un  $1,44 \pm 0,4\%$  de su peso vivo. No se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) para la concentración de MS en el forraje ofrecido ( $9,4 \pm 0,9$ ) y consumido ( $8,9 \pm 1,0$ ) (Tabla 1).

Tabla 1. Consumo promedio ( $\pm$  desviación estándar) de materia fresca y seca, y concentración de materia seca del forraje de botón de oro ofrecido a 16 cabras estabuladas. Ochomogo de Cartago, Costa Rica. 2019.

Forraje fresco	Valores
Consumido, g.día <sup>-1</sup>	6580,0 $\pm$ 2430,0
Consumido, % del peso vivo	13,6 $\pm$ 5,0
Materia Seca	
Ofrecida, %	9,4 $\pm$ 0,9
Consumida, %	8,9 $\pm$ 1,0
Consumida, g.día <sup>-1</sup>	700,0 $\pm$ 210,0
Consumida, % del peso vivo	1,4 $\pm$ 0,4

Salazar-Acosta y Elizondo-Salazar (2017), al evaluar el consumo de pasto estrella africana en cabras lactantes, determinaron un consumo promedio de 1769 g de pasto fresco por día (3,4% del peso vivo), valor muy inferior al encontrado en el presente ensayo, sin embargo, en dicho estudio los animales también consumieron 1400 g de alimento balanceado.

Elizondo-Salazar (2015) al evaluar la calidad y consumo del forraje de maíz ofrecido en fresco, encontró un consumo promedio de 3,71 kg.animal<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, lo que representó un consumo del 6,51% del peso vivo, valor también muy inferior al encontrado en este estudio.

Con respecto al consumo de MS, Rodríguez-Zamora y Elizondo-Salazar (2012), al evaluar la calidad, selección y consumo de morera (*Morus alba*) y estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en fresco y parcialmente deshidratados, encontraron que el mayor consumo de MS fue de 1170 g para la morera fresca (3,17% del peso vivo), valores superiores a los obtenidos en el presente experimento (700 g y 1,4%, respectivamente). Esta amplia diferencia pudo deberse al bajo contenido de materia seca del botón de oro (9,4%), ya que altas concentraciones de humedad afectan negativamente el consumo, debido a que pueden ocasionar un llenado físico a nivel ruminal (Forbes 2007), principalmente cuando el contenido de materia seca es menor a 25% (Pasha *et al.* 1994).

En otra prueba llevada a cabo con el fin de evaluar la calidad y consumo de forraje de maíz y pasto estrella africana con o sin alimento balanceado, se obtuvieron consumos de 490, 800, 780 y 903 g.animal<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> MS para el forraje de maíz solo, forraje de maíz con alimento balanceado, pasto estrella africana solo y pasto estrella africana con alimento balanceado, respectivamente (Elizondo-Salazar 2015). Es importante resaltar que, la concentración de MS en las dietas experimentales de dicho estudio tuvo un rango entre 11,6 y 41,3%; sin embargo, los consumos de MS con base en el peso vivo solamente alcanzaron un máximo de 1,63%, valor que no es muy superior al obtenido en el presente ensayo.

En un estudio más reciente, Salazar-Acosta y Elizondo-Salazar (2017), con el objetivo de determinar el consumo de nutrientes provenientes de pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) con alimento balanceado en cabras lactantes, encontraron que los animales consumieron en promedio 1710 g.d<sup>-1</sup> MS, lo que equivale a un 3,3% del peso vivo.

Según Jimeno *et al.* (2003), el consumo voluntario de las cabras es, aproximadamente, de 1,5 kg de MS por día, lo que representa alrededor de un 3,3% del peso vivo para animales de 45 kg. Por su parte, Luo *et al.* (2004), para el caso de cabras adultas no lactantes, en una revisión exhaustiva de 25 estudios con 99 valores promedio de diferentes tratamientos, indicaron

que el consumo de MS fue de  $780 \pm 39$  g.d<sup>-1</sup> para cabras con pesos entre 7,9 y 66 kg (promedio de 30,1 kg), lo que correspondió a un promedio de  $2,64 \pm 0,072\%$  del peso vivo, pero que osciló entre 1,28 y 4,57% del peso vivo.

Nuevamente, se rescata la alta variación que presentan los caprinos con respecto al consumo de MS y se resalta los bajos consumos de MS que se reportan en la literatura costarricense.

**Composición nutricional.** La concentración de nutrientes ofrecidos, rechazados y consumidos por los animales durante la duración del

estudio se aprecian en la Tabla 2. No se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre la concentración de nutrientes en el forraje ofrecido y el forraje rechazado. Esto contrasta con diversas investigaciones en las que se ha determinado que la concentración de MS, PC, cenizas, FDN, FAD y lignina en el forraje rechazado fue siempre inferior a la concentración en el forraje ofrecido, lo cual hace alusión al poder de selección que ejercen estos pequeños rumiantes sobre los nutrientes que consumen (Rodríguez-Zamora y Elizondo-Salazar 2012, Elizondo-Salazar 2015, Salazar-Acosta y Elizondo-Salazar 2017).

Tabla 2. Concentración de nutrientes ofrecidos, rechazados y consumidos por 16 cabras a las que se les ofreció forraje fresco de botón de oro. Ochoyomo de Cartago, Costa Rica. 2019.

Nutriente	MS	PC	CEN	FDN	FDA	LIG
En porcentaje						
Ofrecido	9,4±0,9	17,2±3,3	17,0±1,2	37,8±3,3	28,2±2,2	6,7±0,8
Rechazo	11,4±2,1	16,9±2,4	17,6±1,6	39,3±5,5	29,6±4,2	7,7±1,4
Consumo	8,9±1,0	17,5±4,6	16,8±1,6	37,4±4,6	27,8±3,4	6,65±1,1
En gramos						
Ofrecido	990±360	180±100	170±60	370±110	270±80	70±30
Rechazo	290±210	50±40	50±40	110±80	80±60	20±10
Consumo	700±210	130±70	120±30	260±60	190±40	50±20

MS = materia seca, PC = proteína cruda, CEN = cenizas, FDN = fibra detergente neutro.  
FDA = fibra detergente ácido, LIG = lignina.

En el presente ensayo, al no existir diferencias entre el material ofrecido y el rechazado, se concluye que los animales no tuvieron oportunidad de seleccionar el material, lo que indica que todo el forraje ofrecido fue de buena aceptación por parte de los animales.

Diversos estudios han evidenciado una alta concentración de PC en *T. diversifolia* (Gallego-Castro *et al.* 2014, Guatusmal-Gelpud

*et al.* 2020), aunque en el presente estudio, la concentración de PC no superó el 17,2% y, a pesar de ello, el consumo de este nutriente fue de  $130 \pm 70$  g, valor muy similar al reportado por Rodríguez-Zamora y Elizondo-Salazar (2012) con forraje de morera y suficiente para mantener los requerimientos diarios de PC que rondan los 70 g diarios para animales de 50 kg de peso vivo (NRC 2007).

Otro aspecto importante a tener en cuenta con este forraje es su baja concentración de FDN (menor al 38%). Ese aspecto, reviste gran importancia, ya que muchos de los forrajes utilizados en la alimentación de caprinos en Costa Rica presentan concentraciones de FDN superiores al 60% (Rodríguez-Zamora y Elizondo-Salazar 2012, Elizondo-Salazar 2015, Salazar-Acosta y Elizondo-Salazar 2017). Dicha condición es muy relevante debido a que el consumo de FDN tiene una fuerte relación con la ingesta de MS y la disponibilidad de energía, ya que la fermentación y la tasa de pasaje de esta fracción, a través del retículo-rumen, es más lenta que otros constituyentes de la dieta, lo que ocasiona un mayor tiempo de residencia que produce un efecto de llenado (Allen 1996).

## CONCLUSIONES

El forraje de botón de oro cosechado a 50 días de rebrote presentó una calidad nutricional adecuada para ser considerado como una alternativa para la alimentación de cabras. Los animales bajo estudio no pudieron seleccionar el material, lo que podría considerarse como un indicativo de que el forraje ofrecido fue de buena aceptación, no obstante, en las condiciones del estudio, se obtuvieron bajos consumos de forraje y de nutrientes como MS y PC, lo que hace necesaria la adición de suplementos para que los animales puedan alcanzar rendimientos productivos adecuados.

## LITERATURA CITADA

- Allen, MS. 1996. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 74:3063-3075.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official methods of analysis. 18 ed. Arlington, VA, USA. 1024 p.
- Baumont, R; Prache, S; Meuret, M; Morand, P. 2000. How forage characteristics influence behaviour and intake in small ruminants: a review. *Lives. Prod. Sci.* 64:15-28.
- Cardona-Iglesias, J; Mahecha-Ledesma, L; Angulo-Arizala, J. 2017. Efecto sobre la fermentación in vitro de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana* 28:405-426.
- Duncanson, G. 2012. Veterinary treatment of sheep and goats. Wallingford, Oxfordshire, UK, CABI. 344 p.
- Elizondo-Salazar, JA. 2015. Calidad nutricional y consumo de forraje de maíz (*Zea mays*) y forraje de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) con o sin alimento balanceado. *Nutrición Animal Tropical* 9(2):11-26.
- Elizondo-Salazar, JA. 2018. Consumo de materia seca proveniente de diferentes especies forrajeras en cabras en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical* 12(2):41-54.
- Forbes, J. 2007. Feedbacks from the gastrointestinal tract. In *Voluntary food intake and diet selection in farm animals*. 2 ed. Forbes, J (ed.). Wallingford, Oxfordshire, UK, CABI. 453 p.
- Gallego-Castro, L; Mahecha-Ledesma, L; Angulo-Arizala, J. 2014. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana* 25(2):393-403.
- Gallego, L; Mahecha, L; Angulo, J. 2015. Crecimiento y desarrollo de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en condiciones de trópico alto. In Pietri, P. 3 ed. Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales, Misiones, Argentina. Santa Cruz Ediciones, INTA, ARG. p. 53-57.
- Guatusmal-Gelpud, C; Escobar-Pachajoa, L; Meneses-Buitrago, D; Cardona-Iglesias, J; Castro-Rincón, E. 2020. Producción y calidad de *Tithonia diversifolia* y *Sambucus nigra* en trópico altoandino colombiano. *Agronomía Mesoamericana* 31(1):193-208.
- Jimeno, V; Rebollar, P; Castro, T. 2003. Nutrición y alimentación del caprino de leche en sistemas intensivos de explotación. XIX Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España. 23 p.
- Jung, HG; Allen, MS. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 73(9):2774-2790.
- Luo, J; Goetsch, AL; Nsahlai, IV; Moore, JE; Galyean, ML; Johnson, ZB; Sahl, T; Ferrell, CL; Owens, FN. 2004. Voluntary feed intake by lactating, Angora, growing and mature goats. *Small Ruminant Research* 53:357-378.
- Medina, M; García, D; Gonzales, L; Moratinos, P. 2009. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zoot. Trop.* 27(2):121-134.
- NRC (National Research Council). 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. Washington, DC, USA, National Academy Press. 384 p.
- Pasha, T; Prigge, E; Russell, R; Bryan, W. 1994. Influence of moisture content of forage diets on intake and digestion by sheep. *J. Anim. Sci.* 72:2455-2463.

- Rankins, DL; Pugh, DG. 2012. Feeding and Nutrition. In: Sheep and goat medicine. 2 ed. Pugh, DG; Baird, AN (eds.). St. Louis, Missouri, USA, Elsevier. 621 p.
- Rivera, J; Cuartas, C; Naranjo, J; Tafur, O; Hurtado, E; Arenas, F; Chará, J; Murgueitio, J. 2015. Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano. *Livest. Res. Rural Dev.* 27(10):1-13.
- Rodríguez-Zamora, J; Elizondo-Salazar, J. 2012. Calidad nutricional, consumo y digestibilidad aparente de morera (*Morus alba*) y pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en cabras. *Agronomía Costarricense* 33(1):13-23.
- Salazar-Acosta, E; Elizondo-Salazar, JA. 2017. Evaluación de la calidad y el consumo de pasto estrella africana por caprinos en una explotación comercial. *Nutrición Animal Tropical* 11(2):61-73.
- SAS (Statistical Analysis System). 2008. SAS User's Guide: Statistics (Versión 9.2 ed.). SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. s. p.
- Solaiman, S. 2010. Goat science and production. Ames, Iowa, USA, Wiley-Blackwell. 425 p.
- Van Soest, PJ; Robertson, JB; Lewis, BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74(10):473-481.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a [rac.cia@ucr.ac.cr](mailto:rac.cia@ucr.ac.cr)

Nota técnica

## MANEJO DEL MINADOR DE LA HOJA (*Leucoptera coffeella*) EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN COSTA RICA

Daniel Ramírez-Valerio<sup>1/\*</sup>, Fiorella García-Jiménez<sup>2</sup>

**Palabras clave:** *Coffea arabica*; manejo integrado de plagas; parasitoides; insecticidas.

**Keywords:** *Coffea arabica*; integrated pest management; parasitoids; insecticides.

Recibido: 18/11/2020

Aceptado: 10/02/2021

### RESUMEN

**Introducción.** El minador (*Leucoptera coffeella*) es un micro-lepidóptero cuyas larvas se alimentan de hojas de las plantas de café y hacen galerías en la lámina foliar, que provocan defoliación cuando la infestación es abundante. No obstante, el potencial daño de este insecto no se había presentado en el país sino hasta el 2019. **Objetivo.** Describir prácticas de manejo de fincas que pueden propiciar el aumento de poblaciones de *L. coffeella* y evaluar la eficacia biológica de 5 insecticidas para el control del minador. **Materiales y métodos.** Durante el primer trimestre del 2019 se dio seguimiento a 3 fincas con poblaciones altas de *L. coffeella* que causaban defoliación importante en las plantas de café; se recolectaron y revisaron hojas con lesiones causadas por las larvas de *L. coffeella*. Además, se desarrolló un ensayo de eficacia biológica de los 5 insecticidas para el control de la plaga. **Resultados y conclusiones.** El ataque de *L. coffeella*, se presentó en fincas que tenían en

### ABSTRACT

**Control of the leaf miner (*Leucoptera coffeella*) on coffee crop in Costa Rica.** **Introduction.** The coffee leaf miner (*Leucoptera coffeella*), is a micro-Lepidoptera which larvae feed upon the coffee leaves, creating damage on top of the leaves, and causing defoliation with a high population of the plague. Nevertheless, the damage caused by this insect was not present until year 2019. **Objective.** Describe the management practices of the farms, that lead to an increasing population of *L. coffeella* and evaluate the biological efficiency of 5 insecticides to control the leaf miner. **Materials and methods.** During the first trimester of 2019 the population of the plague was followed in 3 farms with high populations of *L. coffeella*, causing defoliation of the coffee plant. Leaves with damages caused by the leaf miner were collected and checked. Also, a biological efficiency test with 5 insecticides for the plague was conducted. **Results and conclusions.** The attack of *L. coffeella* occurred

\* Autor para correspondencia. Correo electrónico: dramirez@icafe.cr

1 Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), Heredia, Costa Rica.

 0000-0002-3174-0154.

2 Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), Heredia, Costa Rica.

 0000-0002-8609-6116.

común algunas prácticas de manejo del suelo sin cobertura vegetal, uso intensivo de insecticidas y ausencia de árboles de sombra en las plantaciones. En las hojas recolectadas en todos los sitios se encontraron pupas de *Closterocerus* sp. reportado como parasitoides de *L. coffeella*. El uso de insecticidas a base de deltametrina o novaluron presentaron un buen control de la plaga.

in farms with similar management practices, for example, bared soil, intensive insecticide use, and lack of shade trees in the plantations. Pupae of *Closterocerus* sp. a parasitoid of *L. coffeella* was found in the leaves collected in the three locations. Insecticides based on novaluron and deltamethrin resulted in a good control of the plague.

## INTRODUCCIÓN

En Costa Rica el cultivo de café ocupa un área de 93 697 hectáreas distribuidas en 60 cantones, que produjeron 1 974 801 fanegas (400 litros) de café fruta para la cosecha 2019-2020, con un aporte de \$279,7 millones de divisas al país que representó alrededor del 8% del PIB del sector agrícola (ICAFE 2020b).

Sin embargo, el envejecimiento de las plantaciones es una de las principales limitantes de la producción de café del país, y además existen otras causas relacionadas al cambio climático, principalmente por el aumento en la temperatura y cambios en los patrones de lluvias. Por la influencia de esos factores, se ha podido observar incrementos de las poblaciones de insectos que no eran frecuentes en Costa Rica como el ácaro *Oligonychus yothersi* (Rojas *et al.* 2020) y otros insectos que afectan indirectamente el ecosistema cafetalero como *Quadrastichus* sp. especie que afecta el crecimiento de árboles de *Erythrina* spp, utilizados como sombra en los cafetales (Jansen *et al.* 2019).

En este aspecto, el minador de la hoja del café (*Leucoptera coffeella*) es un microlepidóptero de la familia Lyonetiidae, descrita por primera vez en 1842 en las islas Martinica y

Guadalupe (Cantor y Cárdenas 2001). El adulto es de aproximadamente 3 mm, color plateado y antenas largas (Souza *et al.* 1998); presentan hábitos nocturnos, por lo que durante el día se esconden en el envés de las hojas y se pueden observar al agitar las ramas y hojas de las plantas.

Una hembra adulta vive entre 14 a 21 días y oviposita alrededor de 70 huevos que son redondos y achatados de color blanco brillante y de aproximadamente 0,3 mm de diámetro (Parra 1985). Las larvas emergen en alrededor de 7 días después de la postura (Cárdenas 1991), e inmediatamente comienzan a alimentarse de la epidermis. Las larvas son blancas y llegan alcanzar 4 mm de longitud, después de pasar por 4 fases, lo que tarda alrededor de 12 días a una temperatura de 25°C (Jaramillo y Parra 2017).

*L. coffeella* tiene una metamorfosis completa con 4 estados de desarrollo (huevo, larva, pupa y adulto). El estado de larva (Figura 1) es el único que causa daño a las plantas de café pues entran en la hoja y se alojan entre las células epidérmicas, alimentándose del tejido de parenquimático (Rueda *et al.* 2016). Conforme la larva crece, hace una galería en la lámina foliar, de tal manera que cuando poblaciones son abundantes, puede existir coalescencia de galerías y en consecuencia, defoliación (Figura 2).



Figura 1. Larvas (A) (B) Pupa característica de *L. coffeella*.



Figura 2. Daño foliar severo (A) (B) Defoliación causada por *L. coffeella*.  
Purral, Goicoechea. Febrero, 2019.

Las poblaciones de *L. coffeella* pueden variar todos los años, pero son más frecuentes en zonas o fincas con temperaturas altas, poca humedad relativa y periodos secos prolongados. En los últimos años, en Brasil, el minador de la hoja se ha convertido en la principal plaga que afecta la producción de café (Guerreiro 2006). En cuanto a Costa Rica, esta especie nunca ha sido considerada como una plaga importante en las plantaciones de café, en ciertas fincas solo se logran observar algunos daños no significativos en época seca. Sin embargo, durante los primeros meses del 2019 se pudieron observar algunos lotes de café con afectaciones importantes causadas por el insecto.

Según lo anterior, es importante mantener la vigilancia de la infestación de *L. coffeella* e implementar algunas prácticas de manejo del cultivo ante la posibilidad de un aumento en la frecuencia de afectación de la plaga. Esta investigación tuvo como objetivo describir prácticas de manejo de fincas que pudieron propiciar el aumento de poblaciones de *L. coffeella* y evaluar

la eficacia biológica de los insecticidas para el control del minador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Primeras observaciones

En el primer trimestre del 2019 se reportó presencia y afectación causada por *L. coffeella* en algunas fincas de las localidades de Naranjo de Alajuela y Guadalupe en San José. Debido a una identificación previa del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), se inspeccionaron fincas (Tabla 1) para observar características del manejo agronómico como el control de malezas, árboles de sombra, edad del cultivo, y arreglo de siembra. Además, se recolectaron hojas y se colocaron en bolsas de polietileno, que fueron llevadas al laboratorio del Centro de Investigaciones en Café (CICAFE) en Barva de Heredia donde se observaron por medio de un estereoscopio (Olympus SZX7) los detalles de los estadios del insecto.

Tabla 1. Detalle de los insecticidas y dosis de aplicación evaluados para el control minador de la hoja. Alajuela, Naranjo. 2019.

Tratamiento	Ingrediente Activo	Grupo químico	Dosis p.c./ha (l)
1	-	-	-
2	Abamectina (1,8% EC)	Avermectina	0,12
3	Clorpirifos (48% EC)	Organofosforado	1,50
4	Imidacloprid (35% SC)	Neonicotinoide	0,80
5	Deltametrina (10% EC)	Piretroide	0,075
6	Novalurom (10% EC)	Benzoilureas	0,60

Según las observaciones se logró identificar dentro de las galerías, unas pupas de tamaño y colores diferentes, por lo que aislaron en platos petri y fueron entregadas en la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica, para la identificación de especímenes.

### Ensayo de eficacia biológica

Adicionalmente, en una finca afectada (23,5% minas activas) en San Miguel de Naranjo (Proyección CRTM05 E: 457438; N: 1114985), se evaluó la eficacia biológica de 5 insecticidas:

clorpirifos, imidacloprid, abamectina, deltametrina y novaluron. El sitio experimental se localizó a 1030 msnm, en un suelo Andisol con una pendiente de aproximadamente 3%, con temperatura media anual de 23°C y alrededor de 1700 mm de precipitación total al año. Los datos de clima fueron obtenidos de la estación meteorológica de ICAFE, ubicada en la misma zona del sitio experimental. La variedad en la que se estableció el ensayo fue el sarchimor San Isidro 27, con 6 meses de establecido a una distancia de 2 metros entre hileras y un metro entre plantas (5000 plantas. ha<sup>-1</sup>) con el uso de 2 ejes por punto de siembra y a pleno sol.

Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar para establecer 6 tratamientos, que incluía el testigo, (Tabla 1). Se realizaron 4 repeticiones para cada uno, en una parcela total fue de 48 plantas (96m<sup>2</sup>) y 36 útiles (72 m<sup>2</sup>). Se hizo una única aplicación el día 28 de enero del 2019 con 220 litros de agua por hectárea (y los respectivos insecticidas); la aplicación se realizó con una bomba de espalda de motor con dos baquinillas H-5.

Se efectuaron evaluaciones de porcentaje de hojas minadas y de minas activas a los 0, 7, 14, 21 y 35 días después de la aplicación. Para la incidencia de hojas minadas se marcaron 5 bandolas por repetición y se contó el total de hojas y de estas cuántas presentaban minas causadas por *L. coffeella*. Para la variable de minas activas se hizo recolección de 10 hojas al azar en toda la repetición y se contabilizó cuántas minas tenían larvas vivas; con esta información se calculó el porcentaje de minas activas respecto al total.

### Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados con el programa R (R Core Team 2017); la variable de

porcentaje de minas activas se estudió mediante análisis de varianza no paramétrica, con la prueba de Kruskal-Wallis y como análisis posterior se utilizó la prueba de Dunn como comparación de medias (Conover 1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Condiciones para aumento de la población

La especie *L. coffeella* es originaria de África y ataca exclusivamente plantas del género *Coffea* (Constantino *et al.* 2011, Souza y Reis 1992), por lo que el aumento de sus poblaciones estará ligado no solo a situaciones climáticas, sino también a prácticas de manejo del cultivo de café.

En cuanto a las condiciones climáticas, con poca humedad relativa, disminución de la precipitación y el aumento en la temperatura debido a la época seca están entre las variables más importantes que cambian los patrones en las poblaciones de insectos (Lomelí *et al.* 2010, Souza y Reis 1992). En el caso del minador de la hoja la precipitación y temperatura son de suma importancia como factores de control natural de la plaga, pero que además afectan las poblaciones de parasitoides. Pereira *et al.* (2007) compararon la viabilidad de huevos, larvas y pupas en época seca en Minas Gerais, Brasil, durante el 2001 y 2002, donde la lluvia fue la principal causa de mortalidad natural, seguida de la depredación por parte de algunos himenópteros. La información publicada por estos autores concuerda con lo observado en Costa Rica, ya que el aumento de las poblaciones y los ataques en las fincas se dieron de enero y febrero, meses que forman parte de la época seca del año (Figura 3).

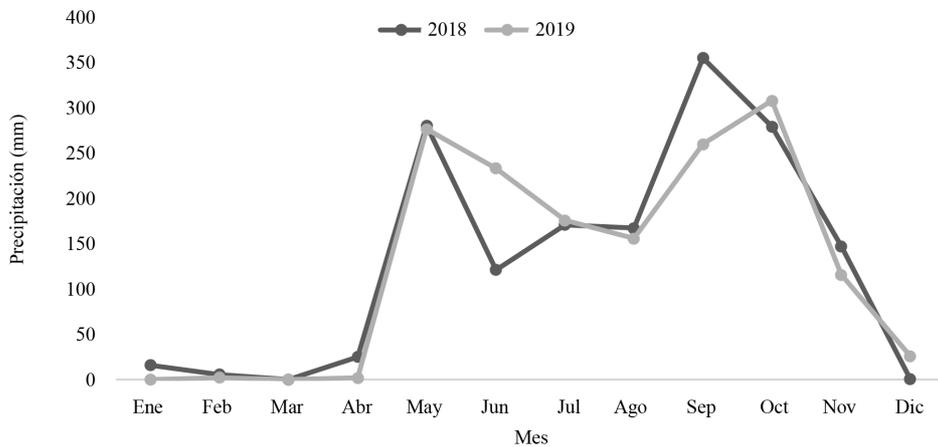


Figura 3. Precipitación mensual acumulada en la zona. Alajuela, Naranjo. 2018 y 2019.

Además de las condiciones climáticas, existen diferentes prácticas agronómicas en el cultivo de café que pueden hacer que las poblaciones de *L. coffeella* aumenten en época seca. Las observaciones realizadas en las fincas en las que se vieron ataques del insecto (Tabla 2), presentaron las siguientes 3 características: a) cultivo a pleno sol, b) suelo desnudo y uso excesivo de herbicidas, c) plantaciones con menos de 24 meses de edad. Estas condiciones representan un riesgo para el aumento de la población, pero no serán los agentes causales exclusivos, ya que, en fincas con alguna de estas mismas condiciones, no necesariamente se presentan problemas. Además, en la finca de San Luis de Santo Domingo de Heredia, se hicieron 2 aplicaciones de insecticidas piretroides para el control de *Pantomorus* sp.

El efecto de estas condiciones sobre las poblaciones de *L. coffeella* también fueron reportadas por algunas personas autoras. Campos (2018) indica que en Guatemala los arreglos de la sombra con podas muy severas pueden favorecer el aumento de las poblaciones, mientras que en estudios realizados en Nicaragua indican que hay un mayor ataque y daño del insecto en plantas de café que están sembradas sin árboles de sombra (Antenor 1990), principalmente por el aumento en la temperatura del dosel del cultivo de café. Además, los remanentes de bosque en los bordes o cercanías de algunas fincas pueden también ayudar a disminuir aumentos de poblaciones de *L. coffeella*, lo anterior, debido a una mayor diversidad de avispas parasitoides (Medeiros *et al.* 2019).

Tabla 2. Descripción y ubicación de las fincas afectadas por minador de la hoja del café. 2019.

Ubicación	Coordenada	Edad cultivo
San Miguel, Naranjo	1114985 N; 0457438 E	6 meses
San Luis, Santo Domingo	1105878 N; 0495892 E	7 meses
Purral, Goicoechea	1101218 N; 0498097 E	20 meses

En Costa Rica, el cultivo de café está generalmente asociado a otras especies de árboles, arbustos y arvenses (ICAFE 2020a), ya que la biodiversidad de plantas sirve de hospedero para muchos insectos parasitoides, sin embargo, también es frecuente el uso de herbicidas e insecticidas, prácticas que cuando se hace de forma indiscriminada puede causar un desequilibrio natural y hacer que las poblaciones de insectos como *L. coffeella* aumenten y lleguen a convertirse en plagas. El uso de insecticidas organofosforados como paratión y clorpirifos pueden ser muy tóxicos para algunas avispas depredadoras, con un aproximado del 90% de mortalidad de *Protopolybia exigua* (Fragoso *et al.* 2001). Por otro lado, el manejo intensivo de malezas también puede afectar la dinámica poblacional de la plaga, ya que, en sitios con mayor diversidad de malezas, existe un aumento de la depredación por parte de avispas (Amaral *et al.* 2010).

Adicionalmente, es aclaratorio mencionar que hay evidencia (Souza *et al.* 1998, Cárdenas 1991) de un mayor ataque de *L. coffeella* en plantaciones menores a 3 años de establecidas. Esto puede deberse a factores como una menor área foliar y con mayor densidad de las minas y larvas en las hojas disponibles; además debido al tamaño de las plantas, existe mayor temperatura en el dosel, en comparación con plantaciones más altas y en producción.

### Posibles parasitoides

Existen muchas especies de parasitoides de *L. coffeella* reportadas en distintos países productores de café (Barrera 2018); los micro-himénopteros de la familia Eulophidae son los más comunes. Dentro de las minas de las hojas recolectadas en las 3 diferentes fincas se encontraron pupas de color negro brillante, estas fueron colocadas en platos petri a temperatura ambiente; después de la eclosión pudo corroborarse que se trata de *Closterocerus* sp, posiblemente *C. coffeellae*. (P. Hanson. 2019. Colaboración con ID de parasitoides. Correo electrónico). En Colombia, varios estudios indican que esta especie es el

parasitoide más común de *L. coffeella* (Constantino *et al.* 2011, Rueda *et al.* 2016).

Se ha encontrado que hay relación en la diversidad de malezas y de árboles en asocio con la abundancia de diferentes parasitoides (Amaral *et al.* 2010) lo cual se atribuye a que estas plantas sirven de refugio y protección a los parasitoides, les brindan condiciones climáticas favorables para su desarrollo; además, los árboles de *Inga* sp. en los cafetales pueden brindar alimento alternativo durante la época de floración a diferentes especies de parasitoides y reducir la cantidad de hojas minadas por *L. coffeella* (Rezende *et al.* 2014).

El parasitismo no es la única forma de control natural de *L. coffeella*, también se puede dar depredación por parte de avispas de la familia Vespidae y algunas hormigas, las cuales puede llegar a tener mayor éxito en que otras especies parasitarias, especialmente en época seca (Pereira *et al.* 2007). En México, Lomelí *et al.* (2010) obtuvieron 14 especies de depredadores, las cuales representan un 58% del control natural de la plaga. Durante los muestreos realizados en las fincas afectadas, no se observó la presencia de depredadores, por lo que no fue posible cuantificar su efecto sobre el control.

### Ensayo eficacia biológica

En la Tabla 3 se detallan las medias del porcentaje de minas activas para diferentes fechas después de la aplicación (dda) de los insecticidas. Al momento de la aplicación el sitio experimental contaba con un porcentaje de minas activas de 23,5%. A los 7 dda se observó como las hojas que fueron aplicadas con clorpirifos fueron las que tuvieron menor cantidad de minas activas, pues representaron un 7,7%, seguido del imidacloprid con un 20,2%. El tratamiento sin aplicación de insecticida y el asperjado con abamectina mostraron los mayores porcentajes de minas activas 40,4 y 45,3% respectivamente. Para el día 14 en todos los tratamientos se redujo la cantidad de minas activas en todos los tratamientos, con excepción del clorpirifos que fue el único que mostró diferencia estadística respecto

a los otros. En las 2 últimas evaluaciones, las plantas en las que se aplicó clorpirifos, la incidencia de la plaga comenzó a aumentar, hasta llegar al día 35 con una cantidad igual a la del testigo; mientras que la deltametrina y

el novaluron lograron mantener las poblaciones de larvas de *L. Coffeella* disminuida, con un efecto lento de estas 2 moléculas, sobre la reducción de minas activas, aunque con el resultado de un periodo prolongado.

Tabla 3. Porcentaje de minas activas para cada uno de los insecticidas de acuerdo con las evaluaciones realizadas días posteriores a su aplicación. Alajuela, Naranjo. 2019.

Tratamientos	7 DDA	14 DDA	22 DDA	35 DDA
Testigo	40,4 C	14,6 A	12,8 AB	31,8 B
Abamectina	45,3 C	11,5 A	15,4 B	30,8 B
Clorpirifos	7,7 A	1,3 B	6,4 AB	40,2 B
Imidacloprid	20,2 AB	12,5 A	14,2 B	35,6 B
Deltametrina	33,0 C	14,4 A	2,9 A	4,0 A
Novaluron	27,1 B	12,5 A	4,6 A	3,1 A

Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa según prueba de comparación múltiple de Dunn ( $p < 0,05$ ).

Por otro lado, la incidencia de hojas minadas (Figura 4) mostró una dispersión importante entre los datos obtenidos, por lo que no se observó ninguna diferencia

estadística entre los tratamientos aplicados en los 3 momentos evaluados; tampoco se observó tendencias de cambio de esta variable entre las fechas evaluadas.

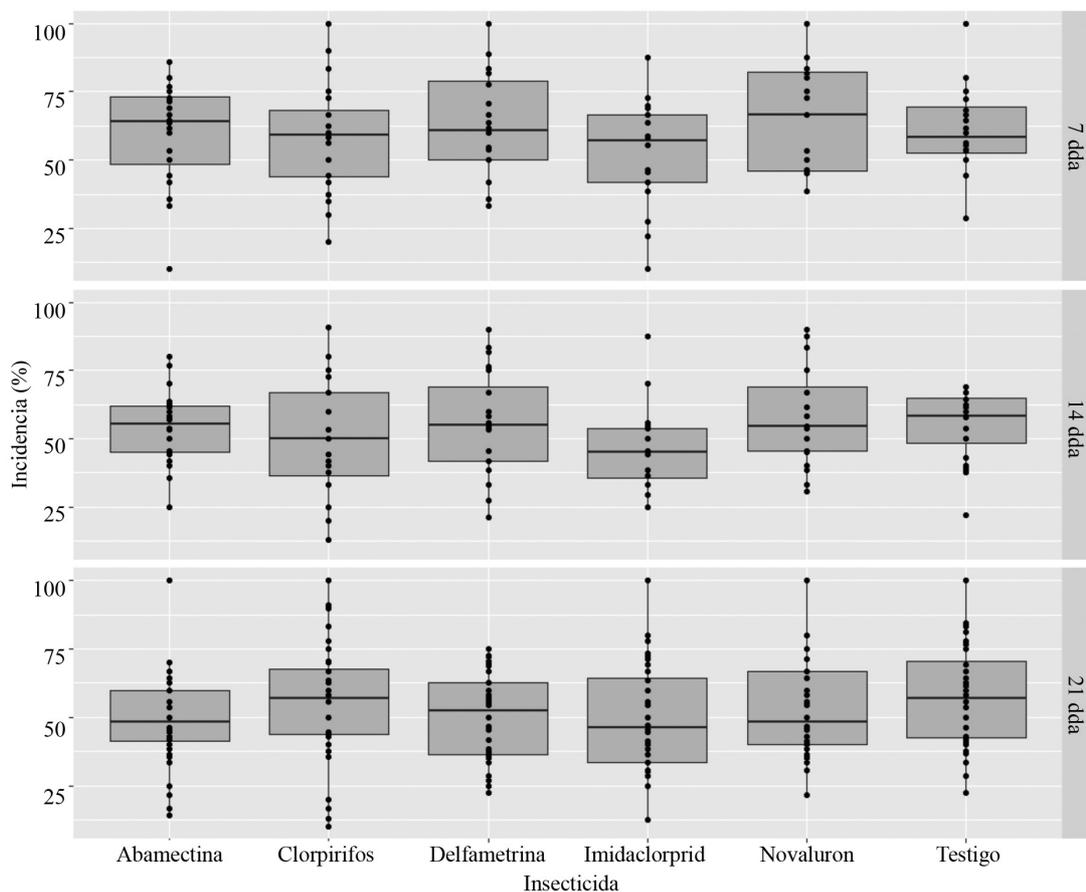


Figura 4. Porcentaje de incidencia para cada una de las 3 evaluaciones de acuerdo con los insecticidas aplicados. Alajuela, Naranjo. 2019.

El clorpirifos para el control de *L. coffeella* parece ser una opción viable para reducir la población inicial, sin embargo, las poblaciones del insecto aumentaron considerablemente después de los 22 días de aplicado. Este efecto puede estar asociado a las características propias de la molécula, ya que es un insecticida organofosforado de acción de contacto, con importante toxicidad aguda y no selectivo (PPBD 2020) por lo que rápidamente provoca la muerte de las larvas y otros insectos asociados que podrían colaborar con un control natural, que provocó, un ascenso rápido de la población de minador después de

los 22 días de haberse aplicado; algunos estudios señalan el impacto negativo del clorpirifos sobre algunos ácaros (Fragoso *et al.* 2002) y avispas predadoras (Fragoso *et al.* 2001), indicándose que dentro de los insecticidas organofosforados los que tienen modo de acción de contacto tienden a ser menos selectivos que los sistémicos y por ende causan una significativa mortalidad de los insectos en diferentes niveles del sistema trófico.

El uso de novaluron y deltametrina podrían ser las opciones más viables para el control químico de la plaga, con efecto más lento que el clorpirifos pero también más prolongado

en el tiempo, ya que un mes después de la aplicación, las larvas vivas fueron escasas, aunque las cantidades aplicadas de ingrediente activo fueron disminuidas, especialmente de deltametrina.

## CONCLUSIONES

Durante los primeros meses del 2019 los ataques de minador de la hoja de café se dieron en 3 fincas con características de manejo similares tales como: control intensivo de malezas, plantas de café a pleno sol, plantaciones de renovación y suelo totalmente desnudo.

Si bien existen algunas alternativas químicas para el control del minador de la hoja del café, se debe de hacer énfasis en el control preventivo de la plaga mediante la implementación de prácticas culturales que se pueden lograr mediante un manejo integrado de arvenses, árboles de sombra y aplicaciones racionales de insecticidas, con el fin de mantener la biodiversidad dentro de caficultura nacional.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Paul Hanson docente e investigador de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica, por su colaboración en la identificación de los parasitoides y revisión del documento.

## LITERATURA CITADA

- Amaral, D; Venzon, M; Pallini, A; Lima, P; DeSouza, O. 2010. ¿A diversificação da vegetação reduz o ataque do Bicho-Mineiro-do-Cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guerin-Meneville, 1842)? Neotropical Entomology 39(4):543-548.
- Antenor, J. 1990. Poblaciones del minador de las hojas del café *Leucoptera coffeella* (Guerin-Meneville, 1842), durante la estación seca, en la región IV de Nicaragua. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza (CATIE). 87 p.
- Barrera, J. 2018. Insect Pest of Coffee and their Management in Nature-friendly Production Systems. In Vacante, V; Kreiter, S (eds.). Handbook of Pest Management in Organic Farming. London, UK. CAB International. p. 477-501.
- Campos, O. 2018. Situación del minador de la hoja del café *Leucoptera coffeella* a nivel nacional. Boletín técnico. Ciudad de Guatemala, Guatemala, Asociación Nacional del café (ANACAFE). p. 1-6.
- Cantor, F; Cárdenas, R. 2001. Aclaraciones sobre el nombre científico del minador del café. Revista Colombiana de Entomología 27(1-2):87-88.
- Cárdenas, R. 1991. El minador de la hoja del café. Boletín técnico N°. 14. Colombia, CENICAFE. 31 p.
- Conover, W.1999. Practical Nonparametric Statistics. New York, USA, John Wiley & Sons, Inc. 578 p.
- Constantino, L; Flores, J; Benavides, P; Bacca, T. 2011. Minador de la hoja del café. Una plaga potencial por efectos del cambio climático. Avances técnicos 409. Colombia, CENICAFE. 12 p.
- Fragoso, D; Jusselino, P; Guedes, R; Proque, R. 2001. Seletividade de inseticidas a vespas predadoras de *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). Neotropical Entomology 30:139-143.
- Fragoso, D; Jusselino, P; Pallini, A; Badji, C. 2002. Ação de inseticidas organofosforados utilizados no controle de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mêneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) sobre o ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). Neotropical Entomology 31(3):463-467.
- Guerreiro, O. 2006. Coffee leaf miner resistance. Brazilian Journal of Plant Physiology 18(1):109-117.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2020a. Guía técnica para el cultivo de café. 2° ed. Heredia, Costa Rica, Instituto del Café de Costa Rica. 90 p.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2020b. Política Nacional Cafetalera. Heredia, Costa Rica, Instituto del Café de Costa Rica. p. 1-19.
- Jansen, S; Rojas, M; Ramirez, D; Constantino, L; García, F; Hanson, P. 2019. Another species of *Quadrastichus* (Hymenoptera: Eulophidae; Tetrastichinae) attacking *Erythrina* (Fabaceae) in the Neotropics: a report from Costa Rica. Int. J. Trop. Insect. Sci. 39:243.
- Jaramillo, M; Parra, J. 2017. Aspectos biológicos de *Leucoptera coffeella* (GuérinMêneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) en *Coffea arabica* en condiciones de laboratorio. CENICAFE 68(2):20-27.
- Lomelí, J; Barrera, J; Bernal, J. 2010. Impacts of weather, shade cover and elevation on coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) population dynamics and natural enemies. Crop Protection 29(9):1039-1048.
- Medeiros, H; Grandinete, Y; Manning, P; Harper, K; Cutler, G; Tyedmers, P; Righi, C; Ribeiro, M. 2019. Forest cover enhances natural enemy diversity and biological control services in Brazilian coffee plantations. Agronomy for Sustainable Development. 39(6):50.

- Parra, J. 1985. Biología comparada de *Perileuoptera coffeella* (GuérinMeneville, 1842) (Lepidoptera - Lyonetiidae) visando ao seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Entomologia* 29(1):45-76.
- Pereira, E; Picanço, M; Bacci, L; Crespo A; Guedes, R. 2007. Seasonal mortality factors of the coffee leafminer, *Leucoptera coffeella*. *Bulletin of Entomological Research* 97:421-432.
- PPBD (Pesticide Properties DataBase). 2020. Pesticide Properties DataBase (en línea). University of Hertfordshire. Consultado 8 de nov. 2020. Disponible en <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/154.htm>
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing (en línea programa informático). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en <https://www.R-project.org>
- Rezende, M; Venzon, M; Pérez, A; Cardoso, I; Janssen, A. 2014. Extrafloral nectaries of associated trees can enhance natural pest control. *Agric Ecosyst Environ* 188:198-203.
- Rojas, M; Ramírez, D; Constantino, L. 2020. Brote de *Oligonychus yothersi* en cafetales de Costa Rica por la ceniza del volcán Poás durante el año 2017. *Agronomía Costarricense* 44(1):113-122.
- Rueda, D; Constantino, L; Montoya, E; Ortega, O; Gil, Z; Benavides, P. 2016. Diagnóstico de *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) y sus parasitoides en el departamento de Antioquia, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 42(1):4-11.
- Souza, J; Reis, P. 1992. Bicho mineiro: biología, danos e manejo. Belo Horizonte, Brasil, EPAMIG. 28 p.
- Souza, J; Reis, P; Rigitano, R. 1998. Bicho mineiro: biología, dano e manejo integrado. *Boletim técnico* N°. 54. Belo Horizonte, Brasil, EPAMIG. 48 p.





# 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 diferentes tonos de grises, 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 personalmente, en nuestra 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

#### **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**

A 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](mailto:rac.cia@ucr.ac.cr)

## **DEBERES DE LAS PERSONAS REVISORAS**

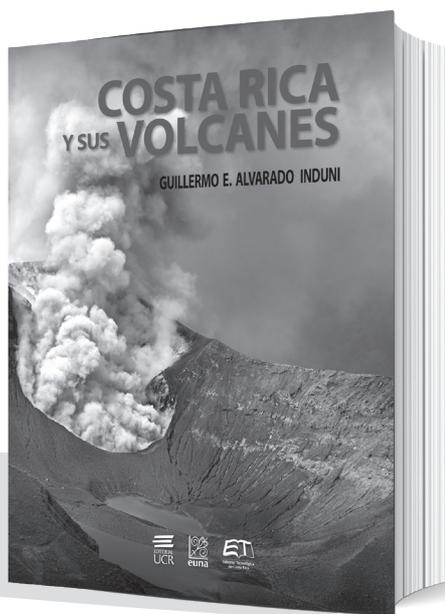
A toda persona especialista le compete notificar al editor o editora, cuando se le consulte, si le es posible revisar el documento que se le solicita evaluar. De aceptar deberá realizar su trabajo de manera objetiva, sus críticas han de tener argumentos sustentados en la ciencia y no ha de tener ningún 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







## Estimados suscriptores:

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

### Le invitamos a renovar su suscripción.

El pago para suscriptores nacionales se puede realizar mediante depósito bancario o transferencia electrónica de fondos en la Cuenta Maestra 100-01-080-000980-6 de la Universidad de Costa Rica (UCR) con el Banco Nacional y enviarnos copia del comprobante por fax al N° (506) 2511-5417 o al correo electrónico [distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr](mailto:distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr). También puede cancelar en la Sección de Comercialización, ubicada frente a la Facultad de Artes.

**Para el pago de suscripciones internacionales, por favor contacte su agencia suscriptora o escribanos al correo electrónico [distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr](mailto:distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr)**

Horario de atención de 7:00 a. m. a 11:45 a. m. y de 1:00 p. m. a 3:45 p. m.

## SUSCRIPCIÓN DE REVISTAS • JOURNAL SUBSCRIPTION FORM

Nombre / Name: \_\_\_\_\_

Dirección / Address: \_\_\_\_\_

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

Suscripción anual / Annual subscription		Suscripción anual / Annual subscription		Suscripción anual / Annual subscription	
<input type="checkbox"/> AGRONOMÍA COSTARRICENSE	¢ 8160,00	<input type="checkbox"/> CIENCIAS SOCIALES	¢ 12 240,00	<input type="checkbox"/> LENGUAS MODERNAS	¢ 8 160,00
<input type="checkbox"/> ANUARIO DE ESTUDIOS CENTROAMERICANOS	¢ 4 080,00	<input type="checkbox"/> DIÁLOGOS	¢ 8 160,00	<input type="checkbox"/> MATEMÁTICA: TEORÍA Y APLICACIONES	¢ 8 160,00
<input type="checkbox"/> BIOLOGÍA TROPICAL	¢ 12 240,00	<input type="checkbox"/> FILOLOGÍA Y LINGÜÍSTICA	¢ 8 160,00		
<input type="checkbox"/> CIENCIAS ECONÓMICAS	¢ 8 160,00	<input type="checkbox"/> FILOSOFÍA	¢ 12 240,00		

Los precios incluyen el 2% de Impuesto al Valor Agregado

### Precios internacionales / International prices

América Latina, Asia y África US\$ 20,40

Resto del mundo US\$ 71,40

Excepto Biología Tropical y Ciencias Sociales US\$ 102,00

Filosofía US\$ 91,80

Los precios incluyen el 2% de Impuesto al Valor Agregado

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

[www.editorial.ucr.ac.cr](http://www.editorial.ucr.ac.cr)



Esta revista se terminó de imprimir en la  
Sección de Impresión del SIEDIN, en diciembre 2021.

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](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](http://www.cia.ucr.ac.cr)

---

## CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial Universidad de Costa Rica  
administracion.siedin@ucr.ac.cr  
[www.editorial.ucr.ac.cr](http://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](mailto:rac.cia@ucr.ac.cr)

## Contents

### Scientific papers

In vitro evaluation of ethanol extract from borraja leaves ( <i>Borago officinalis</i> ) against fungistatic activity. <i>Juan Esteban Villota-Burbano and Olga Yaneth Vázquez-Ochoa</i> .....	9-27
Cladode size and rooting biostimulants evaluation for the propagation of dragon fruit. <i>Gabriel Garbanzo-León, Edgar V. Vega-Villalobos, Jocelyn Rodríguez-Cisneros, Cesar Urbina-Briceño, Wendy Lázaro-Rojas, Karla Alvarado-Jara, Ronald Barrientos-Bolaños, Krissia Duarte-Ortíz, Jairo Mora-Prendas, Victor Trujillo-Olivas and Joselyn Rojas-Varela</i> .....	29-40
Morphological and molecular identification of <i>Meloidogyne javanica</i> in a papaya orchard ( <i>Carica papaya</i> L.) in Pococi, Limón, Costa Rica. <i>Walter Peraza-Padilla</i> .....	41-55
Identification of <i>Fusarium</i> species in black bean grains ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) from Costa Rica. <i>Ana Zulay Guido-Mora, Mónica Blanco-Meneses, María del Milagro Granados-Montero and María Viñas-Meneses</i> .....	57-69
Characterization of livestock systems in the dry Caribbean for quantification of soil quality indicators. <i>José Luis Contreras-Santos, Judith Martínez-Atencia, Cindy Katherine Falla-Guzmán, Jeyson Fernando Garrido-Pineda and José Luis Rodríguez-Vitola</i> .....	71-87
<b>Technical notes</b>	
“Tayní”: shiny red-seeded Mesoamerican common bean cultivar. <i>Néstor Felipe Chaves-Barrantes, Juan Carlos Hernández-Fonseca, Rodolfo Araya-Villalobos and Juan Carlos Rosas-Sotomayor</i> .....	89-101
Influence of planting density on production and growth of mucuna ( <i>Mucuna pruriens</i> L. DC). <i>Estefanny García-Abarca and Rubén Calderón-Cerdas</i> .....	103-113
Vigor of plantain plants ( <i>Musa</i> AAB cv. Harton) and its relationship with physical, chemical and biological characteristics of the soil. <i>Hebandreyna González-García, Ana F. González-Pedraza, Gustavo Rodríguez-Yzquierdo, Rommel León-Pacheco and Mónica Betancourt-Vásquez</i> .....	115-134
Nutritional quality and intake of golden bottom forage ( <i>Tithonia diversifolia</i> ) in goats. <i>Jorge Alberto Elizondo-Salazar</i> .....	135-142
Control of the leaf miner ( <i>Leucoptera coffeella</i> ) on coffee crop in Costa Rica. <i>Daniel Ramírez-Valerio and Fiorella García-Jiménez</i> .....	143-153