



Universidad Francisco  
de Paula Santander  
Vigilada Mineducación



Revista Colombiana de Ciencias

# Hortícolas

Colombian Journal of Horticultural Science

Volumen 12 / No. 3 / septiembre - diciembre 2018

ISSN (impreso) 2011-2173 ISSN (electrónico) 2422-3719 / Doi: 10.17584/rcch



POTENCIAL DISTRIBUCIÓN ESPACIAL *DIAPHORINA CITRI* EN EL TOLIMA / ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA *TETRANYCHUS URTICAE* EN *CARICA PAPAYA* / ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS *S. MOMBIN* / ESTRÉS POR APLICACIONES FOLIARES DE BORO SOBRE PAPA DIPLOIDE AMARILLA / SENSIBILIDAD DE *P. INFESTANS* A FUNGICIDAS SISTÉMICOS / CULTIVO DE PEPINO DE CONSERVA CON CASCARILLA DE ARROZ REUTILIZADA DE TOMATE / EXTRACCIÓN DE Fe, Mn, Zn, Cu y B EN PEPINO / USO DE HERBICIDAS EN YUCA PARA EL CARIBE COLOMBIANO / SOSTENIBILIDAD AGROECOLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS / CONTROL DE *PYTHIUM* EN CRISANTEMO CON BIOCONTROLADORES Y FUNGICIDAS / DISMINUCIÓN DE N TOTAL Y AUMENTO DE  $\text{NH}_4^+$  EN CLAVEL / ACEITE ESENCIAL DE *LIPPIA ORIGANOIDES* SOBRE *RHIZOCTONIA SOLANI* / GERMINACIÓN DE LECHUGA A TEMPERATURA ELEVADA





Universidad Francisco  
de Paula Santander  
Vigilada Mineducación



Sociedad Colombiana  
de Ciencias Hortícolas



Uptc  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia



Revista Colombiana de Ciencias

# Hortícolas

Colombian Journal of Horticultural Science

Volumen 12 / No. 3 / septiembre-diciembre 2018

**SOCIEDAD COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS – SCCH**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA – UPTC**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER – UFPS**

**EDITOR COMITÉ CIENTÍFICO**

Diego Miranda  
Universidad Nacional de Colombia  
(Bogotá)

Galdino Andrade Filho  
Universidade Estadual de Londrina (Brasil)

**COEDITOR**  
Javier Álvarez-Herrera  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja)

Michael Blanke  
Institute of Crop Science and Resource Conservation  
(Bonn, Alemania)

Marlon-Hans Rodríguez  
Universidad Francisco de Paula Santander (San José de Cúcuta)

Raúl Cabrera  
Texas A+M University  
(College Station, Estados Unidos)

**COMITÉ EDITORIAL**  
Cassandro Amarante  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC (Brasil)

Fávor Casierra-Posada  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia (Tunja)

Juan Pablo Fernández  
Universidad Politécnica de Cartagena (Murcia, España)

Marcelo Francisco Pompelli  
Universidade Federal de Pernambuco  
(Recife, Brasil)

Christian Ulrichs  
Humboldt-Universität zu Berlin (Alemania)

Idupulapati Rao  
Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT  
(Cali, Colombia)

Hernán Mauricio Romero  
Universidad Nacional de Colombia (Bogotá)

Hermann Restrepo  
Universidad Nacional de Colombia (Bogotá)

Philip A. Stansly  
Universidad de Florida  
(Immokalee, Estados Unidos)



© 2018 Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas  
Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
Universidad Francisco de Paula Santander

ISSN (impreso): 2011-2173  
ISSN (electrónico): 2422-3719

#### INFORMACIÓN, CORRESPONDENCIA Y CANJE

Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad Nacional de Colombia  
A.A. 14490, Bogotá, DC., Colombia  
Fax: (57) 1 - 316 5000 ext. 19041  
soccolhort@gmail.com

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Tunja, Boyacá, Colombia  
Teléfono: (57) 8 - 742 2174/76  
Fax: (57) 8 - 742 4321  
rcch@uptc.edu.co

Universidad Francisco de Paula Santander  
Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente  
San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia  
Teléfono: (57) 7 - 5776655  
ing.agronomica@ufps.edu.co

#### VERSIÓN ELECTRÓNICA

La revista puede consultarse en su versión electrónica  
en: [http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ciencias\\_horticolas](http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ciencias_horticolas)

Creative Commons: Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0  
Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

#### PERIODICIDAD

Cuatrimestral

#### EDITORES

Diego Miranda (editor)  
Javier Álvarez-Herrera (coeditor)  
Marlon-Hans Rodríguez (coeditor)

#### CORRECTOR DE ESTILO EN INGLÉS

Christopher King

#### DISEÑO GRÁFICO Y ARMADA ELECTRÓNICA

Isabel Sandoval

#### IMPRESIÓN

Xpress Estudio Gráfico y Digital SAS  
Bogotá, Colombia - diciembre de 2018

La presente publicación es de carácter científico  
(artículo 4, Resolución 1508, Ministerio de Cultura, 3 de octubre de 2000).

A nivel internacional, la *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* está integrada en las bases de datos de Latindex, Google Académico, Family Farming Knowledge Platform (Plataforma de Conocimientos sobre Agricultura Familiar), Academic Search Ultimate (EBSCO), Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico (REDIB), Ranking Rev-Sapiens, y en las siguientes de CAB Abstracts: AgBiotech News and Information, Agricultural Economics Database, Agroforestry Abstracts, Botanical Pesticides, Crop Physiology Abstracts, Crop Science Database, Environmental Science Database, Field Crop Abstracts, Forest Products Abstracts, Forestry Abstracts, Grasslands and Forage Abstracts, Horticultural Science Abstracts, Horticultural Science Database, Irrigation and Drainage Abstracts, Maize Abstracts, Nematological Abstracts, Ornamental Horticulture, Plant Breeding Abstracts, Plant Genetic Resources Abstracts, Plant Genetics and Breeding Database, Plant Growth Regulator Abstracts, Plant Protection Database, Postharvest News and Information, Potato Abstracts, Review of Agricultural Entomology, Review of Aromatic and Medicinal Plants, Review of Plant Pathology, Rice Abstracts, Rural Development Abstracts, Seed Abstracts, Soil Science Database, Soils and Fertilizers Abstracts, Sugar Industry Abstracts, TROPAG & RURAL, Weed Abstracts, Wheat, Barley and Triticale Abstracts, World Agricultural Economics and Rural Sociology Abstracts.

En Colombia se encuentra indexada en categoría B de Publindex (Colciencias) y en SciELO (Scientific Electronic Library Online). Además cuenta DOI (Digital Object Identifier) para la totalidad de sus artículos.

Revista colombiana de ciencias hortícolas = Colombian journal of horticultural science / Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Vol.1, No.1 (2007) - Tunja: SCCH: Uptc, 2007 - Semestral

ISSN 2011-2173

1. Horticultura - Publicaciones Seriadas. - 2. Agricultura - Publicaciones Seriadas. - 3. Uptc - Publicaciones Seriadas  
CDD 635

#### Publicación cofinanciada por la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UPTC y la Universidad Francisco de Paula Santander

Se autoriza la citación del material que aparece en la Revista, siempre y cuando se indique de manera explícita: nombre de la revista, nombre(s) del (de los) autor(es), año, volumen, número y páginas del artículo fuente. Para el permiso de reproducir parcial o totalmente los artículos de la Revista debe dirigirse al correo electrónico del editor: [gerfischer@gmail.com](mailto:gerfischer@gmail.com). Las ideas y observaciones consignadas por los autores están bajo su responsabilidad y no representan necesariamente las opiniones ni política de la Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Universidad Francisco de Paula Santander. La mención de productos o firmas comerciales en la revista no implica recomendación o apoyo por parte de la Sociedad o las universidades; el uso de tales productos debe ceñirse a las recomendaciones de las etiquetas.

**SOCIEDAD COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS  
(BOGOTÁ)**

Diego Miranda Lasprilla  
PRESIDENTE  
Universidad Nacional de Colombia

Wilson de Jesús Piedrahíta Cañola  
VICEPRESIDENTE  
Universidad Nacional de Colombia

Gerhard Fischer  
SECRETARIO EJECUTIVO  
Universidad Nacional de Colombia

Stanislav Magnitskiy  
VOCAL  
Universidad Nacional de Colombia

Carlos Edwin Carranza Gutiérrez  
TESORERO  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Jorge Miranda Vallejo  
VOCAL  
Hm. Clause

Rafael Flórez Faura  
VOCAL  
Universidad del Tolima

Luis Carlos Leiva Cobos  
FISCAL  
Fruverandes Ltda.

Julián Fernando Cárdenas Hernández  
VOCAL  
Universidad de los Llanos

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
(TUNJA)**

Alfonso López Díaz  
RECTOR

Hugo Alfonso Rojas Sarmiento  
VICERRECTOR ACADÉMICO

Enrique Vera López  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIONES

Martín Orlando Pulido Medellín  
DIRECTOR  
Centro de Gestión de Investigación y  
Extensión de la Facultad de Ciencias  
Agropecuarias – CIECA

Ana Cruz Morillo Coronado  
DECANA  
Facultad de Ciencias Agropecuarias

Luis Miguel Borrás Sandoval  
DIRECTOR  
Escuela de Posgrados  
Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ángela Mireya Rodríguez Salgado  
DIRECTORA  
Escuela Medicina Veterinaria y Zootecnia

María Mercedes Melo Torres  
DIRECTORA  
Escuela Ingeniería Agronómica

Carlos Eduardo Villamil Vela  
ASESOR  
Facultad de Ciencias Agropecuarias

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
(CÚCUTA)**

Héctor Miguel Parra López  
RECTOR

Sandra Ortega Sierra  
SECRETARIA GENERAL

Olga Marina Vega Angarita  
VICERRECTORA ACADÉMICA

Maribel Cárdenas García  
VICERRECTORA ADMINISTRATIVA

Luis Eduardo Trujillo Toscano  
VICERRECTOR BIENESTAR  
UNIVERSITARIO

Jhan Piero Rojas Suárez  
VICERRECTOR ASISTENTE  
DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN

Néstor Andrés Urbina Suárez  
DECANO  
Facultad de Ciencias Agrarias  
y del Ambiente

Camilo Ernesto Guerrero Alvarado  
DIRECTOR  
Departamento Ciencias Agrícolas  
y Pecuarias

Dora Clemencia Castillo Villada  
DIRECTORA  
Departamento Ciencias del Medio Ambiente



## Editorial 543

---

### Sección de frutales

---

- Potencial distribución espacial del vector del HLB de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en el departamento del Tolima, Colombia**  
Potential spatial distribution of citrus HLB vector *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in the department of Tolima, Colombia  
Wilson Araque, Emilio Arévalo ..... 545

- Management alternatives for *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in the *Carica papaya* L. Hybrid Tainung-1**  
Alternativas de manejo de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en *Carica papaya* L. Híbrido Tainung-1  
Angel Mauricio Herrera-Palacios, Yuri Mercedes Mena-Pérez, Nora Cristina Mesa-Cobo ..... 561

- Enraizamento de estacas de cajazeira (*Spondias mombin* L.) em função da aplicação de reguladores vegetais**  
Rooting of yellow mombin cuttings (*Spondias mombin* L.) as a function of the application of plant regulators  
Mário Leno Martins Vêras, Rejane Maria Nunes Mendonça, Christiane Mendes Cassimiro Ramires, Vandeilson Lemos de Araújo, Lucimara Ferreira de Figueredo, Lunara de Sousa Alves, Walter Esfrain Pereira ..... 574

### Sección de hortalizas

---

- Abiotic stress caused by foliar applications of boron to the yellow diploid potato (*Solanum tuberosum*, Group Phureja) cultivar Criolla Galeras**  
Estrés abiótico causado por aplicaciones foliares de boro en papa amarilla diploide (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja) cultivar Criolla Galeras  
Manuel Iván Gómez, Hermann Restrepo, Luis Ernesto Rodríguez, Stanislav Magnitskiy, Lady Manrique, Alfonso Garzón ..... 582

- Sensibilidad de aislamientos de *Phytophthora infestans* procedentes de *Solanum tuberosum* a tres fungicidas sistémicos**  
*Solanum tuberosum* isolate sensitivity to *Phytophthora infestans* when using three systemic fungicides  
Harold Andrés Chañag, Sandra Lorena Álvarez, Luz Estela Lagos, Diana Marcela Burbano-David ..... 592

- Reutilización del sustrato cascarilla de arroz *in natura* tras el cultivo de tomate para la producción de híbridos de pepino de conserva (*Cucumis sativus* L.) en sistema de recirculación de lixiviado**  
Reuse of a raw rice husk substrate after tomato cultivation for the production of pickling cucumber hybrids (*Cucumis sativus* L.) in a leachate recirculation system  
Cristiane Neutzling, Roberta Marins Nogueira Peil, Chaiane Borges Signorini, Paulo Roberto Grolli, Lais Perin ..... 602

- Extracción de Fe, Mn, Zn, Cu y B en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)**  
Uptake of Fe, Mn, Zn, Cu, and B in a cucumber (*Cucumis sativus* L.) crop  
Fernando Vicente Barraza ..... 611

### Selección de herbicidas para el control de arvenses en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Bolívar, Colombia

Herbicide selection for weed control in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Bolivar, Colombia

Lily Lorena Luna-Castellanos, Manuel Ramón Espinosa-Carvajal, Víctor Alfonso De-La-Ossa-Albis,  
Blas Dagor Panza-Tapia, Joaquín Alfonso García-Peña ..... 621

### Evaluación de sostenibilidad agroecológica de dos experiencias de producción con énfasis en hortalizas, Venezuela

Agroecological sustainability assessment of two production systems with an emphasis on vegetables in Venezuela

Silvia Josefina Silva-Laya, Simón Pérez-Martínez, Javier Álvarez-Del-Castillo ..... 632

## Sección de plantas ornamentales

### Eficacia de biocontroladores y fungicidas para el control de *Pythium* sp. en crisantemo (*Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitam.)

Efficacy of biocontrollers and fungicides for the control of *Pythium* sp. in chrysanthemum  
(*Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitam.)

Julia Bibiana Merchán-Gaitán, Liliana María Aragón-Caballero, Javier Giovanni Álvarez-Herrera ..... 646

### Efecto de la disminución de N total y aumento de $\text{NH}_4^+$ en la fórmula de fertirriego en el cultivo de clavel

Effect of decreasing total N and increasing  $\text{NH}_4^+$  in the fertigation formula of carnation crop

Adriana del P. Baracaldo, Manfred C. Díaz, Víctor J. Flórez, Carlos A. González ..... 658

## Sección de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias

### Actividad biocida del aceite esencial de *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae) sobre *Rhizoctonia solani*: *in vitro*

Biocidal activity of *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae) essential oil on *Rhizoctonia solani*: *in vitro*

David Álvarez-Sánchez, Andrés Hurtado-Benavides, Diana Chaves-Morillo, Danita Andrade-Díaz ..... 668

## Nota científica

### Germinación y emergencia de lechuga a temperaturas elevadas

Germination and emergence of lettuce at elevated temperatures

Hozano de Souza Lemos Neto, Marcelo de Almeida Guimarães, Bruno do Nascimento Silva,  
Caris dos Santos Viana, Sebastião Medeiros Filho ..... 677

Política editorial | Instrucciones para autores ..... 685

Editorial policy | Instructions to authors ..... 689

Política editorial | Instruções aos autores ..... 694

Suscripción ..... 699



El objeto de estudio de las Ciencias Hortícolas está enfocado al mejoramiento técnico de los sistemas productivos hortícolas, en temas como, evaluación de cultivares, métodos de propagación, riego, nutrición, manejos fitosanitarios y técnicas en poscosecha, tanto en cultivos a campo abierto, como en ambientes protegidos, los cuales hacen parte de los contenidos de nuestra Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas (RCCH). La RCCH hace un llamado a nuestros autores para que envíen sus contribuciones relacionadas únicamente con las áreas de la horticultura, incluidas, la floricultura, la oleicultura (producción de vegetales), la fruticultura (pomología), plantas aromáticas, medicinales y condimentarías y el paisajismo.

En nuestro tercer número del 2018, los artículos de la Sección de frutales incluyen temas como la enfermedad HLB de los cítricos; en papaya, un estudio sobre la evaluación de alternativas de manejo de *Tetranychus urticae* y cierra la sección un artículo acerca de la evaluación de reguladores de crecimiento en el enraizamiento de estacas de hobo, un frutal nativo de América tropical.

La Sección de hortalizas presenta dos contribuciones en el cultivo de papa relacionadas con la respuesta al estrés y la evaluación de aislamientos de *Phytophthora infestans* en respuesta a fungicidas sistémicos. En pepino para conserva, un artículo relacionado con la reutilización de cascarilla de arroz como sustrato; en yuca, una evaluación y selección de herbicidas para el manejo de arvenses y, por último, la sección presenta un análisis de sostenibilidad agroecológica en sistemas productivos con énfasis en hortalizas.

En la Sección de plantas ornamentales, se discuten alternativas de manejo de *Pythium* sp. en el cultivo de crisantemo mediante el uso de biocontroladores y fungicidas de manejo convencional, y para clavel, la reducción de nitrógeno en la fórmula de fertirriego. En la Sección de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias se incluye una evaluación sobre la actividad biocida del aceite esencial de *Lippia origanoides* H.B.K. en el control de *Rhizoctonia solani*. La Sección de nota científica trata sobre la germinación y emergencia de semillas de lechuga para las condiciones del trópico bajo.

El comité editorial de la Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas agradece las contribuciones realizadas por los autores y evaluadores en el mejoramiento de los contenidos, en el marco de la evaluación de las Revistas Colombianas Especializadas en Ciencia, Tecnología e Innovación -CTeI, que permitió un mejor posicionamiento de nuestro principal medio de divulgación, ante las nuevas exigencias para este tipo de publicaciones.

Finalmente, queremos informar a nuestros lectores que, buscando mejorar la visibilidad de la revista, para el 2019, los contenidos serán exclusivamente en inglés y con paginación independiente entre los artículos.



# Potencial distribución espacial del vector del HLB de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en el departamento del Tolima, Colombia

## Potential spatial distribution of citrus HLB vector *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in the department of Tolima, Colombia



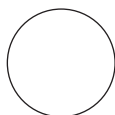
WILSON ARAQUE<sup>1, 3</sup>  
EMILIO ARÉVALO<sup>2</sup>

**Cultivo de lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en el departamento de Tolima, Colombia.**

Foto: W. Araque

### RESUMEN

El Huanglongbing o HLB es una de las enfermedades más devastadoras de los cítricos y se encuentra en diferentes departamentos en Colombia. Sin embargo esta enfermedad aún no se encuentra reportada para el departamento del Tolima, el cual es un importante productor de cítricos a nivel nacional. Con el propósito de predecir la posible distribución espacial de *Diaphorina citri*, vector de la bacteria *Candidatus liberibacter* causante del HLB, se determinó la ubicación de los sistemas de producción de cítricos en el departamento del Tolima (Colombia). Utilizando el proceso geoestadístico de interpolación por el método Inverso de la Distancia Ponderada (IDW) se definieron las áreas de mayor y menor prevalencia del vector, a partir de datos muestrales, conformando posibles rutas de movilidad de la bacteria. Con el análisis multitemporal de la distribución del vector en los años 2014, 2015 y 2016, este trabajo aporta elementos cartográficos de apoyo en el uso y consulta de la información al proceso de la vigilancia fitosanitaria del HLB de los cítricos, definiendo sitios estratégicos de monitoreo del vector.



**Palabras clave adicionales:** epidemiología; tristeza de los cítricos; geoestadística; medidas fitosanitarias.

<sup>1</sup> Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Gerencia Seccional Valle del Cauca, Palmira (Colombia). ORCID Araque, W.: 0000-0001-7664-7773

<sup>2</sup> Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Dirección Técnica de Epidemiología Agrícola, Bogotá (Colombia). ORCID Arévalo, E.: 0000-0002-8773-6330

<sup>3</sup> Autor para correspondencia. [waaraquee@unal.edu.co](mailto:waaraquee@unal.edu.co)



## ABSTRACT

Huanglongbing, or HLB, is one of the most devastating diseases in citrus fruits and is found in different departments in Colombia. However, this disease has not yet been reported for the Department of Tolima, which is a significant domestic producer of citrus fruits. In order to present the spatial possible distribution possible of *Diaphorina citri* vector of the *Candidatus liberibacter* bacterium that causes citrus HLB in relation to the location of citrus production systems in the department of Tolima (Colombia), the geostatistical process of interpolation by the Inverse Method of Weighted Distance (IDW) was used to define the areas of greater and lesser prevalence of the vector, based on sample data, forming possible mobility routes of the bacteria. With the multitemporal analysis of the distribution of the vector in 2014, 2015 and 2016, this work provides cartographic elements to support the use and consultation of information on the process of phytosanitary monitoring of citrus HLB, defining strategic monitoring sites of the vector.

**Additional key words:** epidemiology; huanglongbing; geostatistics; phytosanitary measures.

Recibido para publicación: 30-05-18 Aceptado para publicación: 30-11-2018

## INTRODUCCIÓN

La producción mundial de cítricos para el 2017 fue de 146,5 millones de toneladas, destacándose la producción de naranjas (FAOSTAT, 2018). En Colombia según la Encuesta Nacional Agropecuaria, ENA, para el año 2014 la producción fue de 160.408 t, correspondiendo al departamento del Tolima 15.826 t (DANE, 2016).

En la actualidad, el cultivo de las especies cítricas se está viendo seriamente afectadas por la presencia de la enfermedad conocida como el huanglongbing, HLB de los cítricos, también conocida como enverdecimiento o greening, siendo considerada como la enfermedad más devastadora de estas especies a nivel mundial, tanto por la disminución en la calidad de la fruta, como por la muerte del árbol (Bové, 2006; CABI, 2019). El HLB de los cítricos es ocasionado por tres especies de proteobacterias asociadas al floema que pueden ser transmitidas a la planta por el psílido vector *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), presente en el departamento del Tolima (ICA, 2012a).

En Colombia, el HLB de los cítricos se encuentra reportado para los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, La Guajira y Magdalena, según se declara en la Resolución ICA No. 00007109 del 2017, y en el departamento de Norte de Santander según Resolución No. 00019680 del 2018. Debido a esto, es importante la detección temprana en departamentos como el

Tolima con liderazgo cítrico, en vista del riesgo que tiene la presencia del vector en el departamento y la bacteria en el territorio nacional.

Monzo *et al.* (2015) sugieren que la detección temprana de *D. citri* permite el establecimiento de medidas de contingencia en regiones donde aún no está presente la enfermedad. Por lo tanto, se requiere de investigación en la epidemiología de la enfermedad y tácticas de control del vector. Para lo que es necesario el apoyo de mapas epidemiológicos como lo sugiere Guarín (2010).

La epidemiología viene desarrollando modelos matemáticos de algunas enfermedades comunes e importantes con el fin de mejorar la capacidad de prever y comprender el desarrollo de una epidemia (Achicanoy, 2000). Para el caso de fenómenos epidemiológicos, la cercanía espacial de casos favorece la propagación de una epidemia, por lo que la geoestadística construye la posibilidad de predecir datos desconocidos a partir de datos muestreados (Castro *et al.*, 2005), en donde el componente espacial provee información sobre la posición dentro de un sistema de referencia establecido y el componente temático hace referencia al proceso o el fenómeno (Olaya, 2010).

Flores-Sánchez *et al.* (2011) señalan que en enfermedades que son transmitidas por un vector del agente causal, es muy común encontrar tasas de dispersión

elevadas con un confinamiento espacial inicial definido en una sola dirección y conforme avanza en el tiempo una distribución multidireccional. De igual manera señalan que la magnitud de la dispersión puede definirse en base al actor del inóculo inicial, dado que un inóculo con alto número de árboles enfermos conlleva a una mayor dispersión de la enfermedad que un foco menor.

El manejo del HLB se realiza a través de tres estrategias: erradicación, control del vector y uso de material vegetal certificado (Mora-Aguilera *et al.*, 2014), por lo tanto, se hace oportuno la implementación de procesos de análisis espacial en el proceso de vigilancia del vector del HLB de los cítricos. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen herramientas que permiten definir áreas en peligro de presencia de una plaga determinada y conformar la distribución espacial de esta, como información de apoyo en la toma de decisiones para el manejo del vector, entendiendo su distribución como un corredor biológico de movilidad de la bacteria causante del HLB.

*Diaphorina citri* pasa por cinco estados ninfales, en el último estado presenta esbozos alares bien desarrollados extendidos anteriormente hasta el margen frontal de los ojos o que sobrepasan los ojos hasta el cuarto segmento abdominal (Flores-Sánchez *et al.*, 2011).

Las ninfas en estado ninfal I y II son de color amarillo-anaranjado, tendiendo a anaranjado-amarillo hacia el estado ninfal V (Flores-Sánchez *et al.*, 2011). Los primordios de las alas son conspicuos; hilos cerosos cortos, pueden estar presentes sólo en el ápice del abdomen (Alemán *et al.*, 2007). El ciclo ninfal tiene una duración promedio de 15 d desde huevo a adulto, en un rango de temperatura de 25 a 37,1°C (Flores-Sánchez *et al.*, 2011). En períodos secos los adultos pueden ser abundante en tanto que las ninfas están ausentes (SENAVE, 2009).

*D. citri* se ha encontrado en América del Sur desde la década de 1940, invadiendo Brasil, posteriormente Argentina y Venezuela. En la década de 1990 invade las Antillas (Guadalupe), la isla Abaco, la isla Gran Bahama, las Islas Caimán y Florida, USA (Tsai y Liu, 2000; Halbert y Núñez, 2004). En Colombia, *D. citri* se reportó por primera vez en 2007 en el departamento del Tolima (ICA, 2012b). King (2012) reportó la presencia de *D. citri* en 20 municipios del departamento del Tolima, en un rango altitudinal de 256 a 1.458 msnm. Arévalo *et al.* (2015) reportan la presencia del

vector entre los 0 y 1.710 msnm, este último registro en Sylvania-Cundinamarca, y mayor presencia del vector en altitudes menores a 500 msnm, indicando altas poblaciones hacia las zonas más cálidas del país.

*D. citri* al parecer posee una capacidad agroclimática amplia y alcances migratorios a medianas y grandes distancias, lo que explica su distribución regional y continental (Mora-Aguilera *et al.*, 2014).

“El Huanglongbing (HLB) es el nombre común reconocido y adoptado por la Organization of Citrus Virologists (Da Graça y Korsten, 2004) y la Sociedad de Fitopatología Americana (Timmer *et al.*, 2000)” según lo cita USDA (2006, p. 2) y quienes mencionan que “esta enfermedad fue descrita por vez primera por Lin, Kung-Hsiang en el año 1956 y se ha catalogado como la enfermedad más importante de los cítricos en el mundo, afectando seriamente la producción cítrica en la India, Asia Sudoriental, la Península Árabe y África, reduciendo el ciclo del cultivo entre 5 y 8 años”. En el estado de la Florida (USA), la enfermedad fue reportada en el año 2005 reduciendo para el año 2011 la producción cítrica en un 23% (Hodges y Spreen, 2012).

La enfermedad se encuentra asociada a las tres especies de proteobacterias restringidas al floema: *Candidatus liberibacter asiaticus* (Las), *Ca. Liberibacter africanus* (Laf) y *Ca. Liberibacter americanus* (Lam); transmitidas a la planta por el psílido vector *D. citri* (ICA, 2012a), el cual para el caso de Colombia ha colonizado 26 departamentos: Antioquia, Arauca, Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Huila, LA Guajira, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, San Andrés, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca y Vichada (Ebratt *et al.*, 2011; Ebratt-Ravelo, 2011b; King, 2012; Kondo *et al.*, 2012; Kondo y Simbaqueba-Cortés, 2014).

Otra forma de transmisión del HLB es la propagación vegetativa siendo particularmente importante a nivel de vivero (González-Gómez *et al.*, 2014).

Inicialmente, los síntomas suelen aparecer en una sola rama del árbol en la que se observan brotes amarillos (Bové, 2006). Los frutos de las ramas afectadas son pequeños, asimétricos y con inversión de color (López-Hernández *et al.*, 2014).

En el continente americano la enfermedad ha sido reportada por países como “Brasil (2004), Estados Unidos (Florida (2005), Texas (2012) y California (2012)), Cuba (2006), República Dominicana y México (2009), Honduras (2008), Belice (2009), Guatemala (2010), Nicaragua (2010) Costa Rica (2011) y Jamaica (2011)” (ICA, 2012a, p. 1). Robles-González *et al.* (2013) reportan que el HLB fue detectado a México en el año 2009, ocasionando impactos en pérdidas del rendimiento en el limón mexicano entre 20 hasta 48%.

Con la implementación de SIG se combinarán bases de datos gráficas a partir de cartografía digital con la localización de cada entidad, así como de sus atributos respectivos, para ser representados dentro de un sistema de coordenadas geográficas y realizar un tratamiento espacial de los datos a fin de obtener información significativa (Buzai, 2013).

Contreras (2014) implementó elementos de SIG para establecer las condiciones climáticas que han favorecido el desarrollo de *D. citri*, proporcionando bajo una visión espacial la forma en que se ha reproducido y dispersado el HLB en México como consecuencia del establecimiento y propagación del vector.

Heith *et al.* (2016) estimaron los efectos del cambio climático en la distribución geográfica potencial del HLB en Sudamérica, mediante el análisis de componentes principales que predicen la aptitud ambiental de una especie a partir de la distancia euclidiana de diferentes puntos en Sudamérica hacia sitios en los que se ha establecido el HLB.

Con el propósito de determinar la distribución del vector de la enfermedad conocida como el HLB de los cítricos, causada por la bacteria *Candidatus liberibacter* en los sistemas de producción de cítricos del departamento del Tolima, a partir de herramientas SIG, cartografía elaborada y el monitoreo del vector se proyectan las posibles rutas de movilidad de la enfermedad.

## METODOLOGÍA

La cartografía se realizó a partir de la información obtenida en el proceso de vigilancia del HLB de los cítricos y su vector *D. citri*, realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en los años 2014-2016 en el departamento del Tolima. El objetivo principal de la vigilancia consiste en establecer la distribución

y nivel de prevalencia del psílido vector *D. citri* en diferentes regiones cítricas del país y determinar la condición fitosanitaria con respecto a la bacteria *Candidatus Liberibacter Asiaticus* (ICA, 2012b).

## Muestreo

Consistió en la captura de adultos de *D. citri* rodeando los árboles con ayuda de una jama entomológica, haciendo movimientos de arriba hacia abajo en cuatro pases. Rozando las hojas de las plantas de cítricos se capturaron los insectos en estado adulto, vaciando el contenido completamente en un tubo Eppendorf con etanol al 70%, para envío de muestra al Laboratorio Nacional de diagnóstico fitosanitario del ICA. La captura solamente se realizó para adultos dado que es en este estado que el vector puede distribuirse regionalmente. Este proceso se realizó para 20 árboles por punto de muestreo, en 151 predios el año 2014, 255 predios el año 2015 y 123 predios el año 2016. La información obtenida fue consignada en formatos de campo diseñados bajo los lineamientos de la Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria del ICA, los cuales se consolidan en hoja electrónica de Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA) y se consignan en archivo digital.

## Distribución de los sistemas cítricos

A partir de la información de vigilancia se caracterizó la producción de cítricos en el departamento del Tolima utilizando el *software* ArcGis v. 10.2.2 (ESRI Press, New York) (licencia académica Universidad de Manizales), definiendo los principales municipios productores de cítricos en el departamento del Tolima. La información fue registrada sobre la base cartográfica obtenida en el geoportal del DANE mediante formato “.shp” en el enlace: [https://geoportal.dane.gov.co/descargas/mgn\\_2017/MGN2017\\_73\\_TOLIMA.rar](https://geoportal.dane.gov.co/descargas/mgn_2017/MGN2017_73_TOLIMA.rar). Se implementó la unión de la tabla de atributos en la capa de municipios del Tolima con el registro en formato CSV (delimitado por comas) del número de predios registrados por municipio; mediante las propiedades de la capa en ArcGis se implementó la herramienta de graduación de colores tanto para el mapa de producción cítrica del departamento por área total sembrada como para número de productores de cítricos por municipio. Adicionalmente, se graficó mediante símbolos proporcionales, la ubicación de los predios productores de cítricos y el área proporcional

de cada uno de estos con respecto al total de predios muestreados.

### Interpolación por el método Inverso a la Distancia Ponderada (IDW) para la distribución del vector

A partir de la información de los consolidados de vigilancia en los años 2014, 2015 y 2016 se realizaron interpolaciones IDW, como mecanismo de predicción implícita que genera continuidad bajo el principio: valores obtenidos en muestras cercanas tienen mayor probabilidad de parecerse que aquellos valores obtenidos de muestras lejanas. Aunque los modelos para establecer posibles rutas de dispersión del HLB revisados en la literatura se basan en variables climáticas, en este trabajo se realizó la interpolación a partir de datos de muestreo del vector, con el fin de establecer un corredor biológico de dispersión de la enfermedad a partir de este. La metodología se adoptó con base a la experiencia obtenida en el programa Moscamed (Lira *et al.*, 2010), en el que se implementa como método de interpolación IDW a partir de los datos obtenidos en el trapeo para mosca de la fruta, con el propósito de obtener estimación de la presencia de la mosca del mediterráneo a nivel de zonas, en los lugares alrededor de las trampas y no en lugares puntuales como lo son los sitios de muestreo.

### Análisis de riesgo de dispersión del HLB de los cítricos a través del vector

Sobre la base cartográfica obtenida en la interpolación de los datos de muestreo del vector por el método de IDW para el año 2016, se identificó un área de influencia de 1 km a cada lado de la vía con el propósito de identificar los predios ubicados dentro de esta área con la herramienta de intersección de ArcGis *intersect*, implementada para las capas de vías y predios cítricos. Los predios identificados se asociaron al riesgo de llegada de vectores del HLB portadores de la bacteria causante del HLB a través del transporte pasivo de adultos atraídos por la luz de los vehículos (Beattie y Barkley, 2009), relacionándolos a su vez con la información obtenida en el proceso de interpolación. De igual manera se identificó la ubicación de los viveros productores de material de propagación de cítricos, a los que se implementó un área de influencia de 4 km con el fin de identificar los predios ubicados en esta área de influencia del vector con base al aporte de Hall *et al.* (2008), quienes determinaron que *D. citri* puede ser arrastrada por corrientes de aire y trasladado

a distancias de 0,5 a 4,0 km. Se elaboró un mapa de apoyo para el análisis de riesgo de dispersión de la bacteria a partir del vector, en el que se registraron sobre la base de la interpolación por IDW realizada para el año 2016, las capas: predios productores de cítricos, viveros productores de material de propagación de cítricos, áreas de influencia de 4 km de los viveros, predios en área de influencia de viveros, predios ubicados dentro del área de influencia a 1 km de vías principales y otros hospederos entre los que se encuentra el mirto, *Murraya paniculata* (L.) Jack y la swinglea, *Swinglea glutinosa* (Blanco) Merr.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

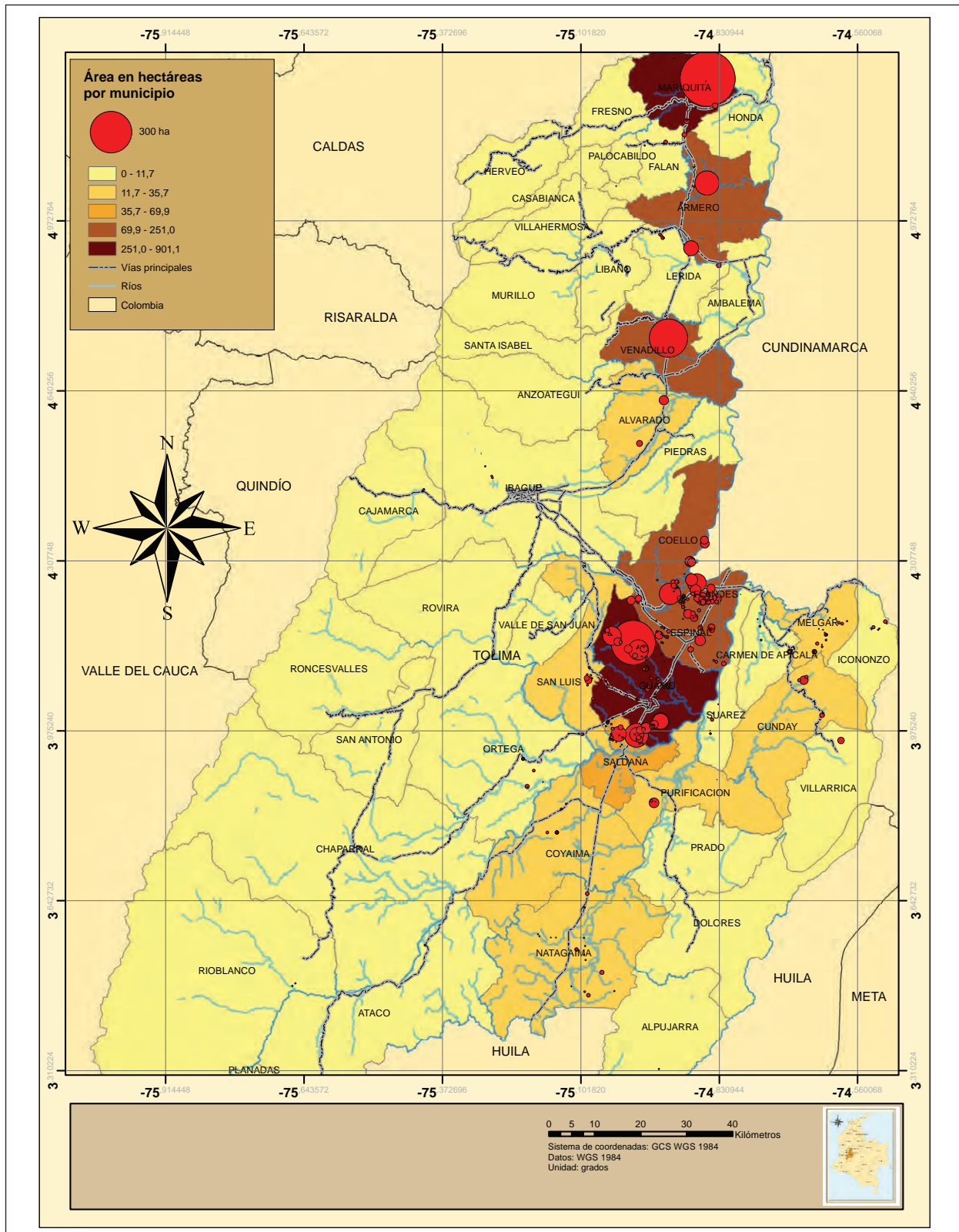
### Distribución de huertos de cítricos

Mediante material cartográfico se caracterizó la producción cítrica del departamento del Tolima identificando gráficamente los municipios con mayor área cítrica y la ubicación geográfica de los predios, distinguiendo proporcionalmente el área entre estos (Fig. 1).

Según esta información se observó que los municipios con mayor área cítrica son los municipios de Mariquita y Guamo, seguidos de los municipios de Espinal, Coello, Flandes, Venadillo y Armero. Sin embargo, se observó también que existe un gran número de predios en el municipio de Guamo que adicionan al atributo de área cítrica por municipio y que, en el caso del municipio de Mariquita, un solo predio tiene una gran extensión de cítricos; por lo que un mapa de número de predios por municipios también aporta criterios para la identificación y caracterización de municipios con importancia cítrica.

Los municipios de Guamo y Espinal tienen un mayor número de predios cítricos (Fig. 2) y con predios de diferentes extensiones. Guamo presenta predios cítricos de mayor área que Espinal. Se destacan además los municipios de Saldaña y Melgar, los cuales presentaron un nivel bajo de área cítrica (Fig. 1).

El municipio de Guamo presentó la mayor área cítrica del departamento del Tolima, así como el mayor número de productores cítricos. En el municipio de Espinal se encontró un alto número de productores y un área importante, aunque no mayor en producción como la observada en el municipio de Mariquita en donde un solo predio abarca una gran extensión.



**Figura 1. Área de producción cítrica en el departamento del Tolima, Colombia.**



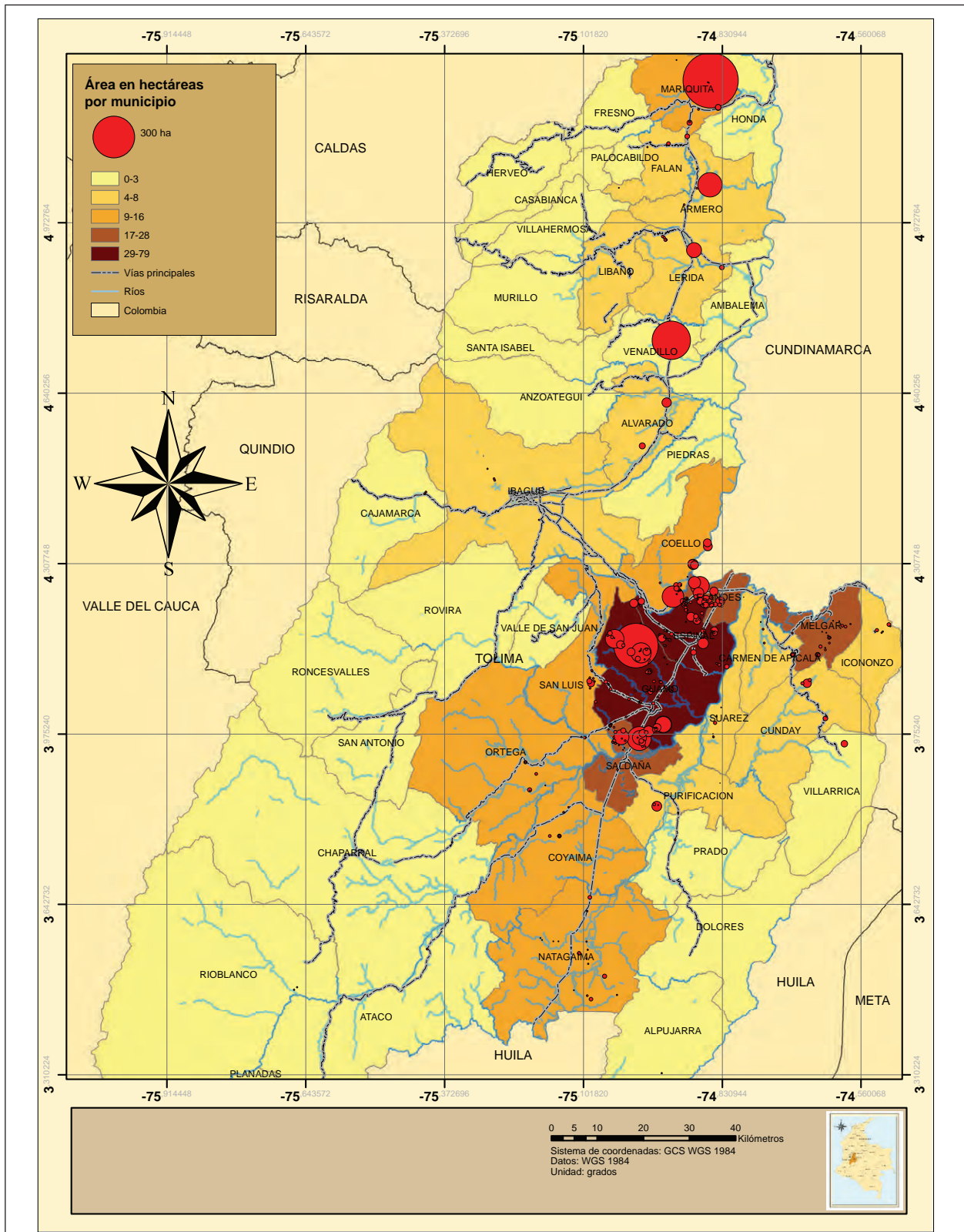
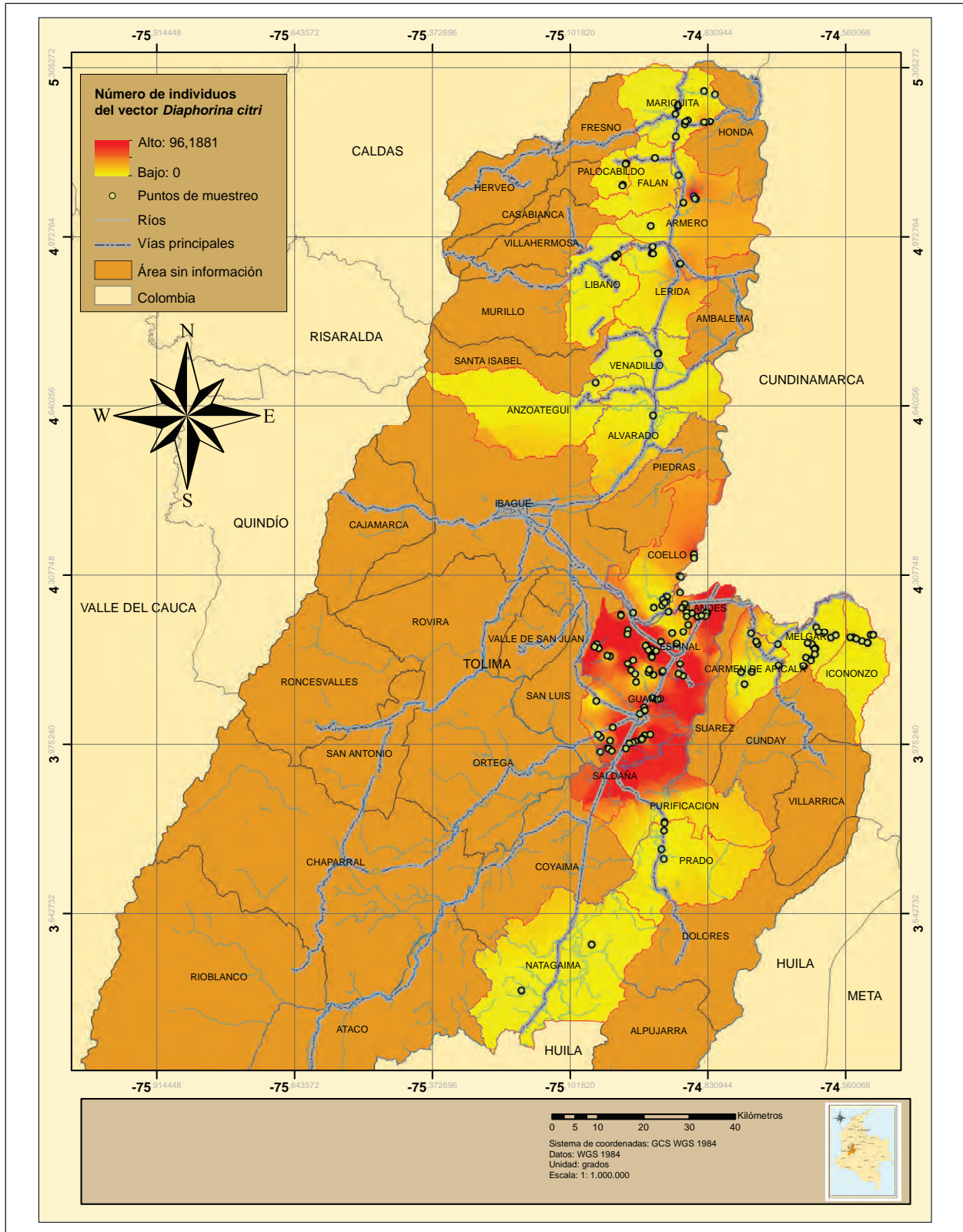


Figura 2. Número de sistemas cítricos por municipio en el departamento del Tolima, Colombia.



## Distribución de *D. citri*

Existen dos maneras de transmisión de la enfermedad del HLB, por el vector *D. citri* y mediante la implementación de yemas infectadas con la bacteria (Halbert y Manjunath, 2004). Siendo *D. citri* el principal mecanismo de dispersión de la bacteria en un área geográfica (Garnier y Bové, 2000; Hall *et al.*, 2008). En este estudio se pretendió predecir la ruta biológica de la bacteria a través de la dispersión del vector como factores determinantes en la forma y velocidad en que se distribuya una vez ingrese al departamento del Tolima.

Por la interpolación IDW en el año 2014 (Fig. 3) se observó la concentración de muestreo principalmente hacia los municipios ubicados sobre el valle del Magdalena, entre los que se excluyen los municipios de Piedras, Ambalema, Honda y Suarez. Se observó, además, una alta concentración de la población de *D. citri* en los municipios de Saldaña, Guamo, Espinal y Flandes con algunas excepciones en el municipio de Guamo (área de color amarillo) con registros bajos de la población de *D. citri*.

Se observó de igual manera en el municipio de Armero área de color rojo (Fig. 3), aunque los puntos alrededor no generaron la captura o una baja captura de individuos, en este punto específico se presentó una alta población del mismo, reportando la alta presencia y probabilidad de otros hospedantes vecinos con igual población.

Para el año 2015 (Fig. 4A) se observa disminución en el nivel alto de individuos obtenidos por muestreo (72,6781) con respecto al año anterior (96,1881). Por otra parte, hay mayor cobertura por municipio en la vigilancia de *D. citri*, al igual que la aparición de nuevos puntos con niveles altos de la población, tales como los que se observan en los municipios de Carmen de Apicalá, Coyaima, Falan y Mariquita, así como niveles medios en los municipios de Ambalema y Piedras, los cuales no fueron muestreados para el año 2014. De igual forma se observó que los niveles de captura por unidad de muestreo en los municipios de Guamo y Saldaña, continúan siendo altos como en 2014 y que no se realizaron muestreos en el año 2015 en puntos que para el año 2014 arrojaron valores altos de población capturada (Fig. 4B y C).

También se observó que hay una dispersión de *D. citri* a lo largo de los municipios de Ambalema, Armero, Carmen de Apicalá, Coello, Coyaima, Espinal,

Flandes, Falan, Lérida, Mariquita, Ortega, Piedras, Saldaña, San Luis y Venadillo, municipios con presencia de cultivos cítricos de diferentes áreas (Fig. 2).

En el año 2016 (Fig. 5) se observó una disminución en el número de municipios muestreados, además del aumento de la población obtenida en municipios muestreados con un valor de 103,49 individuos. De igual forma se observó aumento de la población obtenida en el proceso de muestreo a lo largo del área reportada para el año 2014 con el aumento de la superficie de color rojo. También se observa una disminución de la población muestreada en el municipio de Mariquita y la aparición de poblaciones altas en los municipios de Ambalema, Natagaima y Honda. Es importante resaltar que en estos dos últimos no hay registro de predios productores de cítricos (Fig. 2), por lo que la muestra puede provenir de hospedantes alternos como la swinglea, árbol de mirto o especies cítricas de traspatio.

Con base a la interpolación de los años 2014, 2015 y 2016, las poblaciones de *D. citri* aumentaron para el 2016 consolidando un corredor biológico de dispersión del HLB de los cítricos en el que predominan los municipios de Coello, Espinal, Flandes, Guamo y Saldaña, y de acuerdo a lo planteado por Martínez y Wallace (1968) citado por Pacheco *et al.* (2012), "la velocidad de dispersión del HLB podría ser mayor debido a que se requiere un alto número de insectos vectores para lograr una buena transmisión de la enfermedad".

## Análisis de riesgo de dispersión HLB a través *D. citri*

Sobre la base, que una importante fuente de dispersión de *D. citri* es el transporte pasivo de adultos, los cuales son altamente atraídos por la luz de los vehículos (Beattie y Barkley, 2009) y puede ser arrastrado por corrientes de aire y trasladado a distancias entre 0,5 a 4,0 km (Hall *et al.*, 2008), presenta un riesgo de diseminación de la bacteria causante de HLB dentro de una plantación y entre plantaciones; el área de influencia a la capa de vías de comunicación (Fig. 6A) y a la capa de viveros reveló predios cítricos dentro de dichas áreas de influencia, los cuales al estar a menos de 1 km podrían ser afectados por el transporte pasivo de adultos que contengan la bacteria causante de HLB. Su identificación servirá para la definición de un sistema de monitoreo periódico y continuo de estos predios, ya que las carreteras podrían constituirse

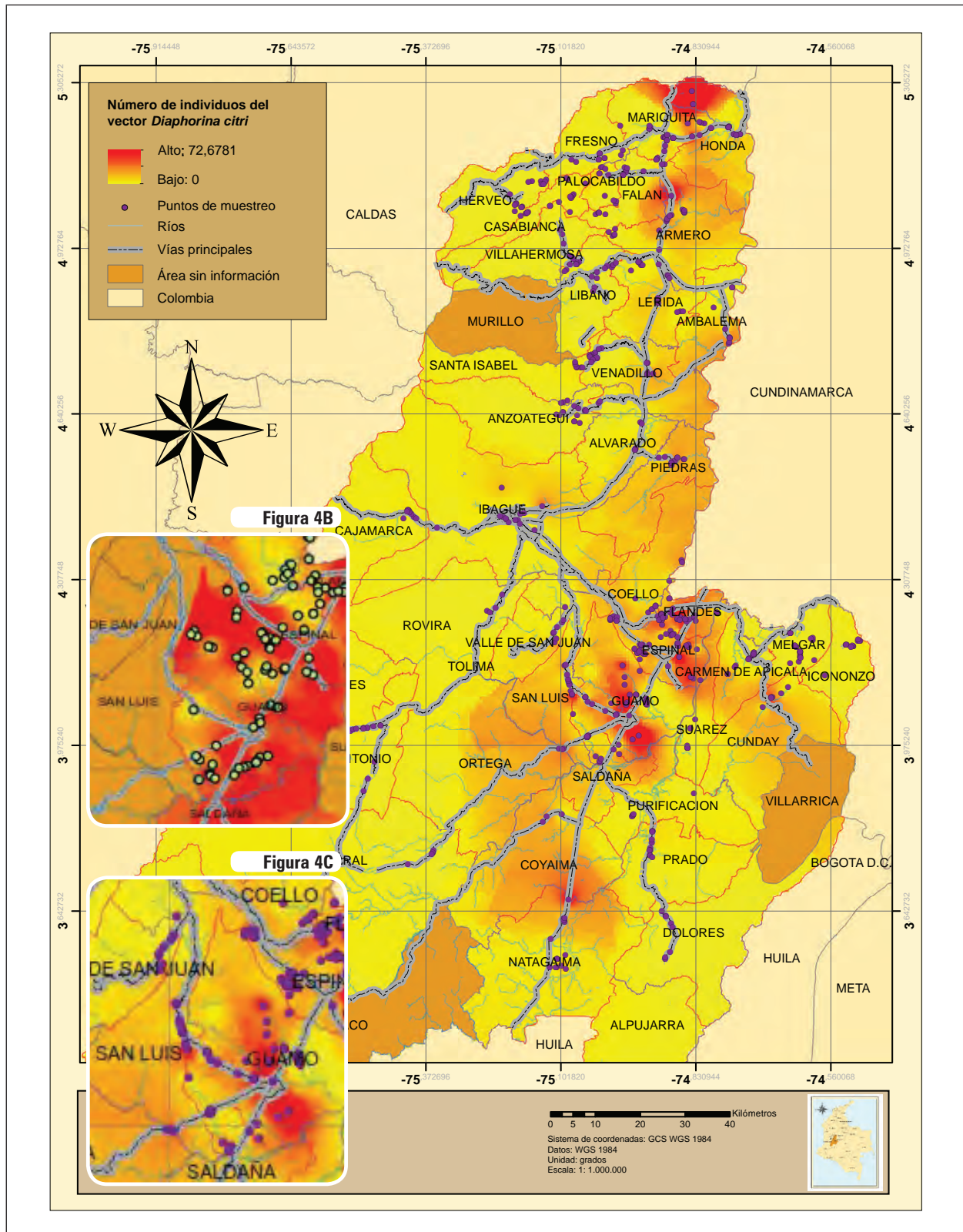


Figura 4. Distribución de *D. citri* en el departamento del Tolima (Colombia) año 2015 (A) y puntos de muestreo en los municipios de Guamo y Espinal para los años 2014 (B) y 2015 (C).

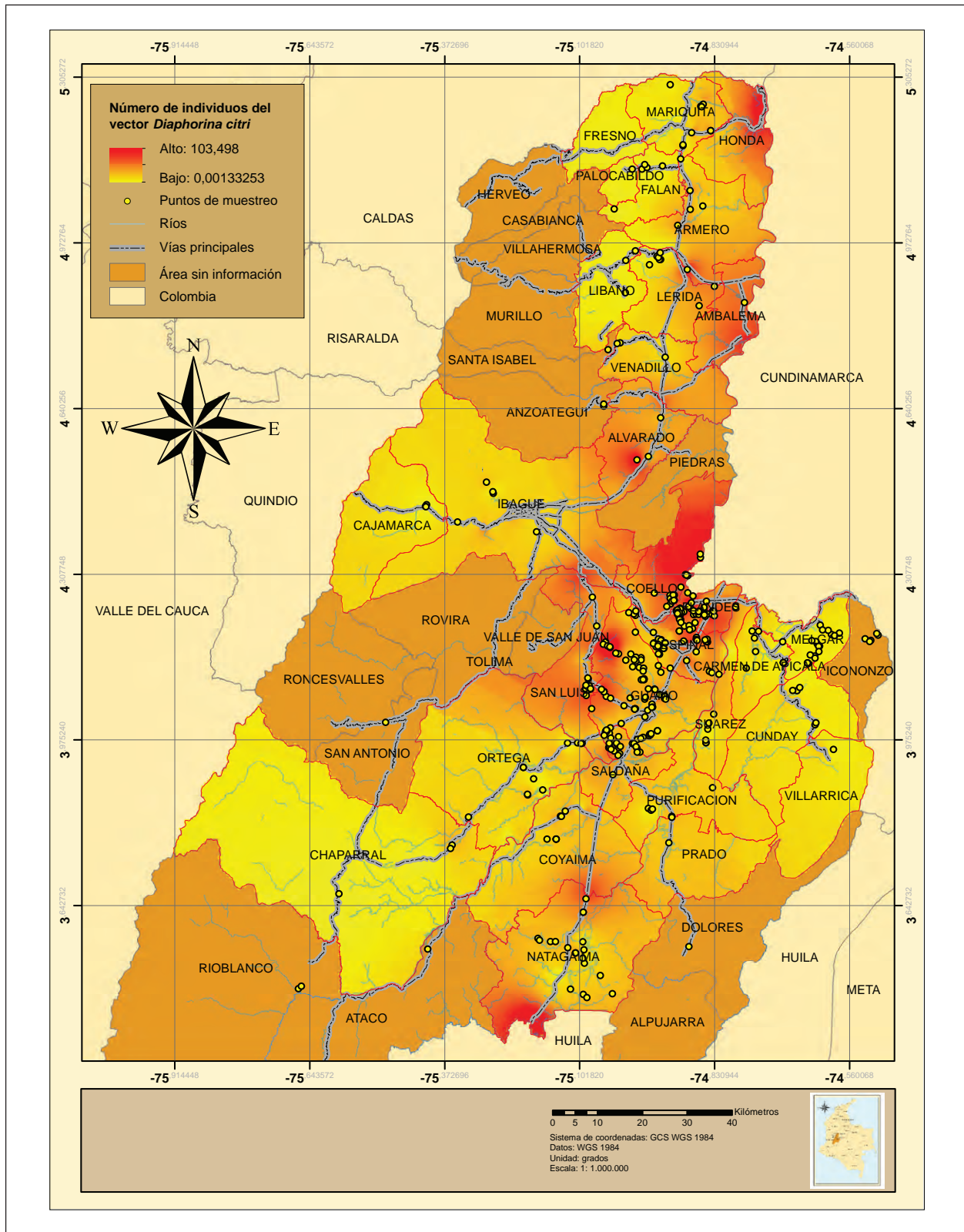
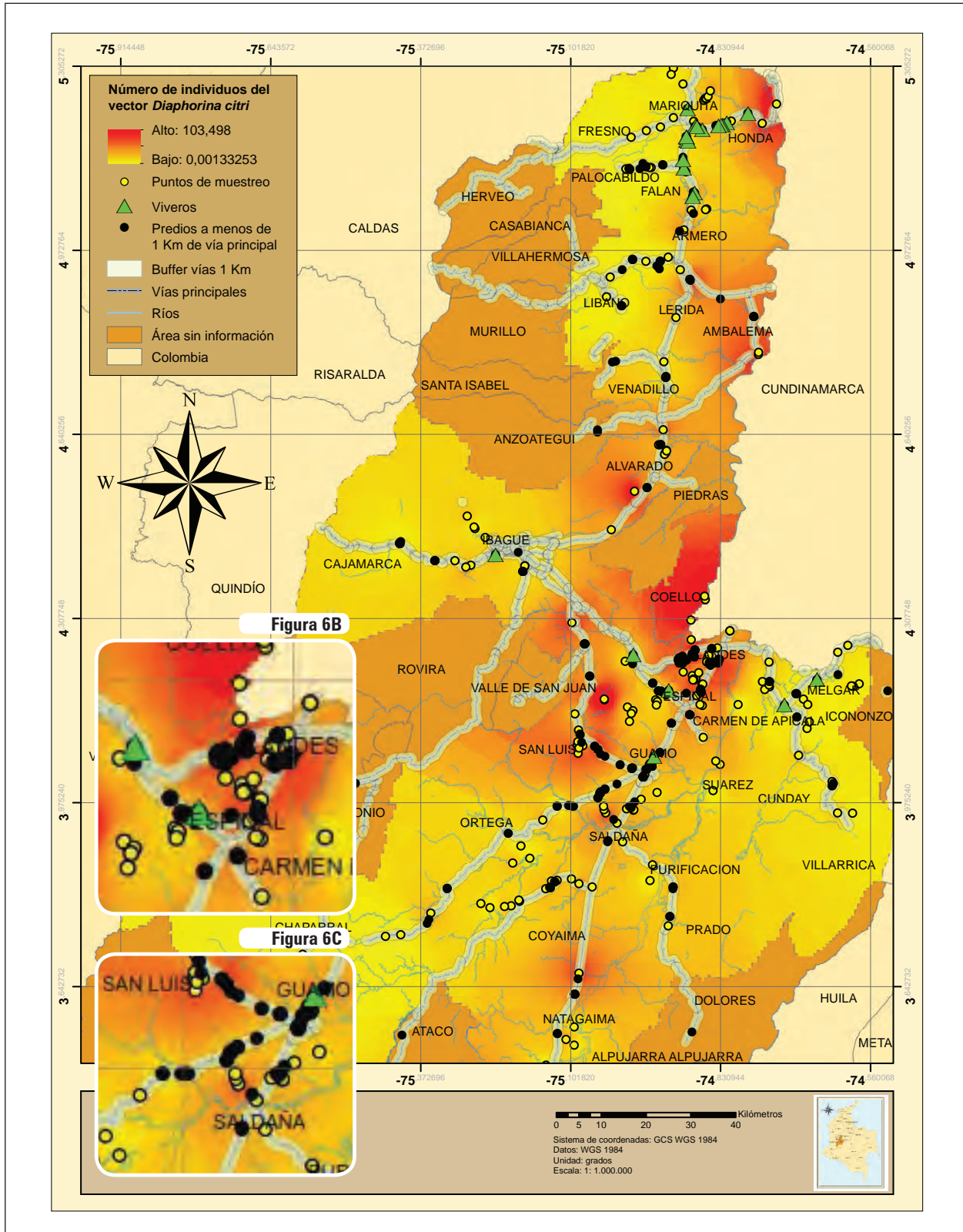
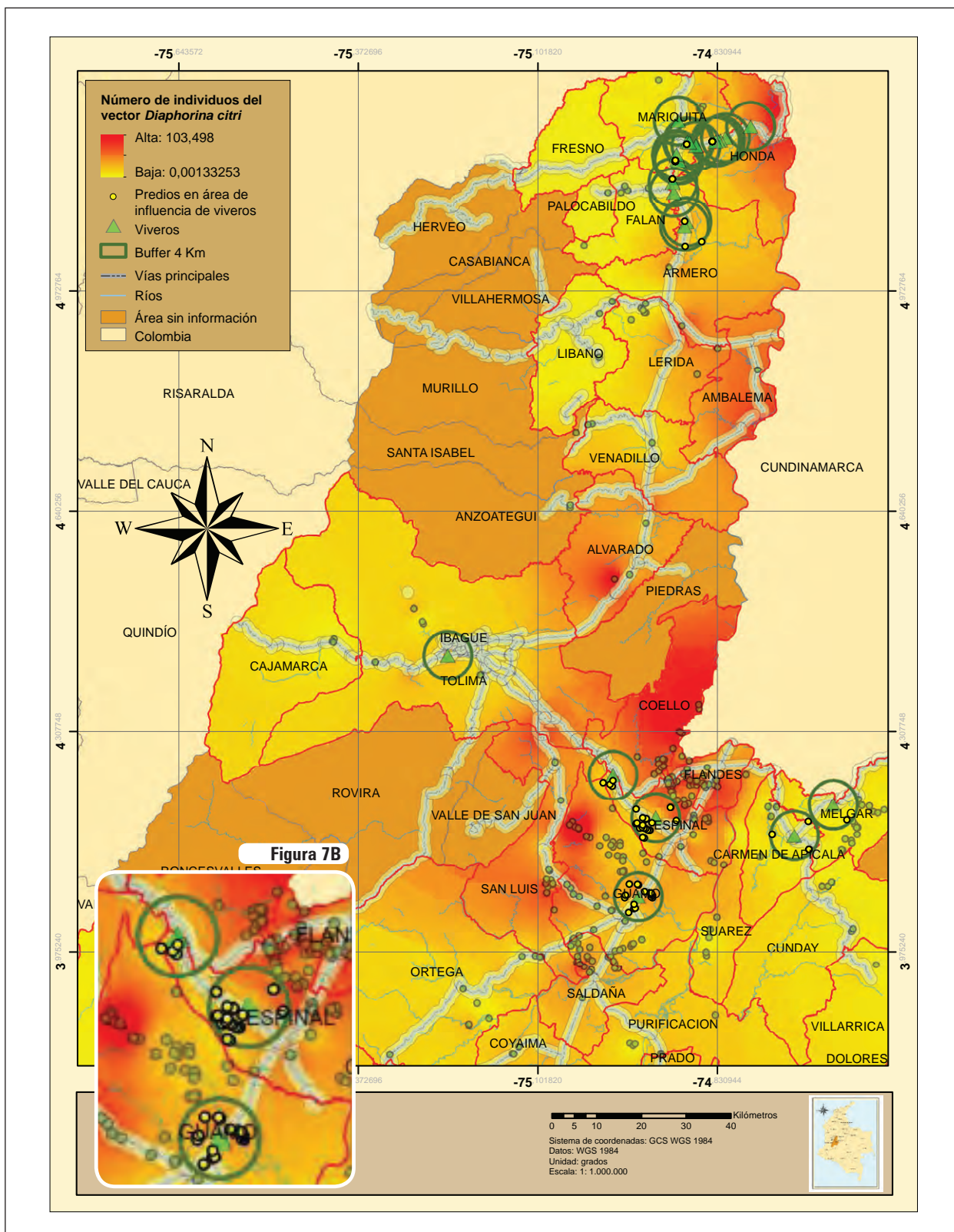


Figura 5. Distribución de *D. citri* en el departamento del Tolima (Colombia) año 2016.



**Figura 6. Análisis de riesgo de dispersión al HLB de los cítricos por el vector *D. citri* en el departamento del Tolima (Colombia) (A) y predios cítricos cercanos a menos de 1 Km de la vía principal: Flandes (B) y Saldaña (C).**



**Figura 7. Viveros productores de material de propagación en cítricos (A) y predios cítricos cercanos a los viveros (B) en el departamento del Tolima (Colombia).**

como el medio de acceso de la bacteria al departamento del Tolima.

La identificación de los predios contenidos en el área de influencia de las vías principales se realizó sobre la interpolación hecha con los datos de muestreo del año 2016, con el fin de priorizar puntos de monitoreo que estén ubicados sobre áreas de mayor población muestreada (color rojo, Fig. 6A), ya que, en estas áreas debido a las altas poblaciones del vector, la bacteria podría distribuirse con mayor velocidad. De igual manera, se utilizó la salida gráfica para el reconocimiento de predios citrícolas con la idea de incluir esta variable en la priorización del monitoreo. Tal es el caso de los municipios de Espinal y Flandes, en donde se observó una gran cantidad de sistemas de producción de cítricos de diferentes áreas y cercanos a predios ubicados en inmediaciones de una vía principal y sobre un área de alta población del vector (Fig. 6B).

Otra zona importante de resaltar es la ubicada en inmediaciones del municipio de Saldaña (Fig. 6C), en donde se encuentran ubicados sistemas de producción de cítricos con diferentes áreas, cercanos a un predio dentro del área de influencia de la vía principal y sobre un área de color del muestreo 2016, se obtuvieron muestras del vector aunque en menor cantidad que la obtenida en los puntos muestreados de Espinal y Flandes (Fig. 6B).

La ubicación de los viveros productores de material de propagación de cítricos (triángulo de color verde, Fig. 7A), es otro elemento clave en la transmisión del HLB (González-Gómez *et al.*, 2014). Además, *D. citri* se alimenta de la savia del floema de los brotes y hojas más jóvenes del árbol (Alemán *et al.*, 2007), lo que implica mayor riesgo de presencia del vector en viveros, debido a la predominancia de brotes y tejidos jóvenes.

A estos viveros se les definió un área de influencia de 4 km, con el propósito de identificar los predios citrícolas ubicados dentro de esta área (Fig. 7A). En el detalle (Fig. 7B), se observan los predios (puntos amarillos) que corresponden a predios citrícolas dentro del área de influencia de los viveros, identificados por un triángulo. El área de influencia está determinada por el alcance que puede tener un vector al ser desplazado por efecto de los vientos.

Esta área se convierte en puntos de interés para el monitoreo del vector y vigilancia de la enfermedad ya que una vez que ingrese el HLB a una de las áreas del vivero o al predio citrícola circundante, este podría dispersar la enfermedad con un mayor alcance que el

logrado por el vector por efecto del desplazamiento de material de propagación.

Al igual que la intersección realizada con la capa de vías, el área de influencia de viveros se ilustró sobre la interpolación del año 2016 con el propósito de identificar las áreas con mayor posibilidad de dispersión del HLB por efecto de los altos niveles de la población del vector, el caso del vivero ubicado en el municipio de Espinal y seguido del municipio de Guamo, son de gran importancia citrícola tanto por el área sembrada como por el número de productores.

## CONCLUSIONES

El principal municipio productor de cítricos en el departamento del Tolima es Guamo por número de productores y área cultivada. Se observó además que la producción citrícola del departamento está conformada por sistemas de diferente tamaño.

La región citrícola del departamento está conformada principalmente por dos zonas, la primera por los municipios de Coello, Espinal, Flandes, Guamo y Saldaña, y la segunda por los municipios de Armero, Mariquita y Venadillo caracterizada por un bajo número de productores.

Por lo tanto se sugiere la implementación de mayores puntos de monitoreo en la zona conformada por los municipios de Coello, Espinal, Flandes, Guamo y Saldaña, y otros en el área conformada por los municipios de Armero, Mariquita y Venadillo.

La distribución de *D. citri* se interpretó como una variable regionalizada por el método IDW, dado que el área de influencia del vector corresponde a una región agroclimática específica en la que se ubican los cultivos de cítricos y otros hospederos. Estas zonas se ubican en altitudes entre los 0 y 1600 msnm, con temperaturas medias entre 23 y 34°C, pluviosidades acumuladas anuales de 900 a 1200 mm y luminosidad mayor a 1900 horas de brillo solar anual (Botero *et al.*, 2014); disminuyendo la población del vector en la medida de que se aleja de dichas condiciones.

A través de la interpolación realizada las poblaciones de *D. citri* aumentaron para el 2016, definiendo un corredor biológico de dispersión para el HLB de los cítricos en los municipios de Coello, Espinal, Flandes, Guamo y Saldaña, en donde se estima una mayor velocidad de dispersión frente a las áreas con menor población del vector.



Debido a la alta presencia de sistemas de producción de lima acida Tahití en los municipios de Espinal, Flandes y Guamo, una alta incidencia del vector del HLB de los cítricos en la zona y la proximidad topológica menor a 1 km entre la vía principal y los predios citrícolas circundantes, se recomienda implementar un área específica de monitoreo, dado el potencial riesgo de dispersión de la enfermedad según se observa en los resultados del presente estudio.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achicanoy, L.H. 2000. Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín 53(1), 941-968.
- Alemán, J., H. Baños y J. Ravelo, 2007. *Diaphorina citri* y la enfermedad huanglongbing: una combinación destructiva para la producción citrícola. Rev. Prot. Veg. 22(3), 154-165.
- Arévalo, E., L.A. Castañeda, W. King, O. Fuentes y J.H. Palacino. 2015. Vigilancia de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae), insecto vector de la enfermedad Huanglongbing -HLB- de los cítricos. pp. 209-223. En: Jaramillo, J.L. (ed.). Memorias y resúmenes 42º Congreso Sociedad Colombiana de Entomología SOCOLEN, Medellín, Colombia.
- Beattie, G.A. y P. Barkley. 2009. Huanglongbing and its vectors. A pest specific contingency plan for the citrus and nursery and garden industries, version 2. Horticulture Australia, Sídney.
- Botero, V., A. Ochoa, Z.J. Gaston, R.A. Ortiz, T.S.M. Fuel, F.E. Moná, M.L. Marcela, H.J. Guarín, R.J.O. Orduz, Z.H.N. Chaparro y P.E. Arévalo. 2014. Identificación de la dinámica poblacional de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en los cultivos de cítricos de Colombia: una herramienta para implementar un sistema piloto de seguimiento de poblaciones del insecto vector del HLB. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Bové, J.M. 2006. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. J. Plant Pathol. 88(1), 7-37.
- Buzai, G.D. 2013. Sistemas de información geográfica SIG: teoría y aplicación. Universidad Nacional de Luján, Lujan, Argentina.
- CABI, 2019. Citrus huanglongbing (greening) disease (citrus greening) – Datasheet. En: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/16567#toimpactEconomic>; consultado: diciembre de 2018.
- Castro, C., L. Londoño y J. Valdés. 2005. Modelación y simulación computacional usando sistemas de información geográfica con dinámica de sistemas aplicados a fenómenos epidemiológicos. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia 34, 86-100.
- Contreras, C. 2014. Condiciones climáticas asociadas al establecimiento y dispersión del Huanglongbing (HLB) y su vector la *Diaphorina citri* Kuwayama. pp. 101-118. En: Galindo, M.G. y C. Contreras (Coord.). Huanglongbing y psílido asiático de los cítricos: un acercamiento metodológico multidisciplinario. Colección Sanidad Vegetal Tomo 2. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
- Da Graça, J.V. y L. Korsten. 2004. Citrus huanglongbing: review, present status and future strategies. pp. 229-245. En: Naqvi, S.A.M.H. (ed.) Diseases of fruits and vegetables. Vol. I: diagnosis and management. Springer, Dordrecht, Holanda.
- DANE. 2016. Tercer Censo Nacional Agropecuario: hay campo para todos. Tomo 2: Resultados. Bogotá, Colombia.
- Ebratt R., E.E., L.T. Rubio G., V.A. Costa, E.M. Zambrano G., Á.P. Castro Á. y M.Y. Santamaría G. 2011. Record of *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae) in Colombia. Rev. Fac. Nal. Agron. Medellín 64(2), 6141-6146.
- Ebratt-Ravelo, E.E., L.T. Rubio-González, V.A. Costa, Á.P. Castro-Ávila, E.M. Zambrano-Gómez y J.E. Ángel-Díaz. 2011. *Diaphorina citri* (Kuwayama, 1907) and *Tamarixia radiata* (Waterson, 1922) in citrus crops of Cundinamarca, Colombia. Agron. Colomb. 29(3), 487-493.
- FAOSTAT. 2018. Crops. En: <http://www.fao.org/faostat/en>; consultado: diciembre de 2018.
- Flores-Sánchez, J.L., G. Mora-Aguilera, E. Loeza-Kuk, S. Domínguez-Monge, G. Acevedo-Sánchez, P. Rivas-Valencia, N. Ruíz-García, J.I. López-Arroyo, E. Hernández-Chan, A. Novelo-Cocon, P. Sánchez-Lopez y F. Sánchez-Rebolledo. 2011. Gradientes de dispersión del HLB a partir de focos iniciales de infección en la península de Yucatán. pp. 83-87. En: Memorias, 2o Simposio Nacional sobre Investigación para el Manejo del Psílido Asiático de los Cítricos y el Huanglongbing en México. INIFAP, Montecillo, México.
- Garnier, M. y J. Bové. 2000. Huanglongbing (greening). pp. 46-48. En: S.G.L.W. Timmer (ed.). Compendium of citrus diseases. 2a ed. APS. Press, St. Paul, MN. USA.
- González-Gómez, R., C. Oropeza-Salín, A. Flores-Olivas, P. Robles-García, G. Mora-Aguilera, J. Flores-Sánchez, G. Acevedo-Sánchez y S. Domínguez-Monge. 2014. Vigilancia epidemiológica y estatus actual del amarillamiento letal del cocotero, punta morada de la papa

- y huanglongbing de los cítricos (HLB) en México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 32(2), 120-131.
- Guarín, J.H. 2010. Panorama para el manejo de *Diaphorina citri*, vector del HLB en la citricultura colombiana. En: *Memorias 1er Congreso Latinoamericano de Citricultura*. CORPOICA, Medellín, Colombia.
- Halbert, S.E. y K.L. Manjunath. 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Flo. Entomol.* 87(3), 330-353. Doi: 10.1653/0015-4040(2004)087[0330:ACPSPA]2.0.CO;2
- Halbert, S.E. y C.A. Núñez. 2004. Distribution of the Asian citrus ~ psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Rhynchota: Psyllidae) in the Caribbean basin. *Flo. Entomol.* 87(3), 401-402. Doi: 10.1653/0015-4040(2004)087[0401:DO-TACP]2.0.CO;2
- Hall, D.G., M.G. Hentz y R.C. Adair Jr. 2008. Population ecology and phenology of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in two Florida citrus groves. *Environ. Entomol.* 37(4), 914-924.
- Heith, G., W. Sione y A. Della. 2016. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de HLB en Sudamérica. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.* 2(4), 484-493.
- Hodges, A.W. y T.H. Spreen. 2012. Economic Impacts of Citrus Greening (HLB) in Florida, 2006/07-2010/11. FE903. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. 2012a. Vigilancia fitosanitaria sobre Huanglongbing (HLB) y su vector el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri* kuwayama) en Colombia. *Boletín Epidemiológico Agrícola – Plagas de Control Oficial*, diciembre. En: [https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/HUANGLONGBING/BOL\\_HLB\\_AGO\\_2012\\_2.aspx](https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/HUANGLONGBING/BOL_HLB_AGO_2012_2.aspx); consultado: octubre de 2018.
- ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. 2012b. Vigilancia del huanglongbing (HLB) de los cítricos y su vector el psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en Colombia. *Boletín Epidemiológico* 4. En: [http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/HUANGLONGBING/BOL\\_HLB\\_2012\\_2014.aspx](http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/HUANGLONGBING/BOL_HLB_2012_2014.aspx); consultado: marzo de 2018.
- King, W. 2012. Dispersión de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) en el departamento del Tolima (Colombia). *Rev. Tumbaga* 2(7), 51-60.
- Kondo, T., E.M. Quintero, M. Campuzano, K.A.G. Wyckhys y J. Heraty. 2012. First report of *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) in the department of Valle del Cauca, Colombia. *Bol. Mus. Entomol. Univ. Valle* 13(1), 48-51.
- Kondo, T. y R. Simbaqueba-Cortés. 2014. *Sarucallis kahawaluokalani* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae), a new invasive aphid on San Andres island and mainland Colombia, with notes on other recent invasive species. *Insecta Mundi* 0362, 1-10.
- Lira, E.E. 2010. Uso de sistemas de información geográfica. pp. 159-166. En: Montoya, P., J. Toledo y E. Hernández (eds.), *Moscas de la fruta: fundamentos y procedimientos para su manejo*. S y G Editores, México, DF.
- López-Hernández, D., M. Luis-Pantoja, R. Llauger-Riverón, C. González-Fernández, J. Casín-Fernández, I. Peña, L. Batista-LeRiverend, L. Hernández-Rodríguez, V. Zamora-Rodríguez y D. Hernández-Espinosa. 2014. Diagnóstico y caracterización de la enfermedad huanglongbing de los cítricos para el establecimiento de su manejo en Cuba. *CitriFrut* 31(2), 3-9.
- Monzo, C., H.A. Arévalo, M.M. Jones, P. Vanaclocha, S.D. Croxton, J.A. Qureshi y P.A. Stansly. 2015. Sampling methods for detection and monitoring of the Asian citrus Psyllid (Hemiptera: Psyllidae). *Environ. Entomol.* 44(3), 780-788.
- Mora-Aguilera, G., P. Robles-García, J.I. López-Arroyo, J. Flores-Sánchez, G. Acevedo-Sánchez, S. Domínguez-Monge, A. Gutierrez-Espinosa, E. Loeza-Kuk y R. González-Gómez. 2014. Situación actual y perspectivas del manejo del HLB de los cítricos. *Rev. Mex. Fitopatol.* 32(2), 108-119.
- Olaya, V. 2010. Introducción. ¿Qué es un SIG? En: *Sistemas de Información Geográfica*. Víctor Olaya. pp. 3-24. En: [https://www.icog.es/TyT/files/Libro\\_SIG.pdf](https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf); consultado: octubre de 2018.
- Pacheco, J.J., J.A. Samaniego y A.A. Fontes. 2012. Tecnología para el manejo integrado del psílido *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en cítricos en Sonora. *Folleto Técnico*. Inifap; CIRNO, Obregón, México.
- Robles-González, M.M., J.J. Velázquez-Monreal, M.A. Manzanilla-Ramírez, M. Orozco-Santos, V.M. Medina-Urrutia, J.I. López-Arroyo y R. Flores-Virgen. 2013. Síntomas del Huanglongbing (HLB) en limón mexicano [*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle] y su dispersión en el estado de Colima, México. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 19(1), 15-31.
- SENAVE, Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas. 2009. Manual técnico de identificación a campo del Huanglongbing de los cítricos y el insecto vector *Diaphorina citri*. Asunción.
- Tsai, J.H. y Y.H. Liu. 2000. Biology of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) on four host plants. *J. Econ. Entomol.* 93, 1721-1725.
- USDA, 2006. Recovery Plan for Huanglongbing (HLB) or Citrus Greening caused by “*Candidatus*” *Liberibacter africanus*, *L. asiaticus*, and *L. americanus*. HSPD-9. En: <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/00000000/opmp/CitrusGreening61017.pdf>; consultado: marzo de 2018.

# Management alternatives for *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in the *Carica papaya* L. Hybrid Tainung-1

## Alternativas de manejo de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en *Carica papaya* L. Híbrido Tainung-1



ANGEL MAURICIO HERRERA-PALACIOS<sup>1, 2</sup>  
YURI MERCEDES MENA-PÉREZ<sup>1</sup>  
NORA CRISTINA MESA-COBO<sup>1</sup>

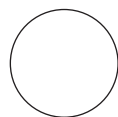
***Carica papaya* plants in Roldanillo (Colombia).**

Photo: A. Herrera-Palacios

### ABSTRACT

The mite *Tetranychus urticae* is a key pest in papaya crop in Valle del Cauca (Colombia), and it has been generally controlled with chemical products; other management alternatives have not been used. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of alternatives: plant extract (garlic-chili vegetable extract, Alisin®), mineral oil (vegetable fatty acid complex, Adimel®), entomopathogenic fungus (Successor®), chemical control (spiromesifen, abamectin, fenazaquin), untreated (control treatment) and farmer's practices (14 applications of pesticides) in a randomized complete block design with three replications/treatment in a Hybrid Tainung-1 papaya crop in the municipality of Roldanillo. The sampling was done every 8 days by measuring the variables: number of leaves/plant, number of infested leaves/plant, number of floral structures/plant, number of fruits/plant, diameter of stem/plant (every 30 days), population of *T. urticae*/leaf and yield. It was found that the populations of *T. urticae*/leaf were low in entomopathogenic fungus (11.978) and chemical control (10.548), with no significant differences ( $P > 0.05$ ) from farmer's practices (3.339). In contrast, the mite populations were very high in plant extract (22.086), mineral oil (20.411) and untreated (35.746), as compared to farmer's practices. There was a significant difference in all treatments for the variable infestation from farmer's practices, and the number of leaves/plant in mineral oil and untreated treatment was significantly different from farmer's practices. No significant differences were found between the treatments in the rest of the evaluated variables. The entomopathogenic fungus turned out to be the best alternative for a management program of *T. urticae* in papaya in this region.

**Additional key words:** plant extract; mineral oil; entomopathogenic fungus; chemical acaricides; two spotted mite.



<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, Faculty of Agricultural Sciences, Acarology and Entomology Group, Palmira (Colombia). ORCID Herrera-Palacios, A.M.: 0000-0003-4251-650X; ORCID Mena-Pérez, Y.M.: 0000-0001-5710-9742; ORCID Mesa-Cobo, N.C.: 0000-0003-4684-0219

<sup>2</sup> Corresponding author. [anherrerapa@unal.edu.co](mailto:anherrerapa@unal.edu.co)

## RESUMEN

El ácaro *Tetranychus urticae* es considerada una plaga clave en el cultivo de papaya del Valle del Cauca (Colombia) y su control ha sido generalmente con productos químicos sin probar otras alternativas de manejo. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar en un cultivo de papaya Híbrido Tainung-1, en el municipio de Roldanillo, el efecto de las alternativas: extracto de planta (extracto vegetal de ajo-chile, Alisin®), aceite mineral (complejo de ácidos grasos vegetales, Adimel®), hongo entomopatógeno (Successor®), control químico (spiromesifen, abamectina, fenazaquin), sin manejo (tratamiento control) y prácticas del agricultor (14 aplicaciones de plaguicidas), utilizando un diseño de bloques al azar con tres repeticiones/tratamiento. Se hicieron muestreos cada 8 días midiendo las variables número de hojas/planta, número de hojas infestadas/planta, número de estructuras florales/planta, número de frutos/planta, diámetro del tallo/planta (cada 30 días), población de *T. urticae*/hoja y rendimiento. Se encontró que las poblaciones de *T. urticae*/hoja fueron bajas en los tratamientos hongo entomopatógeno (11,978) y control químico (10,548), donde no presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) con respecto a las prácticas del agricultor (3,339); en contraste, las poblaciones del ácaro fueron muy elevadas en los tratamientos extracto de planta (22,086), aceite mineral (20,411) y sin manejo (35,746) con respecto a las prácticas del agricultor. Se presentó una diferencia significativa en todos los tratamientos y prácticas del agricultor para la variable infestación y entre los tratamientos aceite mineral y sin control vs. prácticas del agricultor para número de hojas/planta. Del resto de variables evaluadas no se encontró diferencias significativas entre tratamientos. El hongo entomopatógeno resultó ser la mejor alternativa para un programa de manejo de *T. urticae* en papaya en el departamento.

**Palabras clave adicionales:** extracto vegetal; aceite mineral; hongo entomopatógeno; acaricidas químicos; ácaro de dos manchas.

Received for publication: 05-07-18 Accepted for publication: 30-11-2018

## INTRODUCTION

The papaya (*Carica papaya* L.) is a high ranking fruit in terms of global production and, in Colombia, it ranks eighth for cultivated fruits since its fruit is highly desired by consumers, requiring high annual production to meet demand (Rios *et al.*, 2005). There are limiting factors for its extensive production, such as diseases and pests, for example phytophagous mites, whose damage causes a decrease in optimal development and directly affects yield (Constantinides and Mchugh, 2003).

The species *T. urticae* is one of the pests that most affect the papaya, generating damage that consists of breaking and extraction of cell contents, causing chlorotic and tan spots (Badawy *et al.*, 2010). This damage directly influences photosynthesis and increases the exposure of the fruit to the sun, with negative consequences for production and commercialization (Acuña *et al.*, 2005). This pest is difficult to control and has a high reproduction rate (Ringuelet *et al.*, 2012). In general, *T. urticae* is controlled with synthetic acaricides, with several applications during the production cycle, which increases costs and the

emergence of resistance in this pest (Marques-Francovig *et al.*, 2014).

The indiscriminate use of chemical products has generated serious problems related to water and soil contamination, directly affecting natural predators and pollinating insects that play a very important role in agriculture (Amaya *et al.*, 2008; Gasca *et al.*, 2011; Garcés, 2016). In addition, these products cause resistance and the appearance of secondary pests (Van Leeuwen *et al.*, 2010; Encina *et al.*, 2011). These drawbacks have created global concern and interest in the implementation of new pest control alternatives (Encina *et al.*, 2011).

Alternative methods to chemical control have been increasing for several years, with the development of insecticides with a botanical origin, as well as the use of oils, entomopathogenic fungi and other products, in order to prevent or control *T. urticae* (Laborda *et al.*, 2014; Grijalva and Tapia, 2015), reducing the impact of synthetic products on the environment and beneficial organisms found on farms (Akhtar *et al.*, 2003).

These alternative products present a complex mixture of substances whose mechanism of action is still unknown (IRAC, 2009), but which exert a wide range of physiological and behavioral effects on *T. urticae* (Padín *et al.*, 2007; Afify *et al.*, 2012; Tello *et al.*, 2014). This study aimed to evaluate the effects of alternative treatments under field conditions: (plant extract, mineral oil, entomopathogenic fungus), a chemical control treatment (spiromesifen, abamectin, fenazaquin), an untreated (control treatment) and farmer's practices on populations of the phytophagous mite *T. urticae* in a papaya crop.

## MATERIALS AND METHODS

This experiment was conducted in the municipality of Roldanillo, "La Pola" farm (Latitude: 4.40835; Length: -76.1069499999), which is 910 m asl, at a temperature of 24°C on average, with a relative humidity

of 69% and 1,116 mm of annual precipitation. An experiment was established with 480 Tainung-1 hybrid papaya plants using a randomized complete block design with six treatments and three replicates of each. Each repetition consisted of 16 papaya plants.

The evaluated treatments were: (1) plant extract, garlic-chili vegetable extract (Alisin®); (2) mineral oil, vegetable fatty acid complex (Adimel®); (3) entomopathogenic fungus, *Isaria fumosorosea* (Successor®); (4) chemical control, synthesis active ingredients (spiromesifen, abamectin and fenazaquin in rotation); (5) untreated (control treatment) and (6) farmer's practices, consisting of a 563 m<sup>2</sup> commercial papaya crop (Tab 1). At the edge of this crop, a plastic 5 m high barrier was placed to avoid infestation by *T. urticae* from one lot to another through the wind.

The applications started with the spontaneous appearance of *T. urticae* in the field, which was detected

**Table 1. Description of the treatments evaluated.**

Treatment	Active ingredient	IRAC classification	Action mode	Mechanism of action	Doses (L ha <sup>-1</sup> )
Plant extract (Alisin®)	Allyl bisulphide Limonene Capsaicin Nicotinic acid Carotenoids	----	-----	-----	600
Mineral oil (Adimel®)	Polialcohol (zinc, manganese)	----	-----	-----	600
Entomopathogenic fungus (Successor®)	<i>Isaria fumosorosea</i> Concentration: 5x10 <sup>12</sup> Conidium/L	----	By contact	-----	600
Chemical control	Spiromesifen	23	Systemic	Acetil CoA inhibitors carboxylase	600
	Abamectin	6	By contact and ingestion	C1 channel activators	600
	Fenazaquin	21A	By contact and ingestion	Inhibitors of electron transport in the mitochondrial complex	600
Untreated (control treatment)	-----		-----	-----	-----
Farmer's practices (Grower's practice of commercial papaya crop)	Spiromesifen Abamectin	----	-----	-----	1000
	Bifenazate	----	By contact	-----	
	Milbemectin	6	By contact, ingestion and translaminar activity	C1Channel activators	
	Hexythiazox	10A	By contact and ingestion	Growth Inhibitors	
	Acequinocyl	20B	By contact	Inhibitors of electron transport in the mitochondrial complex II	

with weekly monitoring of the populations. There were 9 applications in total of plant extract, mineral oil, entomopathogenic fungus and chemical control, at intervals of 21 days between applications starting at 40 days after the transplant (DAT) and ending with fruit filling (135 DAT), while, for farmer's practices, 14 applications were made.

Each repetition had 16 plants, 4 of which were marked. The number of total leaves infested with *T. urticae*, as evidenced by the presence of chlorotic spots, wilting and/or necrosis, were evaluated weekly in each of these plants. The number of floral structures (floral button, closed flower I, closed flower II and open flower) and number of fruits/plant from 60 DAT to half fruit filling (140 DAT) was also counted.

A leaf was taken weekly from the middle part of the plants in each treatment to the Entomology and Acarology laboratory of the Universidad Nacional de Colombia-Palmira Branch, where the number of individuals (egg, immature, adult) was counted for *T. urticae*. Tetranychidae and Phytoseiidae, with mounts using Hoyer medium were made for each sampling. All agricultural tasks of the crop, such as plant sexing, irrigation and fertilization, elimination of plants with viruses and control of other pests, diseases and weeds were carried out as established for the papaya crop.

## Statistic analysis

The SAS statistical program SAS v. 9.3 (2014) for the analysis of variance (ANOVA) and Tukey means test at 5% ( $P \leq 0.05$ ) significance were used to determine the significant statistical differences between the variables of the evaluated treatments. Fruits harvested per plant and total weight of fruits per treatment, the Fisher LSD test at 5% ( $P \leq 0.05$ ) was performed.

## RESULTS

### Fluctuation of *T. urticae* population dynamics

In terms of the effect of treatments on the different stages of development of *T. urticae*, there was a significant difference between entomopathogenic fungus, chemical control and farmer's practices and plant extract, and untreated for the number of eggs per leaf, but there were no significant differences between mineral oil and entomopathogenic fungus,

chemical control and untreated. The effect of entomopathogenic fungus was similar to the effect of farmer's practices, where the number of eggs per leaf was relatively low (Tab. 2).

**Table 2. Average population of *T. urticae* per leaf for management alternatives in *C. papaya* crop.**

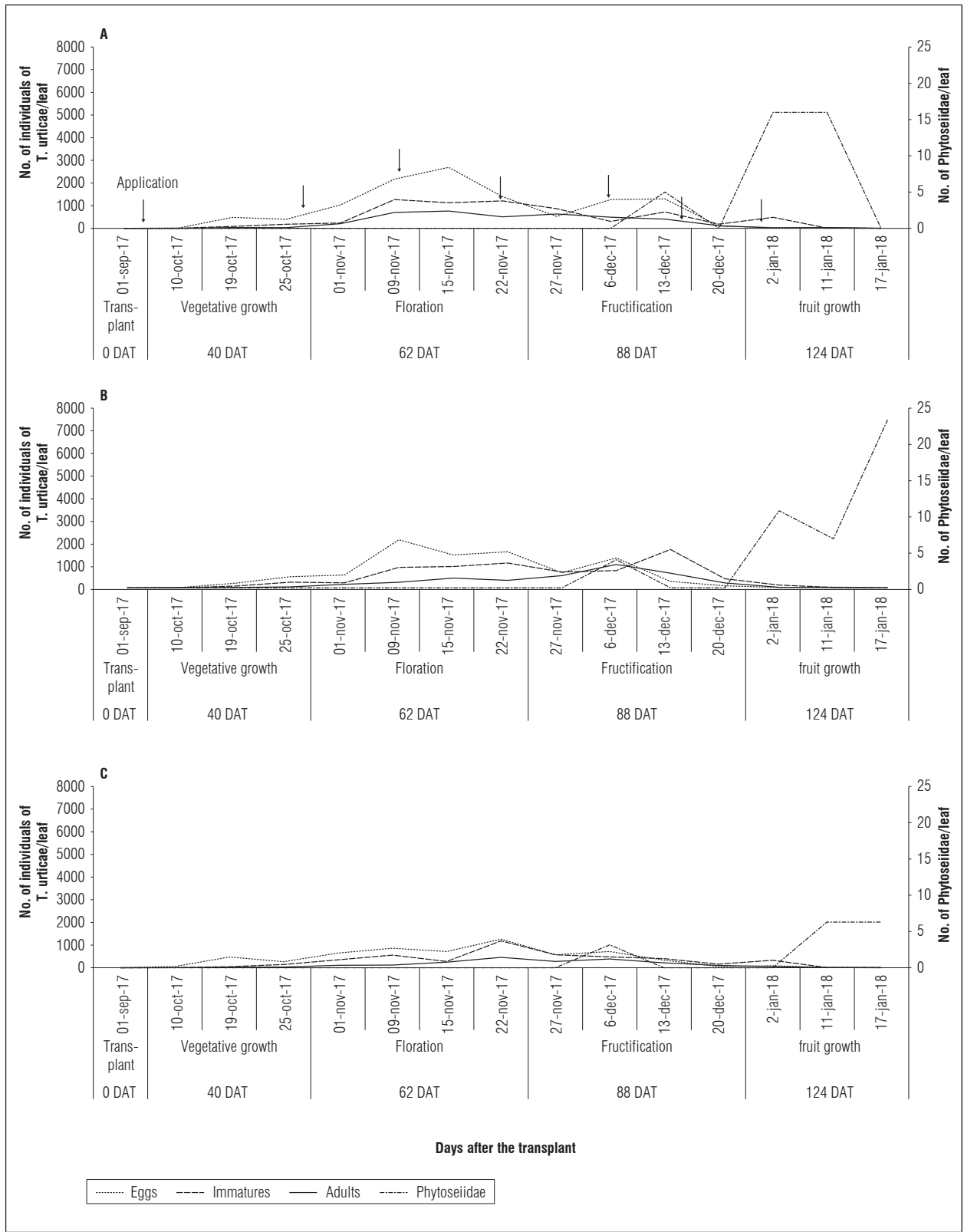
Treatment	Eggs	Immatures	Adults
Plant extract	11.446 a	6.701 b	3.939 b
Mineral oil	9.167 ba	7.431 b	3.813 b
Entomopathogenic fungus	5.779 bc	4.282 bc	1.917 bc
Chemical control	5.492 bc	3.458 bc	1.598 bc
Untreated	12.280 a	15.080 a	8.386 a
Farmer's practices	2.002 c	1.022 c	315 c

Means with different letters in column indicate a significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

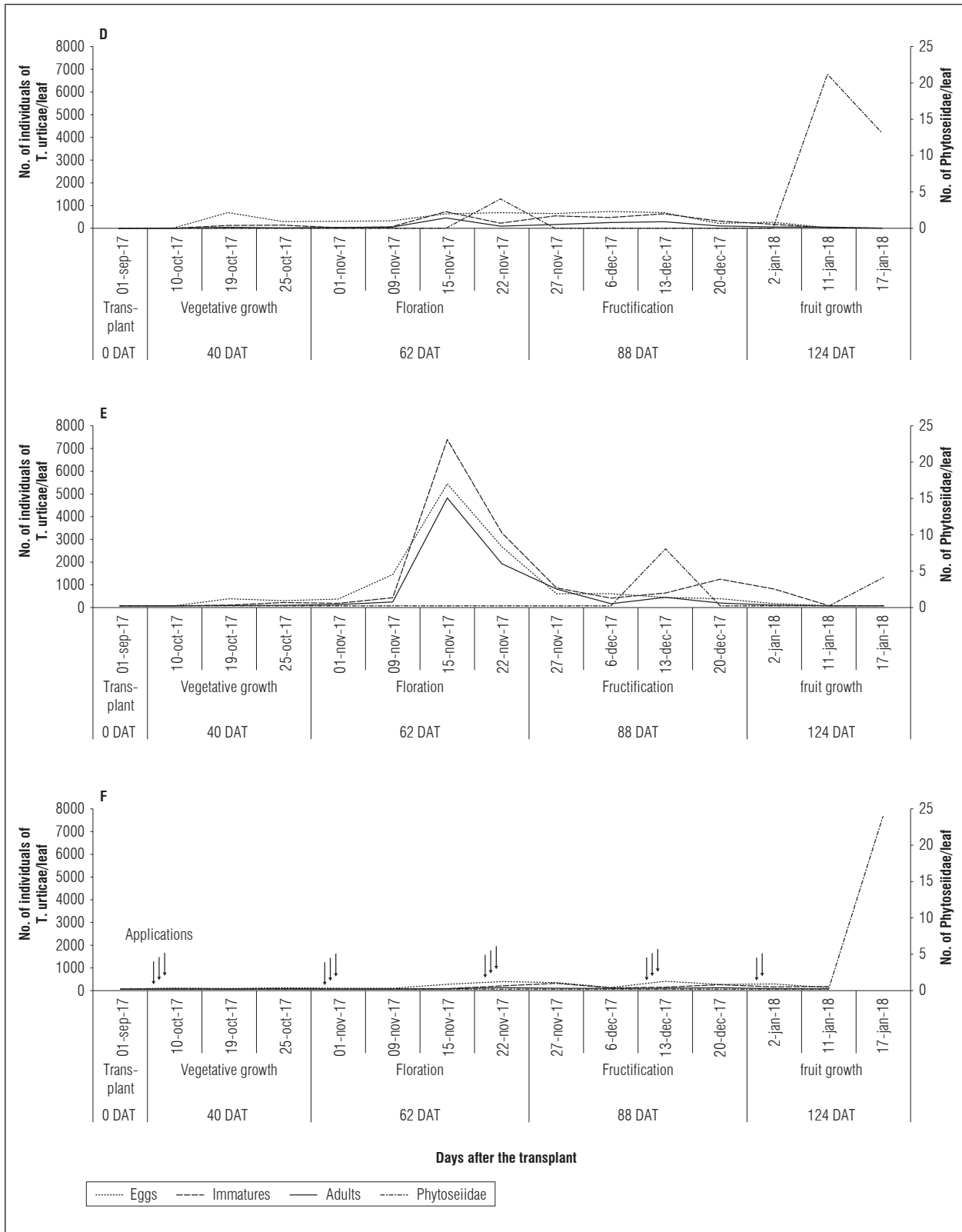
The immature state (larvae and nymphs) and the adult state of *T. urticae* showed the same tendency in the population levels per leaf, where plant extract, mineral oil, entomopathogenic fungus, chemical control and farmer's practices had a significant difference from the untreated; however, plant extract and mineral oil were significantly different from the farmer's practices, unlike entomopathogenic fungus and chemical control, which presented a number of immatures and adults per leaf, similar to farmer's practices, with no significant differences in their populations (Tab. 2).

Farmer's practices showed the lowest populations of immature and adult *T. urticae* eggs present throughout the papaya vegetative cycle (Fig. 1-F); entomopathogenic fungus and chemical control showed a low population of *T. urticae* (no significant difference), as compared to those found in farmer's practices (Fig. 1-C, D). In contrast, plant extract and mineral oil had a higher number of similar (non-significant) pest individuals than untreated (Fig. 1-A, B, E). In all treatments, an explosion in the *T. urticae* population occurred from 60 DAT, decreasing at 88 DAT, corresponding to the beginning of flowering and ending at the beginning of fruiting.

Entomopathogenic fungus (*I. fumosorosea*) and chemical control presented a delay in the increase of *T. urticae* populations, in which the pest individuals began to grow from 76 DAT, at half of the flowering. And decreased at 88 DAT (beginning of fruiting) (Fig. 1-C, D).



**Figure 1. Population fluctuation of *T. urticae* with management alternatives in *C. papaya* crop. A, plant extract; B, mineral oil; C, entomopathogenic fungus.**



Continuation **Figure 1. Population fluctuation of *T. urticae* with management alternatives in *C. papaya* crop. D, chemical control; E, untreated treatment; F, farmer's practices.**



The economic analysis of each control alternative for *T. urticae*, farmer's practices turned out to be the most expensive, where the cost of 14 applications/ha was approximately \$COL 6,930,000 compared to the other treatments where the cost of seven applications/ha was much cheaper (plant extract \$COL 1,687,000; mineral oil \$COL 1,568,000; entomopathogenic fungus \$COL 2,170,000; chemical control \$COL 4,060,000 and untreated \$COL 0) (Tab. 3).

By identifying the assemblages of mites of the Phytoseiidae family, we found the species *Euseius concordis* (Chant) and *Neoseiulus anonymus* (Chant and Baker), whose species were present throughout the experiment in low quantities that did not exceed the 25 mites per papaya leaf in all the evaluated treatments. Entomopathogenic fungus and untreated treatment had the lowest number of Phytoseiidae per leaf of papaya (4 and 5 respectively) compared to mineral oil and farmer's practices where the number of Phytoseiidae per leaf was the highest (25), however, no significant differences were found between treatments for this variable. It is important to note that at the beginning of fruit filling the number of predatory mites increased in all treatments exerting a natural control of *T. urticae* populations in papaya plants (Fig. 1-A, B, C, D, E, F).

### Yield of the Tainung-1 hybrid papaya

There was an uneven fruit ripening between treatments that varied between 171-220 DAT. There were no significant differences in the number of fruits per plant (Tab. 3), however, the number of fruits harvested per plant varied statistically in mineral oil, entomopathogenic fungus, chemical control and farmer's

practices with 13, 14, 16 and 14 fruits harvested per plant respectively, compared to untreated treatment where nine fruits were harvested per plant; in plant extract 12 fruits were harvested per plant, but did not show significant differences with untreated treatment. Significant differences were found in crop yield, where entomopathogenic fungus, chemical control and farmer's practices presented significant differences with respect to untreated treatment, obtaining the highest total fruit weights (25.1, 26.6 and 22.2 kg, respectively). Plant extract and mineral oil were statistically equal to untreated treatment for this variable (Tab. 3).

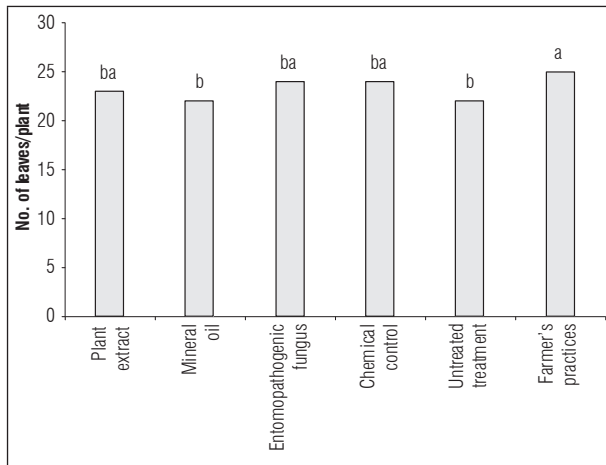
### Agronomic variables

Farmer's practices presented the highest number of leaves per plant (25), followed by plant extract, entomopathogenic fungus and chemical control, which presented 23, 24 and 24 leaves per plant, respectively. Mineral oil and untreated showed the lowest number of leaves per plant (22). The total number of leaves of each papaya plant did not show significant differences between plant extract, entomopathogenic fungus and chemical control and farmer's practices, except for mineral oil and untreated, which showed significant differences from farmer's practices (Fig. 2). The different evaluated treatments did not present significant differences for the infestation variable, except farmer's practices, which had significant differences from plant extract, mineral oil, entomopathogenic fungus, chemical control and untreated for this variable. The percentage of infestation in plant extract, mineral oil, entomopathogenic fungus, chemical control and untreated was found to be 81-84%, while farmer's practices had a 64% infestation (Fig. 3).

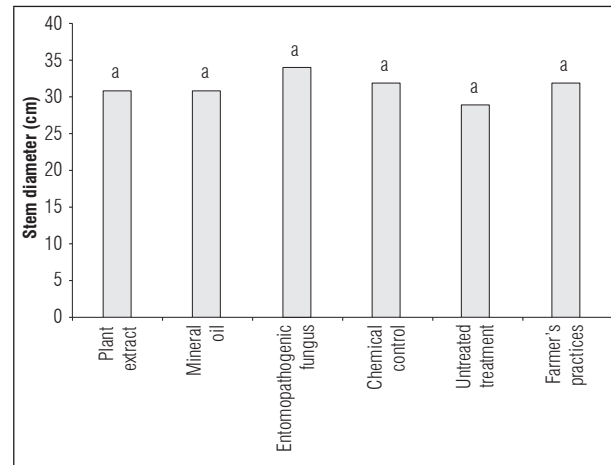
**Table 3. Papaya hybrid Tainung-1 yield per treatment.**

Treatment	Number of fruits per plant <sup>1</sup>	Number of harvested fruits <sup>2</sup>	Total fruit weight <sup>2</sup> (kg)	Applications cost (\$/ha)
Plant extract	19 ± 3.16 a	12 ± 1.53 bc	18.7 ± 3.16 bc	1,687,000
Mineral oil	19 ± 3.22 a	13 ± 1.71 ba	19.7 ± 3.33 bc	1,568,000
Entomopathogenic fungus	22 ± 3.66 a	14 ± 1.81 ba	25.1 ± 4.24 ba	2,170,000
Chemical control	22 ± 3.71 a	16 ± 2.03 a	26.6 ± 4.50 a	4,060,000
Untreated	16 ± 2.80 a	9 ± 1.16 c	14.8 ± 2.50 c	0
Farmer's practices	20 ± 3.33 a	14 ± 1.84 ba	22.2 ± 3.75 ba	6,930,000

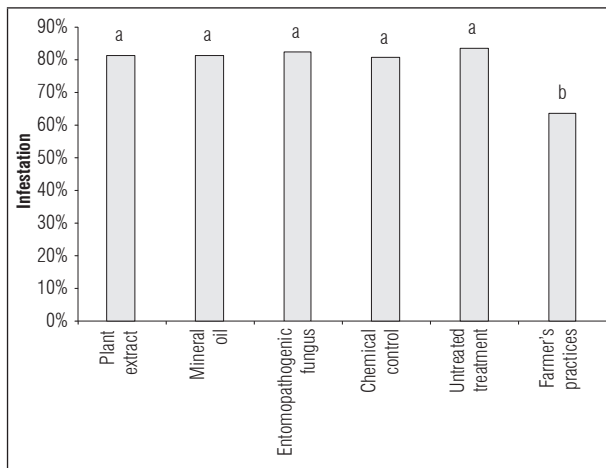
<sup>1</sup> Tukey test ( $P = 0.05$ ). Equal letters no they represent significant statistical differences. <sup>2</sup> Fisher's LSD test ( $P = 0.05$ ). Equal letters no they represent significant statistical differences. \* Yield at two months of harvest



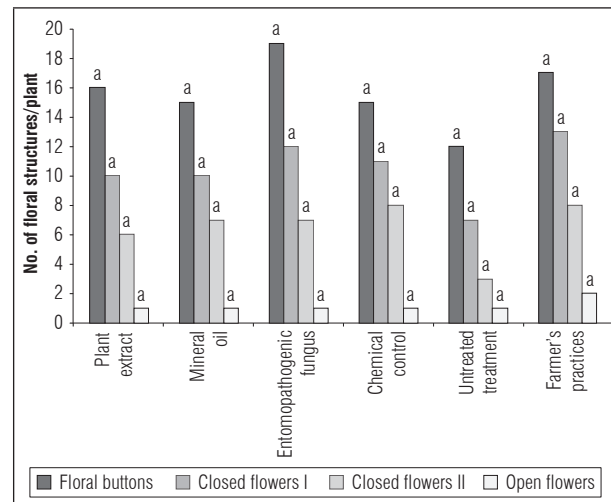
**Figure 2.** Number of leaves/plant in management alternatives for *T. urticae* in the *C. papaya* crop. Means with different letters indicate a significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).



**Figure 4.** Diameter of stem/plant in management alternatives for *T. urticae* in the *C. papaya* crop. Means with different letters indicate a significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).



**Figure 3.** Percentage of infestation (leaves infested by plant) in management alternatives for *T. urticae* in the *C. papaya* crop. Means with different letters indicate a significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

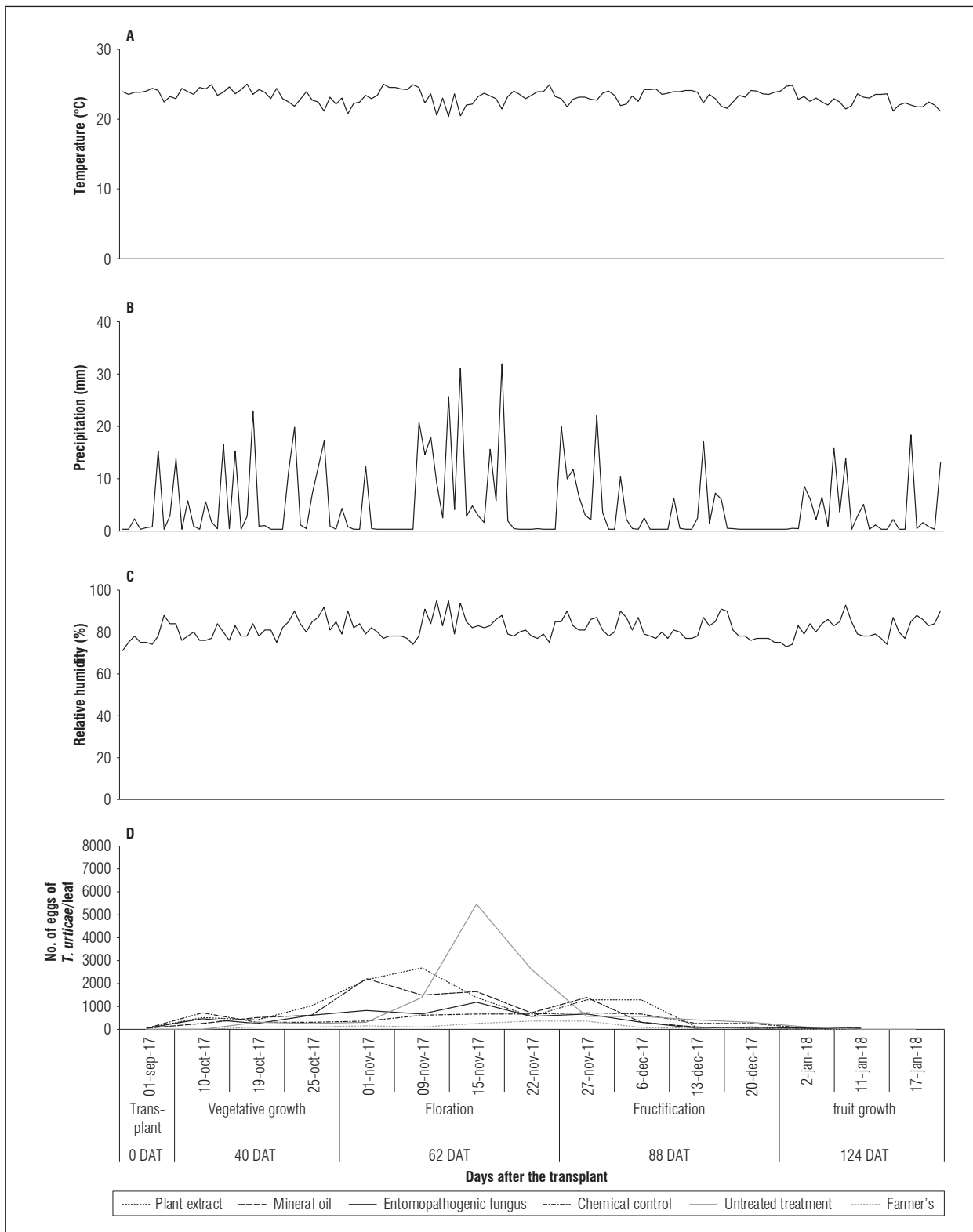


**Figure 5.** Number of floral structures/plant in management alternatives for *T. urticae* in the *C. papaya* crop. Means with different letters (between treatments) indicate a significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

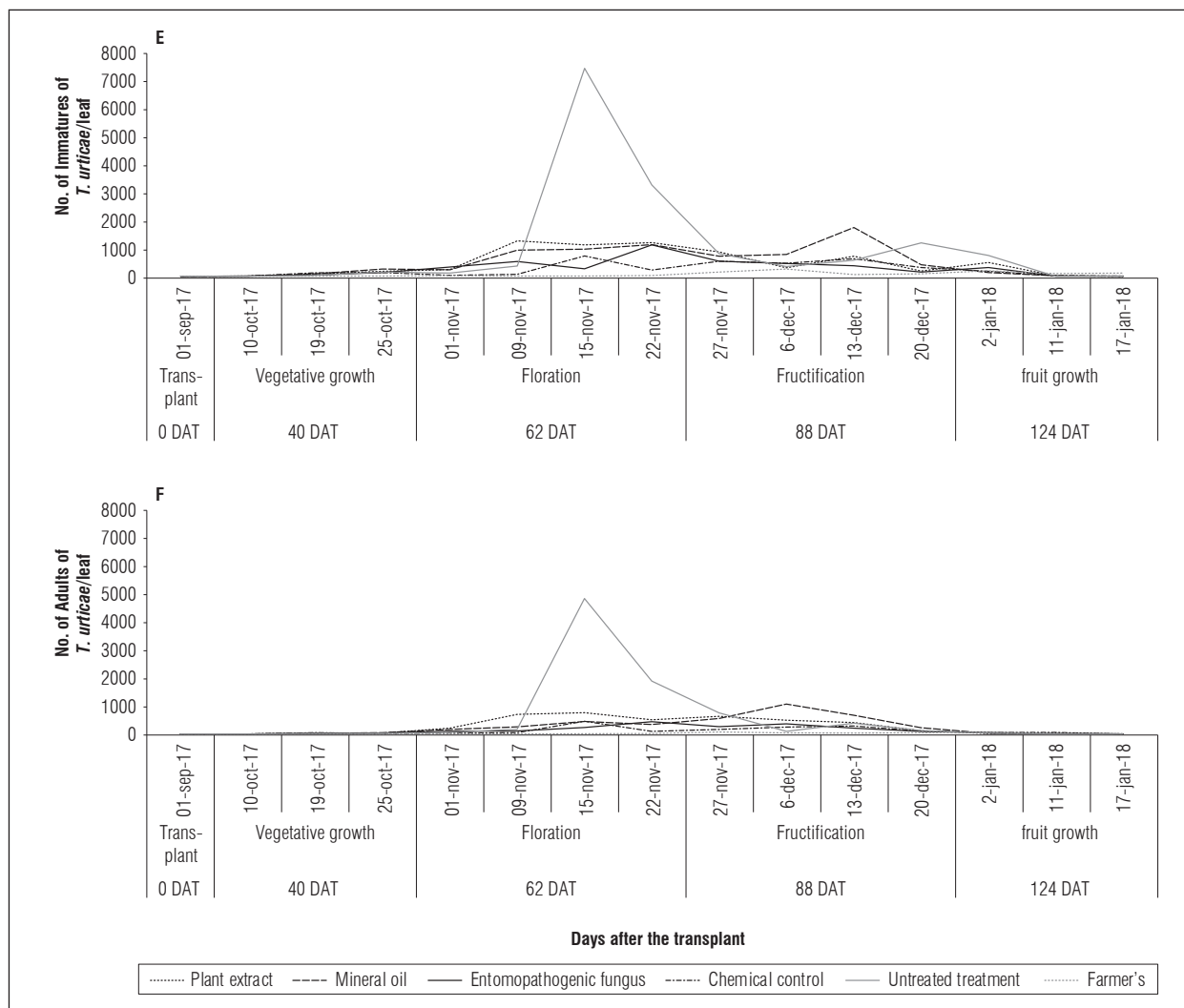
The variables stem diameter, number of floral structures (flower buds, closed flowers I, closed flowers II, and open flowers) and number of fruits per plant did not present significant differences in the evaluated treatments (Fig. 4 y 5).

There were high rainfall periods and high temperatures during the evaluation period of the study in the experimental lot that was 7.5 months (40-220 DAT) for the evaluated variables (number of leaves per plant, number of infested leaves per plant, number of floral structures per plant, number of fruits

per plant, diameter of the stem and population of *T. urticae* per leaf) plus 60 days after the beginning of harvest (220-280 DAT) to evaluate yield; however, no negative effects were found between the populations of *T. urticae* in its three stages of development (egg, immature, adult) with climatic conditions precipitation (probability of correlation: -0.33865) and relative humidity (PC: -0.02133), but with the temperature (PC: 0.29949) (Fig. 6), whose averages were the following: temperature 23.1°C, relative humidity 81.3% and a precipitation of 445.9 mm.



**Figure 6. Average population of *T. urticae* per leaf and climatic conditions.**



Continuation Figure 6. Average population of *T. urticae* per leaf and climatic conditions.

## DISCUSSION

In the department of Valle del Cauca, Colombia, the species *T. urticae* has been reported as a key pest in papaya cultivation because it is difficult to control and has a high reproduction rate, resulting in high amounts of mites per leaf and per plant (Gómez *et al.*, 2014; Mena *et al.*, 2017); the results found in this study coincide with the findings of other authors since, in this study, populations of up to 35,746 *T. urticae* individuals were seen per papaya leaf. The climatic conditions (temperature, precipitation, relative humidity) have generally been a determining factor in the populations of mites present in the crops; the temperature showed a positive correlation with the populations of *T. urticae*, however, in this study the

precipitation and relative humidity showed a negative correlation with the number of pest mites per leaf (Fig. 6), this could be due to the position of the mite in the leaf, since when located in the lower part (underside), this could significantly reduce the direct action of rain (drop impact), which is supported by Abato-Zárate *et al.* (2018) in their study of the population dynamics of the Tetranychidae mites associated with *C. papaya* in Mexico, where the climatic conditions did not have any influence on the population amounts of the arachnids.

In this study, the treatment with the best results was farmer's practices, where 14 applications of synthetic acaricides were used. However, performing 9 applications of the entomopathogenic fungus

(*I. fumosorosea*) and the chemical synthesis acaricides (spiromesifen, abamectin, fenazaquin) did not have a significant difference in the control of the three stages of development of *T. urticae* (egg, immature, adult) with respect to farmer's practices, which coincides with that found by (Shi and Feng, 2009) and (Sato, 2011), where the extracts used had a low percentage of *T. urticae* mortality, whereas the chemical synthesis products and the entomopathogenic fungus (*I. fumosorosea*) presented a positive control of this pest.

The results obtained in farmer's practices reflect the findings of Gómez *et al.* (2014) and Mena *et al.* (2017) for the chemical controls in the Department of Valle del Cauca, where 95% of the papaya producers use a large number of active ingredients of chemical synthesis to control *T. urticae* and the remaining 5% use other management alternatives (extracts and oils extracted from plants, entomopathogenic fungi) to control this pest.

While it is true that farmer's practices showed the lowest levels of individuals of *T. urticae* per leaf, the cost of 14 applications increased (\$COL 6,930,000/ha) compared to entomopathogenic fungus that showed no significant differences with farmer's practices and the cost of seven applications turned out to be less expensive (\$COL 2,170,000/ha) (Tab. 3), results that match those found by (Rodríguez, 2012) in "valencia" orange, where the use of entomopathogenic fungus controlled the statistics of white mite (*Polyphagotarsonemus latus* Banks) and the cost in applications/ha been much cheaper than chemical control. Hence the importance of this control alternative to be incorporated into an integrated management system of *T. urticae* that minimizes the costs of control, the impact on the environment and wildlife benefits and in the same way, satisfactory yields are obtained.

The untreated treatment had significant differences for the number of leaves per plant from the farmer's practices and, in view of the fact that leaves are responsible for synthesizing the carbohydrates that will be distributed to the different organs of the plant, it is evident that a decrease in crop will be seen when *T. urticae* mites cause leaf necrosis and defoliation (Constantinides and Mchugh, 2003); this coincides with that found in this study, where entomopathogenic fungus (*I. fumosorosea*) had a significant difference in yield from untreated, results that are similar to those found by Park and Lee (2005) in cucumber and by Mena *et al.* (2017) in the papaya hybrid Tainung-1,

where *T. urticae* mites directly affected the yield of these crops.

All evaluated treatments presented a significant difference for the infestation variable with respect to farmer's practices, results also found by Abato-Zárate *et al.* (2012) in the papaya "Maradol" variety, where a significant difference between treatments was observed for the variable number of mite pests per leaf. Regardless of the control alternative used on *T. urticae*, the variables stem diameter, number of floral structures per plant and number of fruits per plant were not compromised. These results are similar to those found by (Landeros *et al.*, 2009) and (Lema, 2013) in roses, where no significant differences were found in stem thickness or number of floral structures in plants infested with *T. urticae*.

## CONCLUSIONS

Entomopathogenic fungus (*I. fumosorosea*) significantly reduced *T. urticae* populations and had no significant differences from farmer's practices and chemical control.

Entomopathogenic fungus showed no significant differences in yield from farmer's practices.

The yield in untreated was reduced by about 45% in relation to entomopathogenic fungus, chemical control and farmer's practices.

Plant extract (garlic-chili extract) and mineral oil (complex of fatty acids) did not reduce populations of *T. urticae*, and the yields did not have significant differences from untreated.

The results obtained in this study suggest that this experiment should be replicated in more cycles of papaya production in order to obtain more precise results that would contribute to scientific strengthening of the management of this pest (*T. urticae*) with the aforementioned control alternatives; in addition, the effects of other extracts and oils of a botanical origin different from those used in the present investigation should be evaluated in order to obtain satisfactory results in the management of this pest mite in papaya cultivation.

**Conflict of interests:** this manuscript was prepared and reviewed with the participation of the authors, who declare that there exists no conflict of interest that puts at risk the validity of the presented results.

## BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Abato Z., M., J. Villanueva J., G. Otero C., C. Ávila R., and N. Reyes P. 2018. Dinámica poblacional de ácaros de las familias Tetranychidae y Phytoseiidae asociados al papayo (*Carica papaya*). *Acta Zool. Mex.*, 34(1). Doi: 10.21829/azm.2018.3411180
- Abato-Zárate, M., J.A. Villanueva-Jiménez, G. Otero-Colina, C. Ávila-Reséndiz., E. Hernández-Castro, and N. Reyes-Pérez. 2012. Biological efficacy and selectivity of acaricides in papaya (*Carica papaya* L.). *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 15(Suppl. 2), 118-125.
- Acuña, L.E., J.P. Agostini, and T.H. Haberle. 2005. Control químico del ácaro blanco *Polyphagotarsonemus latus* Banks. del mamón *Carica papaya* L. *Citrusmisiones* 30, 10-20.
- Afify, A.E.-M.M.R., F.S. Ali, and A.F. Turkey. 2012. Control of *Tetranychus urticae* Koch by extracts of three essential oils of chamomile, marjoram and *Eucalyptus*. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.* 2(1), 24-30. Doi: 10.1016/S2221-1691(11)60184-6
- Akhtar, Y., C.H. Rankin, and M.B. Isman. 2003. Decreased response to feeding deterrents following prolonged exposure in the larvae of a generalist herbivore, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Insect Behav.* 16(6), 811-831. Doi: 10.1023/B:JOIR.0000018322.45068.a9
- Amaya V., D., A. Barrera, A. Hilarión G., A. Bustos R., and F. Cantor R., 2008. Evaluación de la efectividad de dos hongos entomopatógenos y un extracto vegetal, para el control de *Tetranychus urticae*, en condiciones de laboratorio. *Rev. Fac. Cienc. Básicas* 4(1-2), 62-69. Doi: 10.18359/rfcb.2232
- Badawy, M.E.I., S.A.A. El-Arabi, and S.A.M. Abdelgaleil. 2010. Acaricidal and quantitative structure activity relationship of monoterpenes against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Exp. Appl. Acarol.* 52(3), 261-274. Doi: 10.1007/s10493-010-9363-y
- Constantinides, L.N. and J.J. Jr. Mchugh (eds.). 2003. Pest management strategic plan for banana production in Hawaii. Workshop Summary. University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii.
- Encina R., R.L., M.B. Ramírez de L., and C.D. Pino Q. 2011. Efecto de dos extractos acuosos de meliáceas sobre *Tetranychus* spp. (Acari: Tetranychidae) en condiciones de laboratorio. *Investig. Agrar.* 27(2), 195-199.
- Garcés G., C. 2016. Estudio de la eficacia de productos ecológicos en el control de *Tetranychus urticae* en el cultivo de cítricos. PhD thesis. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Spain.
- Gasca C., V.M., R. Barrientos M., and C. Chi N. 2011. Los plaguicidas y su impacto sobre la fauna silvestre de la Península de Yucatán. *Bioagrociencias* 4(2), 4-9.
- Gómez, E.D., N.C. Mesa, Y.M. Mena, L. Álvarez, C.A. Hernández, J.A. Salazar, K. Imbachi, O. Sánchez, H. Marulanda, M.L. Velasco, E.D. Henao, O.E. Sánchez, D. Vásquez, P. Ramos, S. Benítez, E.Y. Sánchez, R. López, E.I. Estrada, R. Reina, Y. García, C.A. Huertas, I. Rodríguez, G.M. Cobo, Y. Peteche, J. Piza, S. Rodríguez, E.P. Barinas, C. Vega, L.A. Londoño, R. Romero, and P.E. Gamboa. 2014. Programa de manejo fitosanitario en papaya en el Valle del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Grijalva S., P.T. and A.D. Tapia C. 2015. Evaluación de la actividad acaricida del aceite esencial de congona (*Peperomia inaequalifolia*). Undergraduate thesis. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- IRAC, Insecticide Resistance Action Committee. 2009. IRAC Susceptibility Test Methods Series, version 3 (June). In: <https://www.irac-online.org/documents/irac-test-methods-introduction-and-overview-v3/ξext=pdf>; consulted: May, 2018.
- Laborda, R., I. Manzano., M. Gamón., I. Gavidia., P. Pérez-Bermúdez, and R. Boluda. 2014. Estudio de la actividad biocida de aceites procedentes de plantas aromáticas sobre *Tetranychus urticae* y *Ceratitidis capitata*. *Agric. Ganad. Ecol.* 15, 28.
- Landeros, J., R. Flores, E. Cerna, M. Badii, L. Guevara, and Y. Ochoa. 2009. Efecto de diferentes densidades de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en algunos parámetros de calidad de rosas bajo condiciones de invernadero. *Folia Entomol. Mex.* 48(1), 21-28.
- Lema T., S.M. 2013. Control biológico de araña roja (*Tetranychus urticae*), en tres variedades de rosas (*rosa* sp.) de exportación a través de dos depredadores biológicos en la empresa Texas Flowers S.A. Undergraduate thesis. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Marques-Francovig, C.R., A.Y. Mikami, V. Dutra, M.G. Carvalho, B. Picareli, and M.U. Ventura. 2014. Organic fertilization and botanical insecticides to control two-spotted spider mite in strawberry. *Cienc. Rural* 44(11), 1908-1914. Doi: 10.1590/0103-8478cr20131575
- Mena, Y.M., N.C. Mesa, J. Salazar, L.M. Gonzales, and M.S. Pérez. 2017. Impacto causado por *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) al cultivo de papaya (*Carica papaya* L.). In: Resúmenes XLIV Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Bogotá.
- Padín, S.B., E.M. Ricci, C. Henning, S. Ré., J. Ringuelet, and E. Cerimele. 2007. Insecticidas botánicos para el control de *Myzus persicae* Sulz. (Hemiptera: Aphididae) en *Brassica oleracea* var. Capitata. *Bol. San. Veg. Plagas* 33(2), 187-185.
- Park, Y.L. and J.H. Lee. 2005. Impact of twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on growth and productivity of glasshouse cucumbers. *J. Econ. Entomol.* 98(2), 457-463. Doi: 10.1093/jee/98.2.457
- Ringuelet, J.A., M.I. Urrutia., R.M. Yordaz, and C.P. Henning. 2012. Actividad insecticida y repelente de aceites esenciales de laurel y lemongrass sobre *Bemisia tabaci*. *Bol. San. Veg. Plagas* 31(1900), 353-360.

- Rios, M.M., C.J. Marquez, and H.J. Ciro. 2005. Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (*Cariaca papaya* L.) en cuatro agentes edulcorantes. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín 58(2), 2989-3002.
- Rodríguez T., I.V. 2012. Identificación de ácaros que afectan cultivos de naranja valencia (*Citrus sinensis* L.) en el núcleo sur occidental de Colombia y establecimiento de dinámica de población y fenología de algunas especies de importancia económica. PhD thesis. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Sato, M.E., M.Z. Da Silva, A. Raga, K.G. Cangani, B. Veronez, and R.L. Nicastro. 2011. Spiromesifen toxicity to the spider mite *Tetranychus urticae* and selectivity to the predator *Neoseiulus californicus*. Phytoparasitica 39(5), 437.
- Shi, W.B. and M.G. Feng. 2009. Effect of fungal infection on reproductive potential and survival time of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). Exp. Appl. Acarol. 48(3), 229-237. Doi: 10.1007/s10493-009-9238-2
- Tello M., V., S.J. Chung, and R. Vargas M. 2014. Estudio preliminar del efecto acaricida de seis extractos metanólicos sobre la araña bimaculada, *Tetranychus urticae* Koch. Idesia 32(2), 37-45. Doi: 10.4067/S0718-34292014000200006
- Van Leeuwen, T., J. Vontas, A. Tsagkarakou, W. Dermauw, and L. Tirry. 2010. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: A review. Insect Biochem. Mol. Biol. 40(8), 563-572. Doi: 10.1016/j.ibmb.2010.05.008

# Enraizamento de estacas de cajazeira (*Spondias mombin* L.) em função da aplicação de reguladores vegetais

## Rooting of yellow mombin cuttings (*Spondias mombin* L.) as a function of the application of plant regulators



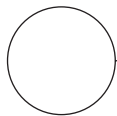
MÁRIO LENO MARTINS VÉRAS<sup>1, 4</sup>  
REJANE MARIA NUNES MENDONÇA<sup>2</sup>  
CHRISTIANE MENDES CASSIMIRO RAMIRES<sup>3</sup>  
VANDEILSON LEMOS DE ARAÚJO<sup>2</sup>  
LUCIMARA FERREIRA DE FIGUEREDO<sup>2</sup>  
LUNARA DE SOUSA ALVES<sup>2</sup>  
WALTER ESFRAIN PEREIRA<sup>2</sup>

**Acesso de cajazeira do Banco ativo de Germoplasma (BAG) na Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA), João Pessoa-PB.**

Foto: C.M.C. Ramires

### RESUMO

Até o momento não há cultivos comerciais de cajazeira no Brasil, sendo os frutos colhidos de plantas em cultivo extrativistas. Uma das causas disso é a falta de um protocolo de propagação desta espécie, pois a cajazeira apresenta baixo percentual de enraizamento de estacas. Sendo assim, técnicas que proporcionem o máximo enraizamento das estacas são de extrema relevância. O trabalho tem por objetivo avaliar o efeito do tratamento da planta matriz com zinco sobre o enraizamento de estacas de cajazeira tratadas com ácido indolbutírico. No experimento foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, com 9 tratamentos, em arranjo experimental com níveis pré-determinados para os fatores, pela matriz “Composto Central de Box” referente as concentrações de zinco (0; 5,8; 20; 34,2 e 40 mg L<sup>-1</sup>) e combinações com as concentrações de ácido indolbutírico (0; 872,35; 3.000; 5.127,65 e 6.000 mg L<sup>-1</sup>) com 4 repetições, onde cada unidade experimental foi constituída por 12 estacas. A aplicação de zinco em plantas matrizes de cajazeira não apresenta efeito sobre o enraizamento de estacas. A dose de 6.000 mg L<sup>-1</sup> de ácido indolbutírico proporciona um incremento nas brotações, estacas vivas com calo, no entanto, não influencia no enraizamento.



**Palavras-chave adicionais:** propagação vegetativa; ácido indolbutírico; zinco; frutas tropicais.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, Viçosa (Brasil). ORCID Véras, M.L.M.: 0000-0001-5968-4564

<sup>2</sup> Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, Centro de Ciências Agrárias, Areia (Brasil). ORCID Mendonça, R.M.N.: 0000-0002-2594-6607; ORCID Araújo, V.L.: 0000-0001-6641-9814; ORCID Figueredo, L.F.: 0000-0002-4372-9884; ORCID Alves, L.S.: 0000-0002-5049-7081; ORCID Pereira, W.E.: 0000-0003-1085-0191

<sup>3</sup> Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária, João Pessoa (Brasil). ORCID Ramires, C.M.C.: 0000-0002-0751-865X

<sup>4</sup> Corresponding author. [mario.veras1992@gmail.com](mailto:mario.veras1992@gmail.com)



## ABSTRACT

At the moment, there are no commercial yellow mombin crops in Brazil, where fruits are harvested from extractive crops. One reason for this is the lack of a propagation protocol for this species because the yellow mombin has a low rooting percentage for cuttings. Therefore, techniques that provide maximum rooting for cuttings are required. The objective of this study was to evaluate the effect of a matrix plant treatment with zinc on the rooting of yellow mombin cuttings treated with indolebutyric acid. In this experiment, a completely randomized design was used, with 9 treatments arranged with pre-determined levels for the factors with the matrix "Central Box Compound" for the zinc concentrations (0, 5.8, 20, 34.2 and 40 mg L<sup>-1</sup>) and combinations with the indolebutyric acid concentrations (0; 872.35; 3,000; 5,127.65 and 6,000 mg L<sup>-1</sup>), with 4 replicates, where each experiment unit consisted of 12 cuttings. The application of zinc in yellow mombin matrix plants had no effect on the rooting of cuttings. The 6,000 mg L<sup>-1</sup> indolebutyric acid dose provided an increase in sprouts and live cuttings with a callus; however, it did not influence the rooting.

**Additional key words:** vegetative propagation; indolebutyric acid; zinc; tropical fruits.

Data de recepção: 29-05-18 Aprovado para publicação: 30-11-2018

## INTRODUÇÃO

A cajazeira (*Spondia mombin* L.) é uma planta de clima tropical, pertencente ao gênero *Spondias* e a família das Anacardiáceas. No Brasil, está presente em todas as regiões, contudo, não há cultivos comerciais desta espécie (Araújo *et al.*, 2014). Os frutos da cajazeira são muito consumidos, em virtude de serem ricos em compostos bioativos, com alto potencial antioxidante, agregando valor a esses frutos (Silva *et al.*, 2012; Neves *et al.*, 2015).

Na propagação desta espécie, comumente o método mais adotado é a estaquia, visto que proporciona plantas homogêneas e produção precoce invés da propagação via semínifera que ocasiona germinação desuniforme e produção demorada. Contudo, assim como as demais espécies do *Spondias*, algumas plantas apresentam dificuldade de enraizamento, sendo esse obstáculo ocasionado na maioria das vezes pelo balanço hormonal da planta matriz (Costa *et al.*, 2015).

Para o enraizamento ocorrer, precisa-se de concentrações endógenas de auxina necessárias para estimular a formação de raízes (Meneguzzi *et al.*, 2015). A auxina está entre os hormônios vegetais mais importantes para o enraizamento de estacas, sendo o ácido indolbutírico (AIB) o mais conhecido e um dos mais eficientes e usados na propagação via estaquia, uma vez que é foto estável e imune à ação biológica (Figueiredo *et al.*, 2009; Alcantara *et al.*, 2010).

Alguns trabalhos com o uso de ácido indolbutírico na propagação via estaquia em *Spondias* tem mostrado

que as espécies desse gênero apresentam baixo enraizamento (Véras *et al.*, 2017; Véras *et al.*, 2018), a exemplo de Souza y Lima (2005), em cajazeira, utilizando ramos apicais para confecção das estacas e aplicação de concentrações de AIB, obtiveram 8,3 a 23,3% de estacas enraizadas. Paula *et al.* (2007) que observaram baixo percentual de enraizamento de estacas lenhosas e herbáceas de umbuzeiro e observaram percentual de 33,3% de estacas herbáceas enraizadas, com a aplicação da dose de 500 mg L<sup>-1</sup> de AIB imersas por 10 min. Rios *et al.* (2012) em umbuzeiro com estacas de 20 cm de comprimento, tratadas com AIB (6000 mg L<sup>-1</sup>) verificaram baixo percentual de enraizamento (33,33%).

Além disso, um fator extremamente relevante para o enraizamento é a nutrição da planta matriz, uma vez que o estado nutricional da planta determina as respostas morfo genéticas como a formação de raízes adventícias, bem como, a modulação do comprimento e densidade das mesmas. Sendo assim, é essencial que a planta matriz esteja em balanço nutricional adequado (Cunha *et al.*, 2009). Dentre os elementos minerais importantes para o enraizamento, o zinco é essencial, visto que participa da rota do triptofano, aminoácido precursor da auxina. Apesar disso há poucos estudos com o uso de zinco como cofator importante no enraizamento, podendo até mesmo substituir a utilização de auxinas sintéticas (Nicoloso *et al.*, 1999).

Em virtude da carência de estudos relacionados à propagação da cajazeira, além do baixo percentual de

enraizamento desta espécie o tratamento de planta matriz pode ser alternativa viável, para elevar o enraizamento. Neste sentido, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito do tratamento da planta matriz com zinco sobre o enraizamento de estacas de cajazeira tratadas com ácido indolbutírico.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de julho a novembro de 2016 no viveiro de Fruticultura, pertencente à Universidade Federal da Paraíba no município de Areia-PB, situada nas coordenadas geográficas 6°51'47" e 7°02'04" latitude Sul e longitude Oeste 35°34'13" e 35°48'28" do meridiano de Greenwich. Foram selecionados ramos lenhosos de plantas de cajazeira (*Spondias mombin* sp.), provenientes da estação experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMEP), João Pessoa-PB. As plantas matrizes de cajazeira foram obtidas de enxertia, com idade de 10 a 20 anos.

No ensaio utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com nove tratamentos, e níveis pré-determinados pela matriz "Composto Central de Box" referente as doses de zinco, combinadas com as doses de AIB, com quatro repetições, cada unidade experimental constituída por 12 estacas no total.

O tratamento com zinco foi formulado por meio do produto comercial (Maxizinc<sup>®</sup>, Agrichem), aplicado via pulverização nas plantas matrizes 7 d antes da retirada dos ramos. As doses de zinco correspondentes aos tratamentos (0; 5,8; 20; 34,2 e 40 mg L<sup>-1</sup>) foram diluídas conforme a indicação comercial do produto de 1.000 g L<sup>-1</sup> de zinco, encontrando-se a partir da mesma a dose específica para cada tratamento. O zinco foi diluído dentro de um pulverizador costal e aplicado na copa das plantas de umbuzeiro com volume aproximado de 4 L.

Sete dias após a aplicação do zinco, foram coletados ramos de cajazeira com 3 a 4 mm de diâmetro e aproximadamente 30 cm de comprimento, sendo acondicionados em papel umedecido, colocados em sacos plásticos e transportados para o Viveiro de Fruticultura na Universidade Federal da Paraíba, município de Areia-PB, Brasil. Estes foram levados para a câmara de nebulização onde realizou-se o corte das estacas, sendo a parte superior cortada reta e a basal cortada em bisel, ficando com 20 cm de comprimento (Véras *et al.*, 2017; Véras *et al.*, 2018b).

A solução hidroalcoólica do AIB foi preparada pela pesagem de 872,35 mg L<sup>-1</sup> de AIB e dissolvidos em 50 mL de álcool 96°, em um Becker. Após totalmente dissolvido, completou-se o volume para 1.000 mL, com água destilada, obtendo-se então a concentração de 872,35 mg L<sup>-1</sup> de AIB; sendo repetido esse mesmo procedimento para as demais doses utilizadas (0, 872.35, 3.000, 5.127,65 e 6.000 mg L<sup>-1</sup>).

Após o término do preparo, as estacas foram agrupadas, por repetição e tiveram 1,0 cm da base colocada na solução hormonal por 5 s, conforme cada tratamento. Posteriormente, realizou-se o plantio em tubetes com diâmetro interno de 26 mm e diâmetro externo de 33 mm e volume de 55 cm<sup>3</sup>, preenchidos com substrato formado de areia e composto orgânico, na proporção 1:1 (v/v); sendo submetido a 50% de luz solar em estufa sob nebulização, com abertura de 10 s e intervalos de 15 min.

Aos 90 d após a instalação do experimento foram avaliados: o percentual estacas brotadas, o comprimento das brotações, o diâmetro das brotações, o percentual de estacas enraizadas, o percentual de estacas vivas com e sem calo, o percentual de estacas mortas, o número de raízes por estaca, o comprimento da raiz, a massa seca das raízes, folha e a massa seca total.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ( $P \leq 0,05$ ). Para as variáveis com efeito da interação significativa foram ajustadas a superfície de resposta, e caso contrário foi feito a análise de regressão polinomial. As análises foram realizadas com o software estatístico SAS (Cody, 2015).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito significativo para o percentual de estacas brotadas, número de brotações, comprimento e diâmetro de brotações, percentual de estacas enraizadas, de estacas vivas com e sem calo, estacas mortas, comprimento da raiz, número de raízes, massa seca da raiz, folha e total quando relacionada às concentrações de zinco, apresentando valores médios de 41,48%; 1,18; 3,32 cm; 2,17 mm; 25,92%; 9,7%; 9,7%; 22,22%; 3,39 cm; 1,58 raízes; 2,99 g; 4,8 g e 12 g, respectivamente (dados não apresentados).

O percentual de estacas brotadas (Fig. 1A) se ajustou a equação linear com tendência decrescente, apresentando redução com o aumento das concentrações de AIB, onde o máximo estimado (61%) foi observado

sem aplicação de AIB ( $0 \text{ mg L}^{-1}$ ), evidenciando que a formação de brotações é afetado negativamente pelo ácido indolbutírico, além disso, o excesso de formação de brotações pode ocasionar efeito negativo em virtude do desvio de reservas para o enraizamento (Véras *et al.*, 2017; Véras *et al.*, 2018).

Para efeito das concentrações de ácido indolbutírico, constatou-se que o número de brotações (Fig. 1B), comprimento (Fig. 1C) e diâmetro de brotações (Fig. 1D) mostraram tendência quadrática com as concentrações de AIB, observando-se incrementos de 30,76% (Fig. 1B), 43,06% (Fig. 1C) e 3,83% (Fig. 1D) quando as estacas foram tratadas com  $6.000 \text{ mg L}^{-1}$  de AIB em comparação com o tratamento controle, respectivamente.

Esses resultados foram superiores aos observados por Lima *et al.* (2002) que trabalhando com estaquia em umbu-cajazeira (*Spondias* sp.), obtiveram 30% de estacas brotadas. Os estudos com tratamento em plantas matrizes com zinco são muito incipientes, além disso, são muito escassas as informações sobre tratamentos da planta matriz com zinco em *Spondias*.

Corroborando com os observados por Tosta *et al.* (2012) em estacas de cajaneira, onde constataram um aumento no número de brotações (2,9 brotações), à medida que se aumentou a concentração de AIB até  $3.500 \text{ mg L}^{-1}$ , com decréscimo posterior.

Em relação ao comprimento de brotações (Fig. 1C), os resultados supracitados corroboram com os apresentados por Tosta *et al.* (2012) que constataram um aumento no comprimento das brotações de cajaneira, à medida que se aumentou a concentração de AIB; no entanto obtiveram maior comprimento que o apresentado no presente ensaio, com valor máximo de 5,6 cm na concentração de  $3.045 \text{ mg L}^{-1}$  de AIB. Ao trabalharem com cajazeira, Gomes *et al.* (2005) constataram que o uso de AIB aumentou o comprimento das brotações das estacas.

Um dos aspectos negativos da formação de brotações é a redução que pode ocasionar no enraizamento, quando as reservas da estaca são utilizadas para esta finalidade, em detrimento do enraizamento. Porém, quando há tempo suficiente para que estas possam produzir auxinas e enviar para a base da estaca, num movimento basípeto, favorecem o enraizamento (Véras *et al.*, 2017; Véras *et al.*, 2018).

Observou-se que os percentuais de estacas vivas com calo (Fig. 1E) e estacas mortas (Fig. 1F) foram significativamente influenciados e, conforme as equações

de regressão observa-se haver resposta quadrática, sendo estimados os percentuais máximos de estacas vivas com calo (37,5%) e estacas mortas (56,25%) nas estacas sem AIB ( $0 \text{ mg L}^{-1}$ ), apresentando, a partir desta concentração tendência de decréscimo de 33,3% e 22,22% no percentual de estacas vivas com calo e estacas mortas, respectivamente, quando as estacas foram tratadas com maior a concentração de AIB ( $6.000 \text{ mg L}^{-1}$ ) comparado com as estacas sob  $0 \text{ mg L}^{-1}$  de AIB.

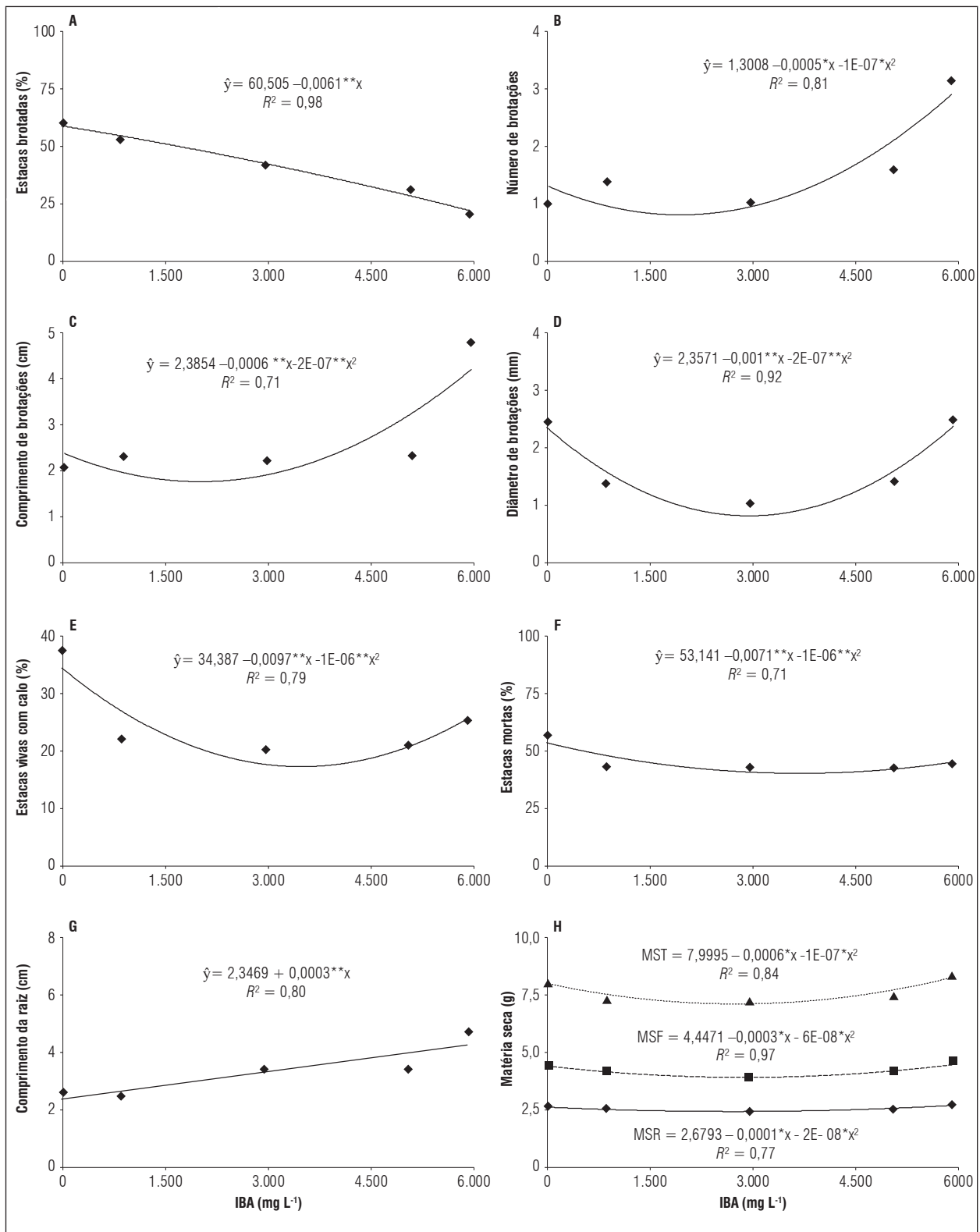
Em amoreira preta, Yamamoto *et al.* (2013) não verificaram diferença significativa para o percentual de estacas enraizadas quando as estacas foram tratadas com AIB. Nacata *et al.* (2014), em estacas de caramboleira, constataram que a porcentagem enraizamento, de calejamento e de sobrevivência, apresentaram diferença significativa, na qual a concentração de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de AIB apresentou os melhores resultados para estas variáveis.

Sabião *et al.* (2011), em *Passiflora nitida* observaram que a porcentagem de sobrevivência de estacas não diferiram significativamente quando foi aplicado o AIB, contudo, a concentração máxima ( $5.000 \text{ mg L}^{-1}$ ) apresentou valores superiores (87,69% de sobrevivência). Enquanto que para a porcentagem de enraizamento constataram que houve diferença significativa, obtendo 87,69% de enraizamento na concentração de  $5.000 \text{ mg L}^{-1}$ .

Em outros trabalhos diversos autores também não obtiveram resultados significativos com a aplicação de AIB sobre a sobrevivência das estacas, em estacas de hibisco (Souza *et al.*, 2015), umbuzeiro (Véras *et al.*, 2018a; Véras *et al.*, 2018b) e umbu cajazeira (Véras *et al.*, 2018c). Gomes *et al.* (2005) também não constataram efeito significativo das doses de AIB no enraizamento de estacas de umbu-cajazeira.

O uso da estaquia depende da habilidade de formação de raízes de cada espécie e/ou cultivar, além disso, a qualidade do sistema radicular é um aspecto muito importante, uma vez que a baixa qualidade do sistema radicular desfavorecerá as mudas quando forem plantadas. Outrossim, a aplicação de auxina exógena como estratégia de favorecer o enraizamento também depende da espécie ou cultivar e da concentração de auxina existente no tecido. Sendo assim, a quantidade que deve ser utilizada varia conforme espécie, populações ou clones (Peña *et al.*, 2012).

Um dos fatores que pode ter influenciado na não significância é o balanço hormonal endógeno, já que



**Figura 1.** Percentual de estacas brotadas (A), número de brotações por estacas (B), comprimento de brotações (C), diâmetro de brotações (D), estacas mortas (E) e número de raízes por estaca (D) de umbu-cajazeira em função do tratamento com doses de AIB. Massa seca da raiz (MSR), folha (MSF) e total (MST). \* significativa  $P < 0,05$ ; \*\* significativa  $P < 0,01$ .

para ocorrer o enraizamento é preciso que haja equilíbrio nos teores endógenos de auxinas, giberelinas e citocininas, além disso, a concentração exógena dos reguladores vegetais é de extrema relevância, podendo favorecer ou não o enraizamento, o que pode não ter ocorrido no referido trabalho em virtude da temperatura, já que apresenta grande importância nas funções de regulação do metabolismo das plantas, afetando de forma positiva ou negativa o enraizamento (Cunha *et al.*, 2009).

No presente experimento, devido da coleta das estacas ter sido feito no inverno, pode ter ocorrido dormência da planta, já que nesse período as plantas estão se preparando para entrar em dormência (Marangon *et al.*, 2013). O enraizamento é influenciado pela duração 2 d, uma vez que dias curtos associados às baixas temperaturas afetam negativamente nos processos de translocação de compostos e fotossíntese em virtude da inibição do ingresso de fosfatos nos cloroplastos das árvores matrizes, conseqüentemente, prejudicando o processo de enraizamento do material coletado nessas estações (Lawson *et al.*, 2012).

Semelhante ao observado para o percentual de estacas vivas com calo e estacas mortas, o comprimento da raiz também foi significativamente afetado pelo aumento das concentrações de AIB observando-se, a partir da equação de regressão (Fig. 1G) comportamento linear, sendo obtido o comprimento máximo (4,7 cm) nas estacas tratadas com a concentração máxima (6.000 mg L<sup>-1</sup>). Ao confrontar os dados obtidos nas estacas que foram tratadas com 6.000 mg L<sup>-1</sup> em relação às que estavam sob 0 mg L<sup>-1</sup> de AIB, constatase incremento de 54,46% no comprimento da raiz.

Estes valores são superiores aos observados por Rios *et al.* (2012), ao constatarem que o maior número de raiz foi de uma raiz por estaca de umbuzeiro, na concentração de 6000 mg L<sup>-1</sup> de AIB. Os valores obtidos por Tosta *et al.* (2012) foram superiores aos encontrados neste trabalho ao verificarem máximo de 3,8 raízes por estaca de cajaraneira, na concentração máxima de 8545 mg L<sup>-1</sup> de AIB.

Yamamoto *et al.* (2013) também não verificaram diferença significativa para o comprimento e número de raízes por estaca quando as estacas de amoreira preta Xavante foram tratadas com AIB. Nacata *et al.* (2014), observaram em estacas de caramboleira, que a concentração de 5.000 mg L<sup>-1</sup> influenciou positivamente o comprimento da raiz, enquanto que para o número de raízes a concentração de 100 mg L<sup>-1</sup> apresentou os

melhores resultados. Sabião *et al.* (2011), em *Passiflora nitida* observaram que o comprimento e o número de raízes diferiram significativamente com o aumento das concentrações de AIB, obtendo os melhores resultados na concentração de 5.000 mg L<sup>-1</sup>, com os valores de 24,14 e 3,70, respectivamente.

Um dos parâmetros mais importantes para a qualidade das mudas é o comprimento das raízes e o número de raízes por estaca, uma vez que após a retirada das mudas da câmara de nebulização intermitente e levadas a campo um bom sistema radicular garante a sobrevivência das mesmas (Feldberg *et al.*, 2010). Sendo assim, o uso de AIB é de extrema relevância, pois possibilita a rizogênese bem como induz a formação de um sistema radicular de qualidade, contudo, sua atuação varia conforme a espécie e a cultivar, podendo ainda estimular ou não o enraizamento, em virtude das concentrações endógenas de promotores (auxinas) e inibidores de enraizamento (Chagas *et al.*, 2008; Bastos *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2010).

Os valores observados são superiores aos obtidos por Tosta *et al.* (2012) ao verificarem que o comprimento da raiz das estacas de cajaraneira aumentou até 1.295,2 mg L<sup>-1</sup> de AIB, sendo observado valor de 5,0 cm, contudo, doses superiores promoveram decréscimo para esta variável.

Para o fator concentrações de AIB, o modelo de regressão no qual os dados obtiveram o melhor ajuste em termos de massa seca da raiz, folha e total foi o quadrático (Fig. 1H) constatando-se, na equação de regressão que o incremento nas concentrações de AIB proporcionaram um aumento na produção de massa seca, obtendo na concentração máxima (6.000 mg L<sup>-1</sup>) os valores máximos em massa seca da raiz (2,78 g), folha (4,54 g) e total (8,39 g).

Yamamoto *et al.* (2013) também não verificaram diferença significativa para o massa seca da raiz de estacas de amoreira preta Xavante foram tratadas com AIB. Para melhor desenvolvimento das mudas em campo, a maior massa de raízes influencia diretamente o desenvolvimento da muda, em virtude da maior capacidade de absorção de água e nutrientes (Santoro *et al.*, 2010).

## CONCLUSÃO

A aplicação de zinco em plantas matrizes de cajazeira não apresenta efeito sobre o enraizamento de estacas.

A dose de 6.000 mg L<sup>-1</sup> de ácido indolbutírico proporciona um incremento nas brotações, estacas vivas com calo, no entanto, não influencia no enraizamento.

**Conflito de interesses:** o manuscrito foi preparado e revisado com a participação de todos os autores, que declaram não ter qualquer conflito de interesses que possa afetar a validade dos resultados do trabalho apresentado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcantara, G.B., Y. Oliveira, D.M. Lima, L.A. Fogaça, F. Pinto e L.A. Biasi. 2010. Efeito dos ácidos naftaleno acético e indolilbutírico no enraizamento de estacas de jambolão [*Syzygium cumini* (L.) Skeels]. Rev. Bras. Plantas Med. 12(3), 317-321. Doi: 10.1590/S1516-05722010000300009
- Araújo, A.A.R., P.R.R. Silva, R.B. Querino, E.P.S. Sousa e L.L. Soares. 2014. Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) associadas às frutíferas nativas de *Spondias* spp. (Anacardiaceae) e *Ximenia americana* L. (Olacaceae) e seus parasitoides no Estado do Piauí, Brasil. Semina: Ciênc. Agrár. 35(4), 1739-1750. Doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n4p1739.
- Bastos, D.C., J.A. Scarpore Filho, M.N. Libardi e R. Pio. 2009. Estiolamento, incisão na base da estaca e uso do ácido indolbutírico na propagação da caramboleira por estacas lenhosas. Ciênc. Agrotec. 33(1), 313-318. Doi: 10.1590/S1413-70542009000100043
- Chagas, E.A., R. Pio, J.E. Bettiol Neto, G.D.R. Sobierajski, E.A. Campo Dall'Orto, e G. Signorini. 2008. Enraizamento de estacas lenhosas de pessegueiro e clones de umezeiros submetidos à aplicação de AIB. Ciênc. Agrotec. 32(3), 986-991. Doi: 10.1590/S1413-70542008000300043
- Cody, R. 2015. An introduction to SAS university edition. SAS Institute, Cary, NC.
- Costa, E.M., A. Loss, H.P.N. Pereira e J.F. Almeida. 2015. Enraizamento de estacas de *Bougainvillea spectabilis* Willd. com o uso de ácido indolbutírico. Acta Agron. 64(3), 221-226. Doi: 10.15446/acag.v64n3.42970
- Cunha, A.C.M.M., H.N. Paiva, A. Xavier e W.C. Otoni. 2009. Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. Pesq. Flor. Bras. (58), 35-47. Doi: <https://doi.org/10.4336/2009.pfb.58.35>
- Feldberg, N.P., W. Barbosa, N.A. Mayer e F.M.C. Santos. 2010. Propagação vegetativa de porta-enxertos de pereira por estacas semi-lenhosas. Rev. Ceres 57(6), 810-816. Doi: 10.1590/S0034-737X2010000600017
- Figueiredo, L.S., F.P.G. Bonfim, E.O. Ferraz, C.E. Castro, M.F. Souza e E.R. Martins. 2009. Influência do ácido indolbutírico no enraizamento de alecrim-pimenta (*Lippia sidoides*) em leito com umidade controlada. Rev. Bras. Plantas Med. 11(1), 33-36. Doi: 10.1590/S1516-05722009000100006
- Gomes, W.A., M.A. Estrela, R.M.N. Mendonça, S.M. Silva, A.P. Souza, e R.E. Alves, 2005. Enraizamento de estacas de umbucajazeira (*Spondias* spp.). Proc. Interamer. Soc. Trop. Hortic. 47(1), 231- 233.
- Lawson, T., D.M. Kramer e C.A. Raines. 2012. Improving yield by exploiting mechanisms underlying natural variation of photosynthesis. Curr. Opin. Biotechnol. 23(2), 215-220. Doi: 10.1016/j.copbio.2011.12.012
- Lima, A.K.C., L.P. Rezende, F.A.A. Camara e G.H.S. Nunes. 2002. Propagação de cajarana (*Spondias* sp.) e cirigüela (*Spondias Purpurea*) por meio de estacas verdes enfolhadas, nas condições climáticas de Mossoró-RN. Caatinga 15(1/2), 33-38.
- Marangon, M.A. e L.A. Biasi. 2013. Estaquia de mirtilo nas estações do ano com ácido indolbutírico e aquecimento do substrato. Pesq. Agropec. Bras. 48(1), 25-32. Doi: 10.1590/S0100-204X2013000100004
- Meneguzzi, A., M.C. Navroski, Q.C. Lovatel, F.T. Marco, M.O. Pereira e E.L. Tonett. 2015. Ácido indolacético influencia no enraizamento de estacas de *Pittosporum tobira*. Rev. Ciênc. Agrovet. 14(1), 24-28.
- Nacata, G., R.A.D. Andrade, S.P. Jasper e R.S. Prata. 2014. Propagação de variedades de caramboleira por estaquia herbácea. Rev. Bras. Frutic. 36(1), 248-253. Doi: 10.1590/0100-2945-237/13
- Neves, L.C., J.M. Tosin, R.M. Benedette e L. Cisneros-Zevallos. 2015. Post-harvest nutraceutical behaviour during ripening and senescence of 8 highly perishable fruit species from the Northern Brazilian Amazon region. Food Chem. 174, 188-196. Doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.111
- Nicoloso, F.T., M. Lazzari e R.P. Fortunato. 1999. Propagação Vegetativa de *Platanus acerifolia* Ait: (II) Efeito da aplicação de zinco, boro e ácido indolbutírico no enraizamento de estacas. Cienc. Rural 29(3), 487-492. Doi: 10.1590/S0103-84781999000300018
- Oliveira, M.C., J.V. Neto, R. Pio, A.F. Oliveira e J.D. Ramos. 2010. Enraizamento de estacas de oliveira submetidas a aplicação de fertilizantes orgânicos e AIB. Ciênc. Agrotec. 34(2), 337-344. Doi: 10.1590/S1413-70542010000200010
- Paula, L.A., A.C. Boliani, L.S. Corrêa e M.I.B. Celoto. 2007. Efeito do ácido indolbutírico e raizon no enraizamento de estacas herbáceas e lenhosas de umbuzeiro. Acta Sci. Agron. 29(3), 411-414. Doi: 10.4025/actasciagron.v29i3.468
- Peña, M.L., C. Gubert, M.C. Tagliani, P.M.C. Bueno e L.A. Biasi. 2012. Concentrações e formas de aplicação do ácido indolbutírico na propagação por estaquia dos mirtilheiros cvs. Flórida e Clímax. Semina: Ciênc. Agrár. 33(1), 57-64. Doi: 10.5433/1679-0359.2012v33n1p57

- Rios, E.S., M.C. Pereira, L.S. Santos, T.C. Souza e V.G. Ribeiro. 2012. Concentrações de ácido indolbutírico, comprimento e época de coleta de estacas, na propagação de umbuzeiro. *Rev. Caatinga* 25(1), 52-57.
- Sabião, R.R., A.C.C. Silva, A.B.G. Martins e E.R. Cardoso. 2011. Enraizamento de estacas de *Passiflora nitida* submetidas a diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB). *Rev. Bras. Frutic.* 33(No. Spe. 1), 654-657. Doi: 10.1590/S0100-29452011000500091
- Santoro, P.H., A.Y. Mikami, S.G.H. Souza e S.R. Roberto. 2010. Influência de folhas e lesões na base de estacas herbáceas no enraizamento de goiabeira da seleção 8501-9. *Semina: Ciênc. Agrár.* 31(2), 289-294. Doi: 10.5433/1679-0359.2010v31n2p289
- Silva, F.V.G., S.M. Silva, G.C. Silva, R.M.N. Mendonça, R.E. Alves e A.L. Dantas. 2012. Bioactive compounds and antioxidant activity in fruits of clone and ungrafted genotypes of yellow mombin tree. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 32(4), 685-691. Doi: 10.1590/S0101-20612012005000101
- Souza, F.X. e R.N. Lima. 2005. Enraizamento de estacas de diferentes matrizes de cajazeira tratadas com ácido indolbutírico. *Rev. Ciênc. Agron.* 36(2), 189-194.
- Souza, R.R., M.Z.B. Cavalcante, M.P.D. Lima, T.F. Alexandre e R.T. Nascimento, 2015. Propagação vegetativa de hibisco com diferentes tipos de estacas e concentrações de ácido indolbutírico. *Comun. Sci.* 6(3), 291-296. Doi: 10.14295/cs.v6i3.679
- Tosta, M.S., C.V.F. Oliveira, R.M.O. Freitas, V.C.N. Porto, N.W. Nogueira e P.A.F. Tosta. 2012. Ácido indolbutírico na propagação vegetativa de cajaraneira (*Spondias* sp.). *Semina: Ciênc. Agrár.* 33(Supl. 1), 2727-2740. Doi: 10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2727
- Véras, M.L.M., R.M.N. Mendonça, C.M.C. Ramires, S.M. Silva e W.E. Pereira. 2017. Effect of ethephon and indolebutyric acid on yellow mombin propagation via cutting. *Pesqui. Agropecu. Trop.* 47(4), 416-423. Doi: 10.1590/1983-40632017v4749515
- Véras, M.L.M., R.M.N. Mendonça, S.M. Silva, L.F. Figueiredo, V.L. Araujo, W.E. Pereira, J.S.M. Filho e R. Andrade. 2018a. Propagation of umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.), a native plant to Brazilian semi-arid regions, using ethephon and indolebutyric acid (IBA). *Aust. J. Crop Sci.* 12(4), 602-609. Doi: 10.21475/ajcs.18.12.04.pne888
- Véras, M.L.M., R.M.N. Mendonça, L.F. Figueredo, V.L. Araújo, J.S. Melo Filho e W.E. Pereira. 2018b. Enraizamento de estacas de umbuzeiro potencializado pela aplicação de ácido indol-3-butírico (AIB). *Rev. Bras. Ciênc. Agr.* 13(3), 1-9. Doi: 10.5039/agraria.v13i3a5541
- Véras, M.L.M., R. Andrade, L.F. Figueredo, V.L. Araújo, J.S. Melo Filho, R.M.N. Mendonça e W.E. Pereira, 2018c. Uso de reguladores vegetais na propagação via estquia de umbu-cajazeira. *Rev. Ciênc. Agr.* 41(3), 161-170. Doi: 10.19084/RCA17153
- Yamamoto, L.Y., R. Koyama, W.F.S. Borges, L.E.C. Antunes, A.M. Assis e S.R. Roberto. 2013. Substratos no enraizamento de estacas herbáceas de amora-preta Xavante. *Ciênc. Rural* 43(1), 15-20. Doi: 10.1590/S0103-84782012005000135

# Abiotic stress caused by foliar applications of boron to the yellow diploid potato (*Solanum tuberosum*, Group Phureja) cultivar Criolla Galeras

Estrés abiótico causado por aplicaciones foliares de boro en papa amarilla diploide (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja) cultivar Criolla Galeras



MANUEL IVÁN GÓMEZ<sup>1, 3</sup>  
HERMANN RESTREPO<sup>1</sup>  
LUIS ERNESTO RODRÍGUEZ<sup>1</sup>  
STANISLAV MAGNITSKIY<sup>1</sup>  
LADY MANRIQUE<sup>2</sup>  
ALFONSO GARZÓN<sup>2</sup>

**Toxicity symptoms of boron in the yellow diploid potato cultivar Criolla Galeras.**

Photo: M.I. Gómez

## ABSTRACT

Foliar applications of boron (B) constitute a frequent practice in the fertilization of the yellow diploid potato and are generally done with excessive and empirical doses generating toxicities in crops. The effect of foliar applications of B at doses of 0, 0.5, 1.2, or 4 kg ha<sup>-1</sup> was determined for physiological and metabolic variables and toxicity symptoms in the yellow diploid potato cultivar Criolla Galeras under greenhouse conditions using Na octaborate (20.5% B, 11% Na) or boric acid (17.5% B) as sources of B. Significant differences ( $P < 0.05$ ) were found between the sources and doses for dry matter (DW), leaf area (LA), proline content, and electrolyte leakage (ECh). The highest toxicity was observed for B applied as sodium octaborate at concentrations of 2 and 4 kg ha<sup>-1</sup> B with a reduction of DM up to 40%, a decrease of LA up to 90%, a loss of 60% in ECh, and a significant increase in the concentration of proline (65  $\mu\text{mol/g}$  fresh weight). The lower toxicity of boric acid at doses higher than 2 kg ha<sup>-1</sup> B indicated that the octaborate Na presented synergism with B, which can result in a greater oxidative stress, causing instability of the membranes, necrosis and premature tissue death, as evidenced in the description of the visual symptoms. The doses of 0.5 and 1.0 kg ha<sup>-1</sup> B for both sources resulted in positive responses in the DW and non-significant ( $P < 0.05$ ) differences with the control, associated with the levels of proline and ECh, which indicated a narrow range between the deficiency and

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, Facultad Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Bogota (Colombia). ORCID Gómez, M.I.: 0000-0002-1469-7676; ORCID Restrepo, H.: 0000-0002-1838-5872; ORCID Rodríguez, L.E.: 0000-0002-9058-8404; ORCID Magnitskiy, S.: 0000-0002-3715-1932

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia, Facultad Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Programa de Ingeniería Agronómica, Bogota (Colombia). ORCID Manrique, L.: 0000-0001-8927-235X; ORCID Garzón, A.: 0000-0001-7602-0620

<sup>3</sup> Corresponding author. [igomez@unal.edu.co](mailto:igomez@unal.edu.co)



toxicity of B for cv. Criolla Galeras, where the effect of the accompanying ion must be considered in the selection of the boron source.

**Additional key words:** sodium borate; boric acid; fertilizer induced injury; boron toxicity; oxidative stress; proline.

## RESUMEN

La aplicación foliar de boro (B) es una práctica frecuente en el manejo de la fertilización en papa amarilla diploide, generalmente, se realiza de manera excesiva y empírica generando toxicidades en el cultivo. Se determinó bajo condiciones de invernadero el efecto de la aplicación foliar de B en dosis de 0; 0,5; 1,2 y 4,0 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando como fuentes octaborato de Na (20,5% B, 11% Na) o ácido bórico (17,5% B), sobre variables fisiológicas, metabólicas y síntomas de toxicidad en papa amarilla diploide cultivar Criolla Galeras. Se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre fuentes y dosis para materia seca (MS), área foliar (AF), contenido de prolina y pérdida de electrolitos (CEh). Se observó una mayor toxicidad por B cuando se aplicó octaborato de sodio en concentraciones de 2 y 4 kg ha<sup>-1</sup> B con un detrimento para MS hasta del 40%, disminución del AF hasta del 90%, pérdida del 60% de CEh e incremento significativo en la concentración de prolina (65  $\mu\text{mol/g}$  de peso fresco). La mayor toxicidad de ácido bórico a dosis mayores a 2 kg ha<sup>-1</sup> B indicó que el Na proveniente de la fuente de octaborato creó un sinergismo con el B, lo cual puede incidir en un mayor estrés oxidativo, causando inestabilidad de membranas, necrosis y muerte prematura en tejidos como se evidenció en la descripción de la sintomatología visual. Las dosis de 0,5 y 1,0 kg ha<sup>-1</sup> B para ambas fuentes resultaron en respuestas positivas en MS y no significativas ( $P < 0,05$ ) con el control, asociado a niveles de prolina y CEh, que comprueban el rango estrecho entre deficiencia y toxicidad para el cv. Criolla Galeras, donde se debe considerar el efecto del ion acompañante en la selección de la fuente.

**Palabras clave adicionales:** borato de sodio; ácido bórico; daños por fertilizantes; toxicidad por boro; estrés oxidativo; prolina.

Received for publication: 29-06-18 Accepted for publication: 30-11-2018

## INTRODUCTION

Yellow diploid potato or potato *criolla* (*Solanum tuberosum* L. Group Phureja) corresponds to the diploid morphotypes, with tubers with a yellow skin and flesh color (egg yolk phenotype) (Rodríguez *et al.*, 2009). Colombia is the main commercial producer, largest consumer and exporter of diploid potatoes in the world, with the competitive advantages of being the center of diversity and wide acceptance among consumers because of its organoleptic characteristics, which makes the potato *criolla* one of the genetic resources of high importance in the country (Herrera and Rodríguez, 2011). For 2016, approximately 10,683 ha of this crop were planted, for an annual production of 170,000 t. The Cundinamarca, Nariño, and Boyaca provinces have the highest production (Agronet, 2016).

Boron phytotoxicity is observed with the presence of chlorosis and necrosis in the tips and margins of the leaves, with subsequent intermittent burning; it starts in mature leaves, and chlorosis and necrotic margins could be evidenced under severe toxicity conditions in the leaves of the medium strata (Herrera *et al.*, 2010; Metwally *et al.*, 2012). This reflects the poor mobility of B through phloem in Solanaceae species (Di Gioia *et al.*, 2017), which could be influenced by the transpiration rate and other factors (Brown and Hu, 1998; Eichert and Goldbach, 2010).

Plants absorb B in the form of anion borate  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  or boric acid  $\text{B}(\text{OH})_3$  (Brown and Hu, 1998). One of the primary functions of B in plants is related to the structure of cell walls (Herrera *et al.*, 2010; Metwally

*et al.*, 2012), where B integrates rhamnogalacturonan II of pectin and promotes growth, cell wall rigidity, and membrane stability (Archana and Verma, 2017). However, an excess of B could produce membrane alterations and oxidative damage through lipid peroxidation with excessive accumulation of hydrogen peroxide (Herrera *et al.*, 2010; Reid, 2010). B toxicity in tomatoes results in increased activity of antioxidant enzymes derived from the ascorbate cycle (Cervilla *et al.*, 2012); in addition, B toxicity causes an increase in levels of malondialdehyde in potatoes (Ayvaz *et al.*, 2013) and a release of electrolytes in radish cells (Siddiqui *et al.*, 2013). These parameters are used as indicators of B toxicity affecting cell membranes (Mohammed *et al.*, 2002; Barrett and Douglass, 2004; Siddiqui *et al.*, 2013).

Another stress response as a result of B toxicity in plants has been observed with the biosynthesis of non-enzymatic antioxidants, such as glutathione and cysteine, in sunflowers (Ruiz *et al.*, 2003) and with different pathways of proline synthesis in rice, depending on the intensity of the B stress (Dominic and Jithin, 2012); the accumulation of proline in Solanaceae has been also observed, such as in tomatoes (*Solanum lycopersicum*) (Cervilla *et al.*, 2012). Proline accumulates in the cytosol and allows an osmotic adjustment, which stabilizes subcellular structures, regulates redox potential, and blocks free radical production under excess B (Bonilla and González, 2011; Cervilla *et al.*, 2012).

In Colombia, B is applied with foliar spraying on yellow diploid potatoes with variable doses, without knowledge on toxicity or physiological and metabolic responses for tetraborate sodium and boric acid although it is presumed from field experiences that a B source accompanied by Na could be more toxic than boric acid, which is related to absorption and mobility conditions as well as toxic effects potentiated by the presence of Na (Dominic and Jithin, 2012). On the other hand, foliar B applications have been shown to be an effective alternative in mineral nutrition with this element, where periodic applications should be made during the growth phase to avoid B toxicity resulting from possible accumulation of B in plants because of its low mobility (Fernández *et al.*, 2013).

The management of foliar B applications under conditions of B deficiency or low availability favors production with B doses that can vary between 400 to 1000 g ha<sup>-1</sup> per cycle depending on the species (Castro and Gómez, 2010; Fernández *et al.*, 2013).

The objective of this study was to determine the effects of different boron supply treatments and the effects of foliar application of B with sources of high solubility (sodium borate and boric acid) on changes in growth and physiological parameters in yellow diploid cv. Criolla Galeras.

## MATERIALS AND METHODS

### Plant material and location

The experimental phase was carried out in the first semester of 2013 in the greenhouses of the Faculty of Agricultural Sciences, of the Universidad Nacional de Colombia, Bogota characterized by an average PAR of 393.07  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , average air temperature of 26.3°C, and average air humidity of 58.5%. Tubers of yellow diploid potato cv. Criolla Galeras of a homogeneous size (3-4 cm) were planted individually in plastic bags with 1.5 kg of soil. After 30 days of planting (DAP), a balanced edaphic maintenance fertilization was carried out according to the soil chemical analysis. The soil was classified as Typic Hapludand with average contents of B (<0.6 mg kg<sup>-1</sup>, extraction by monobasic phosphate). The measurements of the plant response to the B applications were done 90 DAP.

### Experimental design and treatments

Four foliar applications of B were carried out during the study, distributing the total dose during growth (Tab. 1). Each spraying was done with surfactant adjuvant (1 ml L<sup>-1</sup> Transfer® Adhex) at an interval of 4 d, starting at 45 DAP using 13 ml of water per plant per application, which corresponded to 400 L ha<sup>-1</sup> (average application volume in the field). A completely randomized design was used with nine treatments (Tab. 1) and four replicates; each replicate corresponded to one plant. An analysis of variance was performed, and Tukey's mean comparison test ( $P \leq 0.05$ ) between the treatments was applied using Infostat® (National University of Cordoba, Argentina). Additionally, Spearman correlation analysis was used. To determine the response of the interaction between the sources and doses, a 2x4 factorial analysis was carried out for each of the variables, where the main factor was the B sources (boric acid, sodium borate), and the secondary factor was the B doses (0.5, 1.0, 2.0, or 4.0 kg ha<sup>-1</sup> per cycle).

**Table 1. Treatments and doses of boron applied via foliar on yellow diploid potato cv. Criolla Galeras.**

No. treatment	Sources	Foliar dose of elemental B			Foliar dose of source B		
		kg ha <sup>-1</sup> *	mM	g L <sup>-1</sup> **	kg ha <sup>-1</sup> ***	g L <sup>-1</sup> *	g L <sup>-1</sup> **
1	Boric acid (17.5% B)	0.5	28.6	0.31	2.86	7.14	1.79
2		1.0	58.2	0.63	5.71	14.29	3.57
3		2.0	115.6	1.25	11.43	28.57	7.14
4		4.0	231.2	2.50	22.86	57.14	14.29
5	Sodium borate (20.5% B)	0.5	28.6	0.31	2.44	6.10	1.52
6		1.0	58.2	0.63	4.88	12.20	3.05
7		2.0	115.6	1.25	9.76	24.39	6.10
8		4.0	231.2	2.50	19.51	48.78	12.20
9	Control	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

\* Total dose in crop cycle. \*\* Individual dose in each of four applications. \*\*\* Volume of water 400 L ha<sup>-1</sup> in each of four applications.

## Variables evaluated

**Growth variables.** At 90 DAP, a destructive analysis of the aerial parts of the plants was performed. The fresh weight of the leaves and stems of each plant was determined, and the leaf area (LA) (cm<sup>2</sup>) was quantified with a Li-3100 (LI-COR Inc., USA). The dry weight of the organs was determined after drying in an oven at 70 °C for 72 h. With the dry weight of the aerial part (DW) and LA, the growth physiological index specific leaf area (SLA) was determined (Gardner *et al.*, 2003).

**Electrolyte leakage (EC).** For the measurements, 0.5-1 cm<sup>3</sup> leaf segments were taken from the middle-third of the plants to determine the loss of electrolytes in the leaves (ECh). To measure the loss of electrolytes in the stem (ECt), 1 cm long parts of the main stems were taken. The method of Mohammed *et al.* (2002) and Barrett and Douglass (2004) was employed to measure the electrical conductivity of the solutions at 30°C (EC30 °C) and 100°C (EC100 °C). The percentage of electrolyte leakage from the cells was determined with (1):

$$EC (\%) = (EC30\text{ °C} / EC100\text{ °C}) \times 100\% \quad (1)$$

**Proline contents.** Fresh plant material of the leaves from the middle-third of the plants was used. Absorbance at  $\lambda=520$  nm was measured with a spectrophotometer (Spectronic® 501, Milton Roy, Rochester, NY) using toluene as the blank (adapted from Bates *et al.* (1973)). The proline concentration was determined on a fresh weight (FW) basis with (2):

$$\text{Proline contents } (\mu\text{M}) / \text{g FW} = ((\mu\text{g proline} / \text{mL}) \times \text{mL toluene}) / (115.5 \mu\text{g} / \mu\text{M}) \quad (2)$$

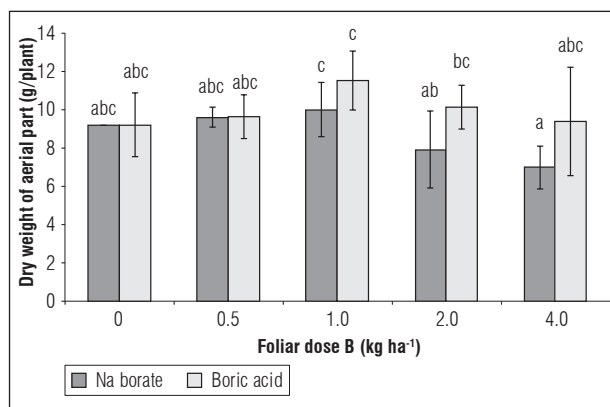
## RESULTS AND DISCUSSION

### Growth variables

The dry mass of the aerial part had the highest response for the dose of 1.0 kg ha<sup>-1</sup> B as Na borate with a 15.85% relative increase in DW (Fig. 1), and, for boric acid, a 25.1% relative increase in DW was obtained with respect to non-foliar application of B, which is consistent with that reported by Asad *et al.* (2002). Significant differences ( $P<0.01$ ) were found between the B sources for DW, LA, and SLA (Figs. 1-3), with a lesser toxic effect of B on DW for boric acid, as compared to Na borate at doses higher than 2 kg ha<sup>-1</sup> (Fig. 1); these concentrations of B as Na borate reduced the DW by around 25% with respect to the non-application of B (Fig. 1). This phenomenon can be explained by the interaction between B and Na, which potentiates salinity stress and slows down transpiration and growth processes in a more restrictive way, reaffirming the findings of Bonilla and González (2011) and Dominic and Jithin (2012).

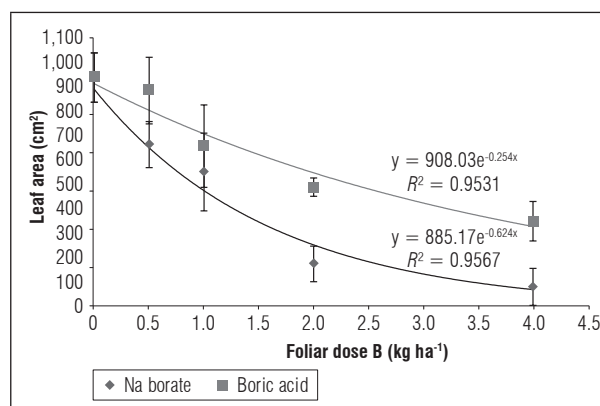
The lower impact of B stress on the DW at doses higher than 2 kg ha<sup>-1</sup> of boric acid could be explained by the lower accumulation of B in tissues, the relative increase in B mobility, and the absence of Na in the source since boric acid penetrates the double layer of membrane phospholipids through simple diffusion

and is transported by B-polyol complexes that allow bidirectional movement of B, with distribution in organs with a low concentration of B, as observed by Reid (2010). This lower impact of boric acid toxicity on DW was also reported by Karabal *et al.* (2003) in barley, but contradicts the results of Reid (2010), who suggested that B toxicity is not completely explained by an osmotic stress of B, but also by an interaction with other synergistic abiotic factors, such as photo-oxidation and other synergistic ions.

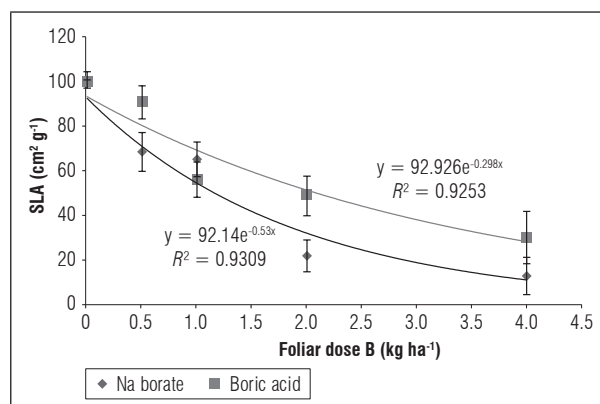


**Figure 1. Effect of foliar application of different doses and sources of B on dry mass of aerial parts (DW) of yellow diploid potato cv. Criolla Galeras. Means with different letters indicate a significant difference according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ). The bars correspond to standard deviation.**

The highest DW was seen with the B dose 1 kg ha<sup>-1</sup> cycle<sup>-1</sup> for both sources of B, which evidenced the positive effect of foliar fertilization with B on the cultivation of yellow diploid potato cv. Criolla Galeras and confirmed the results of García and Poveda (2014), who obtained positive responses in DW when applying 0.5-1.0 kg ha<sup>-1</sup> of foliar B as boric acid in cv. Criolla Colombia. The responses to doses of foliar B in Group Phureja were lower than those caused by edaphic B applications, where an increase in DW has been found with doses of 1.5 kg ha<sup>-1</sup> in cvs. Yema de Huevo and Criolla Colombia (Pérez *et al.*, 2008). These positive responses in growth coincided with the beneficial effects of B on productivity in several crops (Fernández *et al.*, 2013; Archana and Verma, 2017), indicating the positive physiological functions of B in the elongation of new aerial organs, activating metabolic processes, such as the synthesis of nucleic acids, proteins, amino acids, starch, auxins, and phenolics, and transport of assimilates; however, B toxicity inhibits these functions (Cervilla *et al.*, 2012; Shah *et al.*, 2017).



**Figure 2. Effect of foliar application of different doses and sources of B on the leaf area (LA) of yellow diploid potato cv. Criolla Galeras. The bars correspond to standard deviation.**



**Figure 3. Effect of foliar application of different doses and sources of B on the specific leaf area (SLA) of yellow diploid potato cv. Criolla Galeras. The bars correspond to standard deviation.**

The highest responses in LA and SLA of the plants were observed with doses between 0-0.5 kg ha<sup>-1</sup> foliar B (Figs. 2 and 3); these B concentrations did not differ significantly ( $P < 0.05$ ) for the source of boric acid, but differed for the source of Na borate. In addition, significant differences were found for the doses higher than 2 kg ha<sup>-1</sup> B between the sources, with a reduction in LA and SLA greater than 50%; whereas, with a dose of 4 kg ha<sup>-1</sup> B, these reductions were about 65% for boric acid and about 90% for Na borate. This phenomenon can be explained by the reduction in leaf expansion in mature and new leaves, where toxic doses of B alter the structure of primary metabolites ATP, NADH, NADPH and the formation of bonds with RNA ribose, which limits RNA synthesis, affecting the formation of leaves and other organs, as reported

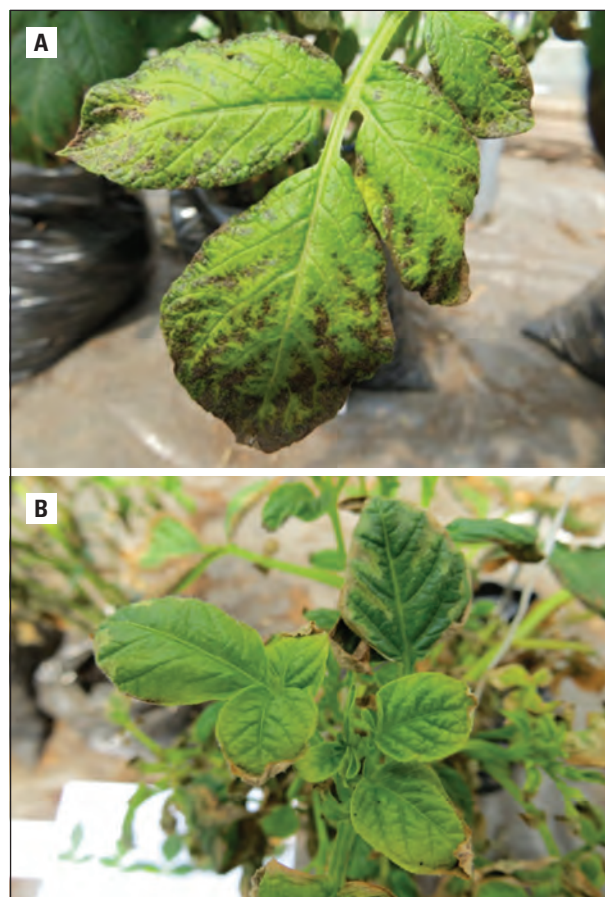
by Reid *et al.* (2010) and Bonilla and González (2011). On the other hand, the decrease of LA at toxic doses of B (2 and 4 kg ha<sup>-1</sup>) in the cv. Criolla Galeras could be explained by abscission and death of old leaves, as observed in the field, where high concentrations of B might act as an inducer of abscisic acid synthesis (Bonilla and González, 2011; Macho *et al.*, 2017). The restriction on growth by toxic levels of B was also observed in rice by Dominic and Jithin (2012), in citrus by Keles *et al.* (2004) and in tomatoes by Cervilla (2009); the latter report indicated decreases in LA and DW at toxic levels of 2 mM of edaphic B applications. In general, a lower LA before tuber filling affects the accumulation of DW and yield in *S. tuberosum* (Herrera and Rodríguez, 2011).

The toxic effect of B on growth could also be attributed to the fact that excess B reduces NO<sub>3</sub><sup>-</sup> conversion to NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and, therefore, inhibits N metabolism and efficient formation of proteins as proposed Seth and Aery (2017). Additionally, high amounts of B in various crops decrease the growth of vegetative organs, chlorophyll contents, and photosynthetic rates as the result of osmotic imbalances and the inability to resist oxidative damage increases from photooxidation (Herrera *et al.*, 2010).

The application of boric acid favored the growth rates for yellow diploid potato cv. Galeras, which resulted in the highest accumulation of DW and was related to a higher LA and SLA, with respect to the control and Na borate. Even when applied at high doses, boric acid (2 and 4 kg ha<sup>-1</sup>) showed significant differences ( $P < 0.05$ ) with respect to the highest toxicity exerted by Na borate (Figs. 2 and 3); apparently, this was because of the effects of Na ions and possible osmotic stress in the plants (Reid *et al.*, 2004; Dominic and Jithin, 2012).

Plants that accumulate high levels of B can have mechanisms of B exclusion with guttation or accumulation in organs, such as the stem, and can present adequate growth in DW (Cervilla *et al.*, 2012). These mechanisms might explain the highest effect of osmotic stress on the margins of the yellow diploid potato leaves of cv. Criolla Galeras because of accumulation of Na when used as an accompanying cation in sources of foliar B applications, with respect to boric acid, as was evidenced by the symptoms in field (Fig. 4). These results indicate a higher tolerance of the plants to B applied as boric acid and corroborate the positive responses of foliar boric acid applications, as described by Brown and Hu (1998) and

Fernández *et al.* (2013). The results of the current study establish that yellow diploid potato cv. Criolla Galeras is tolerant to foliar applications of boric acid at doses of 0.5 to 2 kg ha<sup>-1</sup> although it is important to evaluate the effect of B applications on tuberization and commercial production in future studies.



**Figure 4.** Symptoms of B toxicity in yellow diploid potato cv. Criolla Galeras. The marginal and interveinal necrosis accompanied by chlorosis are evidenced in the leaf lamina of mature leaves (A) and the reduction in growth, with deformation and necrosis (B) of new leaves.

### Metabolic responses

Highly significant differences ( $P < 0.001$ ) were observed in the ECh, with a linear response of this variable and a high coefficient of determination ( $R^2 > 0.96$ ) with the increasing doses of B for both sources in cv. Criolla Galeras (Fig. 5). This coincides with the reports by Karabal *et al.* (2003) for barley and by Siddiqui *et al.* (2013) for the radish, who found higher percentages of ECh in leaves treated with B

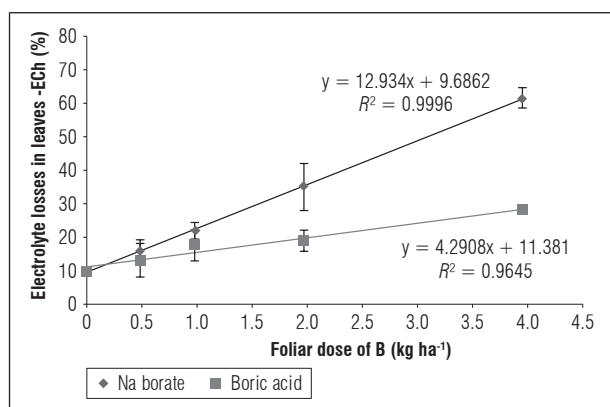
as the dose of B increased (5-10 mM) although at different proportions than in the results obtained for cv. Criolla Galeras in the current study and with differences obtained between the species. Different types of abiotic stress can have similar effects on plants, which could be related to alterations in the integrity of the cell membranes (Reid, 2010; Savic *et al.*, 2012). B toxicity promotes the appearance of reactive oxygen species, which affect metabolic processes through the alteration of lipids and can cause cell death, promoting a greater exchange of cytosol ions with the outside of the cell (Reid *et al.*, 2004; Cervilla *et al.*, 2012); therefore, the measurement of free electrolytes becomes an indicator of the loss of membrane stability caused by osmotic stress (Karabal *et al.*, 2003; Cha-Um *et al.*, 2010).

Savic *et al.* (2012), under conditions of heat stress in *S. tuberosum*, reported an ECh of 30% in tolerant potato cultivars, such as Laura, and an ECh of 75% in sensitive cultivars, such as Desiree. For nutritional stress resulting from excess B, with the maximum dose of 4 kg ha<sup>-1</sup>, the cv. Criolla Galeras in the present study reached as ECh of 62% for Na borate, which presented significant differences ( $P < 0.001$ ) from the maximum dose of boric acid that resulted in higher stability in the membranes, with an ECh of 28%. This stress indicator corroborated a greater oxidative damage in membranes for Na borate, where a higher slope of the trend line was observed with respect to that of boric acid (Fig. 5). In addition, a greater EC was observed with the foliar doses of B, exceeding 2 kg ha<sup>-1</sup> (Fig. 5), which coincides with the reduced values of the growth variables

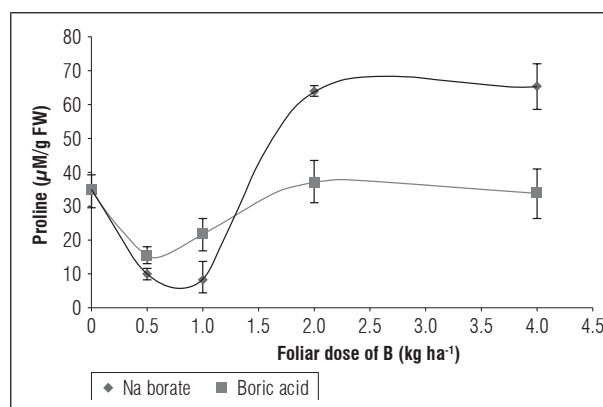
(DW, LA, SLA) and the greater increases in proline contents (Fig. 6), which behaves as a compatible osmolyte and avoids oxidative stress resulting from excess B, protecting membranes and proteins in the cells (Dominic and Jithin, 2012).

Excess B limits the accumulation of solutes in plants; in young leaves, cell turgor can be reduced, accompanied by leaf chlorosis and deformations; while, in mature leaves, the accumulation of B favors osmotic stress, with membrane instability and high ion mobility that affect new tissues (Reid *et al.*, 2004; Dominic and Jithin, 2012). In comparison with the non-application of B, the B dose of 4 kg ha<sup>-1</sup> resulted in a loss of six times more electrolytes for Na borate and three times more electrolytes for boric acid (Fig. 5). This proves that the B stress did not only depend on the dose, but also on the source; in this case, the interaction with the accompanying Na ion favored greater stress, confirming the report by Dominic and Jithin (2012).

For the doses 0.5 and 1.0 kg ha<sup>-1</sup> per cycle of foliar B, no significant differences for the ECh were observed, with ECh losses of 10 and 20%, respectively (Fig. 5), signifying that, for these doses, the integrity of the membranes was maintained at tolerable and manageable levels for cv. Criolla Galeras, which corresponded to the highest accumulation of DW (Fig. 1) and contrasted with insignificant losses of stem-free electrolytes (ECt) (data not shown). The ECh turned out to be a more reliable measurement in the evaluation of the EC; while for ECt, in future research, relating concentrations of the free ions B, K and Na in the leaf



**Figure 5.** Effect of foliar application of different doses and sources of B on electrolyte loss (%) in leaves (ECh) of yellow diploid potato cv. Criolla Galeras. The bars correspond to standard deviation.



**Figure 6.** Effect of foliar application of different doses and sources of B on proline contents (μM/g fresh weight) in yellow diploid potato cv. Criolla Galeras leaves. The bars correspond to standard deviation.

and stem sap is recommended in order to establish a better comparison.

After the application of different concentrations of B in yellow diploid potato cv. Criolla Galeras, treatments with both sources increased the proline concentrations, with significant differences with respect to the control and differences between the sources. Less proline was accumulated after the foliar treatments with boric acid (Fig. 6), a source that did not cause significant differences ( $P < 0.05$ ) in the proline dynamics because of B toxicity in barley according to Karabal *et al.* (2003), while Na could increase proline levels in rice via the Ornithine route instead of the Glutamate route (Dominic and Jithin, 2012). On the other hand, Siddiqui *et al.* (2013) found that the radish increased proline levels when B toxicity was mitigated by Ca. Levy, and Veilleux (2007) and Cervilla *et al.* (2012) revealed an increase of this amino acid in potato and tomato plants subjected to B toxicity.

Proline could be accumulated in cells as a result of an increase in its biosynthesis or alteration in the synthesis/degradation of proteins (Cervilla *et al.*, 2012, Dominic and Jithin, 2012). This leads to the conclusion that, for the doses 0.5 and 1.0 kg ha<sup>-1</sup> of foliar B, the cv. Criolla Galeras plants presented lower concentrations of proline than the control treatment, probably because of a reduced biosynthesis of proline since these were the treatments with lower stress (Fig. 6), which indicated better metabolic conditions related to a higher accumulation of DW and lower permeability of membranes, as discussed above. The doses greater than 1.0 kg ha<sup>-1</sup> of foliar B significantly increased the concentrations of proline in the leaves (Fig. 6), implying an increase in membrane degradation and proteins, which were related to the highest ECh, which reached the highest levels at doses of 2 and 4 kg ha<sup>-1</sup> B. Cervilla (2009) found that, in mature tomato leaves, an increase in proline as a result of excess B was inversely proportional to biomass accumulation and was the result of the inadequate metabolism of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> reduction (Cervilla *et al.*, 2012). These data suggest that, regardless of its protective role, an increase in proline concentration is another indicator of the stress produced by B toxicity in potato cv. Criolla Galeras.

The evaluated variables responded better to the treatments with boric acid than to the ones with Na borate. This might have been due to this source having better mobility in short- and long-distance transport, avoiding accumulation in the leaves, and being

distributed to sources with the formation of complex esters or lignified structures in cell walls, corroborating the proposal by Herrera *et al.* (2010), in such a way that, under conditions with high concentrations of B, this type of bond is stronger than free B, which can be a detoxification mechanism for this mineral nutrient in some species.

## CONCLUSIONS

In the potatoes, a possible osmotic stress, as indicated by the increased proline contents, was generated with B doses higher than 1.0 kg ha<sup>-1</sup>, causing oxidative stress with irreversible damage related to decreases in the growth variables DW, LA, and SLA and a significant increase in ECh. ECh and proline contents in leaves could be used as stress indicators as a result of B in the yellow diploid potato cv. Criolla Galeras.

The lower impact of B stress exerted by the boric acid as compared to Na borate on the evaluated variables suggests that formulations or foliar applied products of B in potatoes should be based on boric acid. The symptoms of B toxicity were characterized for the yellow diploid potato cv. Criolla Galeras, presenting severe marginal and interveinal necrosis associated with chlorosis in leaves and, for new leaves, the reduction of growth, deformation of leaves, and marginal necrosis and generalized chlorosis. The results of this research could be used to search for good fertilization management practices with B in yellow diploid potatoes under the conditions of the Cundi-boyacense highlands.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors express their gratitude to the Faculty of Agricultural Sciences of the Universidad Nacional de Colombia, Bogota.

**Conflict of interests:** this manuscript was prepared and reviewed with the participation of all authors, who declare that there exists no conflict of interest that puts at risk the validity of the presented results.

## BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Agronet. 2016. Área, producción y rendimiento por cultivo: papa criolla. In: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>; consulted: April, 2018.

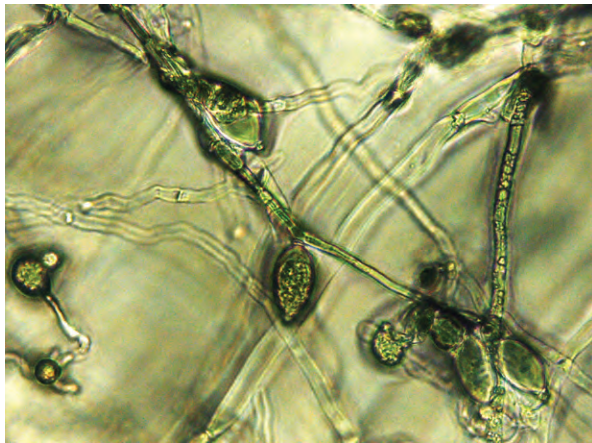
- Archana, P.N. and P. Verma. 2017. Boron deficiency and toxicity and their tolerance in plants: a review. *J. Global Biosci.* 6, 4958-4965.
- Asad, A., F.P. Blamey, and D. Edwards. 2002. Dry matter production and boron concentrations of vegetative and reproductive tissues of canola and sunflower plants grown in nutrient solution. *Plant Soil* 243(1), 243-252. Doi: 10.1023/A:1019909130031
- Ayvaz, M., M.K. Avci, C. Yamaner, M. Koyuncu, A. Guven, and K. Fagerstedt. 2013. Does excess boron affect the malondialdehyde levels of potato cultivars? *Eur. Asian J. BioSci.* 7, 47-53. Doi: 10.5053/ejobios.2013.7.0.6
- Barrett, W. and J. Douglass. 2004. Electrolyte leakage from stem tissue as an indicator of hardwood seedling physiological status and hardiness. USDA Forest Service. In: <http://www.fs.fed.us>; consulted: June 15, 2018.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 39, 205-207. Doi: 10.1007/BF00018060
- Bonilla, G. and A. González. 2011. Salt stress in vascular plants and its interaction with boron toxicity. pp. 2227-240. In: Vasanthaiah, H. (ed). *Plants and environment*. In Tech, Rijeka, Croatia. Doi: 10.5772/24892
- Brown, P.H. and H. Hu. 1998. Phloem boron mobility in diverse plant species. *Bot. Acta* 111, 331-335. Doi: 10.1111/j.1438-8677.1998.tb00717.x
- Castro, H. and M.I. Gómez. 2010. Fertilidad de suelos y fertilizantes aplicados al trópico colombiano. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.
- Cervilla, L. 2009. Respuesta fisiológica y metabólica a la toxicidad por boro en plantas de tomate. Estrategias de tolerancia. PhD thesis. Universidad de Granada, Granada, Spain.
- Cervilla, L., B. Blasco, J. Ríos, M. Rosales, E. Sánchez, M. Rubio, L. Romero, and J. Ruiz. 2012. Parameters symptomatic for boron toxicity in leaves of tomato plants. *J. Bot.* 2012, 726206. Doi: 10.1155/2012/726206
- Cha-Um, S., T. Takabe, and C. Kirdmaneei. 2010. Ion contents, relative electrolyte leakage, proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of oil palm seedlings in response to salt stress. *Pak. J. Bot.* 42(3), 2191-2020.
- Di Gioia, F., A. Aprile, E. Sabella, P. Santamaria, A. Pardossi, A. Miceli, L. De Bellis, and E. Nutricati. 2017. Grafting response to excess boron and expression analysis of genes coding boron transporters in tomato. *Plant Biol.* 19, 728-735. Doi: 10.1111/plb.12589
- Dominic, V. and T. Jithin. 2012. Effect of NaCl and boron toxicity on proline biosynthesis of *Oryza sativa* Int. *J. Life Sci. Pharm.* 1(3), 74-83.
- Eichert, T. and H.E. Goldbach. 2010. Transpiration rate affects the mobility of foliar-applied boron in *Ricinus communis* L. cv. Impala. *Plant Soil* 328, 165-174. Doi: 10.1007/s11104-009-0094-y
- Fernández, V., T. Sotiropoulos, and P. Brown. 2013. Foliar fertilization: scientific principles and field practices. IFA, Paris.
- García, G. and G. Poveda. 2014. Efecto de la aplicación foliar de K, B y Zn sobre el rendimiento y calidad del tubérculo en papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja) cultivar Criolla Colombia. Undergraduate thesis. Faculty of Agricultural Sciences, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R. Mitchell. 2003. Physiology of crop plants. Blackwell Publishing Company, Ames, IA.
- Herrera, M., A. González, J. Rexach, J. Camacho, J. Maldonado, and M. Navarro. 2010. Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. *Plant Stress* 4(1), 115-122.
- Herrera, A. and L.E. Rodríguez. 2011. Tecnologías de producción y transformación de papa criolla. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Karabal, E., M. Yücel, and A. Öktem. 2003. Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. *Plant Sci.* 164(1), 925-933. Doi: 10.1016/S0168-9452(03)00067-0
- Keles, Y., I. Öncel, and N. Yenice. 2004. Relationship between boron content and antioxidant compounds in *Citrus* leaves taken from fields with different water source. *Plant Soil* 265, 345-353. Doi: 10.1007/s11104-005-0646-8
- Levy, D. and R. Veilleux. 2007. Adaptation of potato to high temperatures and salinity a review. *Am. J. Potato Res.* 84, 487-506. Doi: 10.1007/BF02987885
- Macho, M.Á., J.J. Camacho, M.B. Herrera, M. Müller, S. Munné, and A. González. 2017. Abscisic acid and transpiration rate are involved in the response to boron toxicity in *Arabidopsis* plants. *Physiol. Plant.* 160(1), 21-32. Doi: 10.1111/pp1.12534
- Metwally, A., R. El-Shazoly, and M. Hamada. 2012. Effect of boron on growth criteria of some wheat cultivars. *J. Biol. Earth Sci.* 2(1), 1-9.
- Mohammed, B., K. Jean, and L. Stanley. 2002. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regul.* 36(1), 61-70. Doi: 10.1023/A:1014732714549
- Pérez, L., L. Rodríguez, and M. Gómez. 2008. Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum Phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agron. Colomb.* 26(3), 477-486.
- Reid, R., J. Hayes, A. Post, J. Stangoulis, and R. Graham. 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity



- in plants. *Plant Cell Environ.* 27(11), 1405-1414. Doi: 10.1111/j.1365-3040.2004.01243.x
- Reid, R. 2010. Can we really increase yields by making crop plants tolerant to boron toxicity? *Plant Sci.* 178(1), 9-11. Doi: 10.1016/j.plantsci.2009.10.006
- Rodríguez, L., C. Nústez, and N. Estrada. 2009. Criolla Latina, Criolla Paisa y Criolla Colombia, nuevos cultivares de papa criolla para el departamento de Antioquia (Colombia). *Agron. Colomb.* 27(3), 289-303.
- Ruiz, J., M. Rivero, and L. Romero. 2003. Preliminary studies on the involvement of biosynthesis of cysteine and glutathione concentration in the resistance to B toxicity in sunflower plants. *Plant Sci.* 165, 811-817. Doi: 10.1016/S0168-9452(03)00276-0
- Savic, J., I. Dragicevic, and D. Pantelic. 2012. Expression of small heat shock proteins and heat tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Arch. Biol. Sci.* 64(1), 135-144. Doi: 10.2298/ABS1201135S
- Seth, K. and N.C. Aery. 2017. Boron induced changes in biochemical constituents, enzymatic activities, and growth performance of wheat. *Acta Physiol. Plant.* 39(11), 244. Doi: 10.1007/s11738-017-2541-3
- Shah, A., X. Wu, A. Ullah, S. Fahad, R. Muhammad, L. Yan, and C. Jiang. 2017. Deficiency and toxicity of boron: Alterations in growth, oxidative damage and uptake by citrange orange plants. *Ecotoxic. Environm. Safety* 145, 575-582. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.08.003
- Siddiqui, M., M. Sakran, M. Hayssam, O. Mohammed, M. Faisal, and A. Alatar. 2013. Calcium-induced amelioration of boron toxicity in radish. *J. Plant Growth Regul.* 32, 61-71. Doi: 10.1007/s00344-012-9276-6

# Sensibilidad de aislamientos de *Phytophthora infestans* procedentes de *Solanum tuberosum* a tres fungicidas sistémicos

## *Solanum tuberosum* isolate sensitivity to *Phytophthora infestans* when using three systemic fungicides



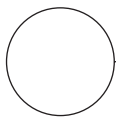
HAROLD ANDRÉS CHAÑAG<sup>1, 2</sup>  
SANDRA LORENA ÁLVAREZ<sup>1</sup>  
LUZ ESTELA LAGOS<sup>1</sup>  
DIANA MARCELA BURBANO-DAVID<sup>1</sup>

**Aislamiento STG075 de *P. infestans* aislado de *S. tuberosum* en Guachucal, Colombia.**

Foto: H.A. Chañag

### RESUMEN

*Phytophthora infestans*, es el agente causal de una de las enfermedades más limitantes de cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) en el departamento de Nariño causando que los agricultores utilicen de forma intensiva diferentes fungicidas, llegando a representar el 30% de los costos de producción, siendo un grave problema ambiental y de salud pública. El propósito de esta investigación es apoyar los programas de manejo integrado de enfermedades a partir de la generación de una línea base de sensibilidad de 20 aislamientos de *P. infestans* del departamento de Nariño frente a tres fungicidas sistémicos comerciales compuestos por Metalaxil 8% + Mancozeb 64%, Cimoxanil 6% + Propineb 70% y Fluopicolide 6% + Propineb 66,7%. Este estudio se llevó a cabo siguiendo la metodología *in vitro* utilizando cinco dosis basadas en una escala exponencial. Los resultados mostraron un comportamiento heterogéneo donde algunos aislamientos presentaron resistencia al fungicida compuesto por Metalaxil + Mancozeb, alcanzando valores promedio de EC50 de 6,67  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , mientras que para los fungicidas compuestos por Cimoxanil + Propineb y Fluopicolide + Propineb se presentaron niveles de sensibilidad intermedia y sensibles con valores de EC50 promedio de 1,57  $\mu\text{g mL}^{-1}$  y 2,61  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . Por otra parte, la tasa de esporulación se redujo en su totalidad para los tres fungicidas cuando se evaluaron las dosis de 100, 1.000, 10.000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ .



**Palabras clave adicionales:** resistencia a los fungicidas; Peronosporales; cimoxanil; fluopicolide; metalaxil; papa.

<sup>1</sup> Universidad de Nariño, Grupo de Investigación Genética y Evolución de Organismos Tropicales, San Juan de Pasto (Colombia). ORCID Chañag, H.A.: 0000-0002-2749-0367; ORCID Álvarez, S.L.: 0000-0002-9464-5429; ORCID Lagos, L.E.: 0000-0002-5152-3413; Burbano-David, D.M.: 0000-0003-0109-3088

<sup>2</sup> Autor para correspondencia. harold.a963@hotmail.com

## ABSTRACT

*Phytophthora infestans* is the causative agent of one of the most limiting diseases in potato crops (*Solanum tuberosum*) in the Department of Nariño, causing farmers to intensively use different fungicides, which reach 30% of production costs and are a serious environmental and public health problem. The purpose of this research was to support integrated disease management programs based on the generation of a baseline sensitivity of 20 *P. infestans* isolates from the Department of Nariño to three commercial fungicides composed of Metalaxyl 8% + Mancozeb 64% , Cimoxanil 6% + Propineb 70% and Fluopicolide 6% + Propineb 66.7%. This study was carried out using the *in vitro* methodology and five doses on an exponential scale. The results showed a heterogeneous behavior where some isolates showed resistance to the fungicide composed of Metalaxil + Mancozeb, reaching average EC50 values of  $6.67 \mu\text{g mL}^{-1}$ ; while for the fungicides composed of Cimoxanil + Propineb and Fluopicolide + Propineb, there were intermediate and sensitive sensitivity levels with average EC50 values of  $1.57 \mu\text{g mL}^{-1}$  and  $2.61 \mu\text{g mL}^{-1}$ . On the other hand, the sporulation rate was reduced in its entirety with the three fungicides for the evaluated doses of 100; 1,000; 10,000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ .

**Additional key words:** resistance to fungicides; Peronosporal; cymoxanil; fluopicolide; metalaxil; potato.

Fecha de recepción: 13-03-2018 Aprobado para publicación: 30-11-2018

## INTRODUCCIÓN

La “gota” o “tizón tardío” es uno de los problemas más limitantes del cultivo de papa causado por el patógeno *Phytophthora infestans*, esta enfermedad es capaz de afectar el follaje, tallos y el tubérculo en cualquier momento de desarrollo de la planta incluso en el almacenamiento (Marín y Mira, 1998) de no realizarse un control adecuado y preciso esta enfermedad puede llegar a causar el 100% de severidad (Montes *et al.*, 2012). Esta enfermedad cobra importancia en el país puesto que para el 2017 se cosecharon 162.879 ha de papa con una producción de 3'706.563 t, siendo los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño los principales productores (DANE – ENA, 2018), donde se siembran materiales altamente susceptibles como las variedades Diacol Capiro, Parda Pastusa, ICA Nevada y Tuquerreña que, además, los municipios productores presentan condiciones climáticas favorables para el desarrollo de esta enfermedad.

La alternativa más eficiente para el control de esta problemática se basa principalmente en el uso intensivo de fungicidas con moléculas protectantes y sistémicas (Granada *et al.*, 2002) que representa un costo que oscila entre 10 y 30% del valor total de la producción de los cultivos de papa en el país (Jaramillo, 2004). Siendo los productos con moléculas sistémicas los más eficientes que presentan diferentes modos de acción como, por ejemplo, metalaxil afecta la síntesis de ARN ribosomal y por ende la síntesis de proteínas reduciendo el crecimiento del

micelio (Nuninger *et al.*, 1995); Cimoxanil por su parte posee un modo de acción multisitio y trans-laminar que incluye la inhibición de la síntesis de ADN, ARN, aminoácidos y lípidos, además afecta la respiración celular y la permeabilidad de la membrana celular (Erwin y Ribeiro, 1996; Garcia *et al.*, 2008) y finalmente, Fluopicolide, ingrediente activo relativamente nuevo que se clasifica como piridinil-metil-benzamida que interrumpe la división celular y la mitosis actuando sobre las proteínas como la espectrina encargada de la estabilidad del citoesqueleto del patógeno (Briggs *et al.*, 2006; FRAC, 2018).

El uso intensivo (hasta 18 aspersiones durante el ciclo del cultivo) de fungicidas sistémicos a lo largo del tiempo generan resistencia lo que se define como la disminución temporal de la sensibilidad a un determinado fungicida, resultado de la adaptación del patógeno. Así, por ejemplo, en el año 2001 se determinó que cerca del 75% de los aislamientos colectados en el departamento de Antioquia resultaron insensible a Metalaxil (Jaramillo, 2004), mientras que los resultados de sensibilidad a Cimoxanil han resultado variables (Ochoa, 2004).

Teniendo en cuenta la problemática el objetivo de la presente investigación se centró en determinar el nivel de sensibilidad de aislamientos de *P. infestans* a tres fungicidas sistémicos, con el fin de establecer acciones de monitoreo que apoyen a la toma de decisiones

relacionadas con el uso de fungicidas de síntesis química en el cultivo de la papa en Colombia, puesto que la característica de resistencia al no ser heredable puede ser revertida por cambios en las estrategias de control químico (Pérez y Forbes, 2008).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material evaluado

Las pruebas de sensibilidad se realizaron con 20 aislamientos de *P. infestans* obtenidos de *Solanum tuberosum* y *S. phureja* en el Departamento de Nariño y hacen parte del cepario del grupo de investigación de Genética y Evolución de Organismos Tropicales de la Universidad de Nariño (Tab. 1).

**Tabla 1. Información aislamiento aislamientos de *Phytophthora infestans*.**

Código aislamiento	Localidad	Hospedero
SPP031	Pasto	<i>S. phureja</i>
SPT055	Túquerres	<i>S. phureja</i>
SPT056	Túquerres	<i>S. phureja</i>
STA083	Aldana	<i>S. tuberosum</i>
STG075	Guachucal	<i>S. tuberosum</i>
STG105	Pasto	<i>S. tuberosum</i>
STI155	Ipiales	<i>S. tuberosum</i>
STI169	Ipiales	<i>S. tuberosum</i>
STP062	Pasto	<i>S. tuberosum</i>
STP063	Pasto	<i>S. tuberosum</i>
STP067	Pasto	<i>S. tuberosum</i>
STP113	Pasto	<i>S. tuberosum</i>
STS035	Sapuyes	<i>S. tuberosum</i>
STS037	Sapuyes	<i>S. tuberosum</i>
STT144	Túquerres	<i>S. tuberosum</i>
STT146	Túquerres	<i>S. tuberosum</i>
STT159	Túquerres	<i>S. tuberosum</i>
STT161	Túquerres	<i>S. tuberosum</i>
STT162	Túquerres	<i>S. tuberosum</i>

### Determinación de sensibilidad *in vitro* de los aislamientos

Para la determinación del efecto de los fungicidas sobre el patógeno se utilizaron los productos

comerciales compuestos por Metalaxil 8% + Mancozeb 64%, Cimoxanil 6% + Propineb 70% y Flupicolide 6% + Propineb 66,7%, con el fin de asegurar la reproducibilidad del ensayo se hicieron tres replicas y tres repeticiones en el tiempo de cada tratamiento y un testigo absoluto sin fungicida. Las dosis evaluadas se calcularon en base a una escala exponencial, inicialmente se prepararon las soluciones stock a una concentración de  $100.000 \mu\text{g mL}^{-1}$  a partir de las cuales se prepararon las diferentes concentraciones que fueron adicionadas en el medio de cultivo agar tomate – arveja. El inóculo de 5 mm de diámetro se tomó de la zona de crecimiento activo de cultivos de 10 d y fue ubicado en el centro de cada caja petri con agar Tomate Arveja previamente suplementada con fungicida. Una vez efectuada la inoculación, las cajas petri se sellaron herméticamente y se incubaron a temperatura ambiente y oscuridad durante 10 d, desde el primer día se registró fotográficamente el crecimiento micelial y con los resultados de crecimiento final se calculó el porcentaje de inhibición.

Al décimo día se tomó el micelio formado en cada caja petri y se depositó en un volumen de 1,5 mL de agua destilada estéril, posteriormente se sometió a vortex por 30 s y se tomaron 100  $\mu\text{L}$  de esta solución para realizar el conteo de esporangios en cámara de Neubauer y se expresó como número de esporangios sobre área de crecimiento final para cada uno de los aislamientos por tratamiento.

### Determinación $EC_{50}$

Se realizó un análisis Probit para encontrar la  $EC_{50}$  (concentración que reduce el crecimiento radial en un 50% respecto al control) con los valores de inhibición y concentración para cada uno de los aislamientos basado en un análisis de regresión lineal. Teniendo en cuenta los valores de  $EC_{50}$  calculados y de acuerdo con la clasificación de sensibilidad establecida por Wang *et al.* (2002).

### Análisis de datos

Para determinar la existencia de diferencias significativas en esta investigación se realizaron tablas de contingencia con el programa Microsoft office Excel y se aplicó la prueba de Kruskal Wallis para comparar las concentraciones en el programa Minitab® 17.1.0 (© 2013 Minitab Inc).

## RESULTADOS

### Metalaxil 8% + Mancozeb 64%

Estos fungicidas redujeron el crecimiento del patógeno entre el 29 y 69% con las dosis 1 y 10  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , respectivamente, alcanzando el 100% de reducción del crecimiento cuando se utilizaron las dosis 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , 1.000  $\mu\text{g mL}^{-1}$  y 10.000  $\mu\text{g mL}^{-1}$  las cuales fueron letales para el inóculo. La prueba de Kruskal Wallis mostró que existen diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre el control y los tratamientos (Tab. 2). Por otra parte, la acción antiesporulante de este fungicida se hizo efectiva a partir del tratamiento correspondiente a la dosis de 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$  hasta la dosis de 10.000  $\mu\text{g mL}^{-1}$  inhibiendo el 100% la producción de esporangios (Tab. 3).

A partir de los resultados de inhibición se obtuvo el valor de la dosis media efectiva ( $EC_{50}$ ), encontrando que estos variaron entre 3,26  $\mu\text{g mL}^{-1}$  en el aislamiento STA084 hasta 12,21  $\mu\text{g mL}^{-1}$  en el aislamiento STP046 con un promedio de 6,67  $\mu\text{g mL}^{-1}$  (Fig. 1) catalogando el 20% de los aislamientos resistentes y el 80% con sensibilidad intermedia.

### Cimoxanil 6% + Propineb 70%

La concentración de 1  $\mu\text{g mL}^{-1}$  causó una reducción promedio del 25% del crecimiento del patógeno con respecto al control y algunos aislamientos presentaron una alta sensibilidad a este producto, puesto que con la dosis mínima sus crecimientos fueron inhibidos en un 45% (aislamiento STI168) y 40% (aislamiento STT162). Cuando se evaluó la dosis de 10  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , los porcentajes de inhibición presentaron un promedio del 89%, mientras que en las dosis superiores a esta (100, 1.000 y 10.000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) el porcentaje de inhibición fue 100% letal para el inóculo. Se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre el control y las concentraciones evaluadas (1, 10, 100, 1.000, 10.000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ). Asimismo, hubo diferencias estadísticas ( $P \leq 0,05$ ) entre los tratamientos evaluados siendo las concentraciones de 1 y 10  $\mu\text{g mL}^{-1}$  diferentes a las demás concentraciones (Tab. 4). La acción antiesporulante de este fungicida se evidenció a partir de la dosis 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . El análisis estadístico mostró que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados, siendo las dosis 1 y 10  $\mu\text{g mL}^{-1}$  diferentes ( $P \leq 0,05$ ) a las dosis 100 hasta 10.000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , concentraciones en las cuales se inhibió el 100% la esporulación en todos los aislamientos (Tab. 5).

**Tabla 2. Prueba de Kruskal Wallis (Bonferroni corrected) para porcentaje de inhibición entre concentraciones del fungicida Metalaxil 8% + Mancozeb 64%.**

Dosis ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	Control	1	10	100	1.000	10.000
Control	1					
1	0,02863	1				
10	0,00044	0,18492	1			
100	0	0	0,00002	1		
1.000	0	0	0,00002	1	1	
10.000	0	0	0,00002	1	1	1

**Tabla 3. Prueba de Kruskal Wallis (Bonferroni corrected) para tasa de esporulación entre concentraciones del fungicida Metalaxil 8% + Mancozeb 64%.**

Dosis ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	Control	1	10	100	1.000	10.000
Control	1					
1	0,52906	1				
10	0,51616	0,98418	1			
100	0	0	0	1		
1.000	0	0	0	1	1	
10.000	0	0	0	1	1	1

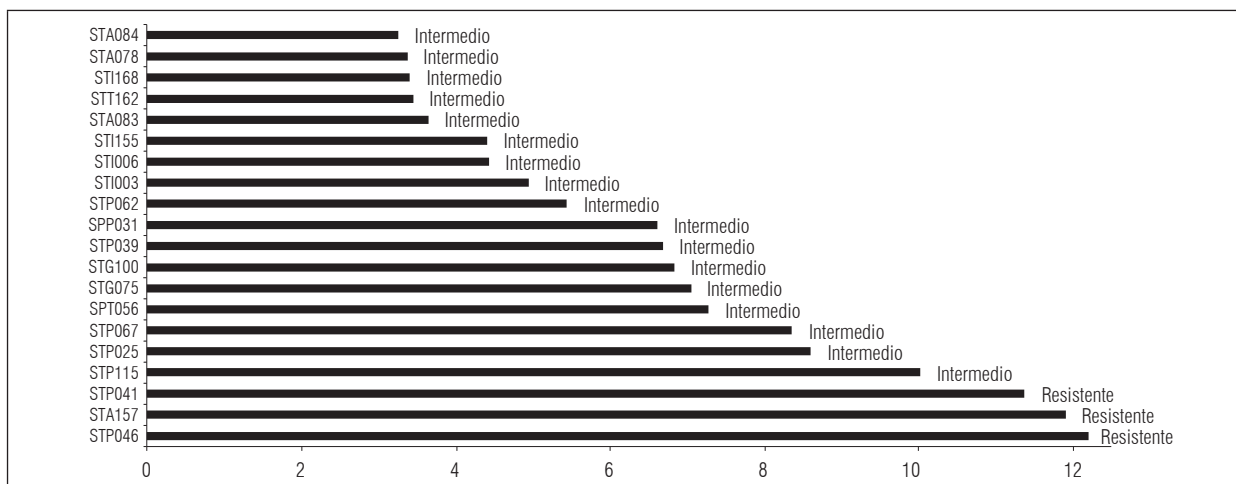


Figura 1. Dosis media efectiva (EC<sub>50</sub>) para aislamientos de *Phytophthora infestans* frente a Metalaxil + Mancozeb.

Tabla 4. Prueba de Kruskal Wallis (Bonferroni corrected) para porcentaje de inhibición entre concentraciones del fungicida Cimoxanil 6% + Propineb 70%.

Dosis ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	Control	1	10	100	1.000	10.000
Control	1					
1	0,05047	1				
10	0,00005	0,03549	1			
100	0	0	0,002	1		
1.000	0	0	0,002	1	1	
10.000	0	0	0,002	1	1	1

Tabla 5. Prueba de Kruskal Wallis (Bonferroni corrected) para tasa de esporulación entre concentraciones del fungicida Cimoxanil 6% + Propineb 70%.

Dosis ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	Control	1	10	100	1.000	10.000
Control	1					
1	0,87894	1				
10	0,95142	0,83114	1			
100	0	0	0	1		
1.000	0	0	0	1	1	
10.000	0	0	0	1	1	1

Con respecto a los valores de EC<sub>50</sub> para este fungicida se encontró que los valores oscilaron entre 0,02853  $\mu\text{g mL}^{-1}$  (aislamiento STI168) y 6,8116  $\mu\text{g mL}^{-1}$  (aislamiento STP046) con un promedio de 1,575 (Fig. 1). Estos valores permitieron clasificar los aislamientos siguiendo la escala propuesta por Wang *et al.* (2002) encontrando que el 85% presentaron sensibilidad intermedia, el 15% sensibilidad y ninguno resistencia a este fungicida.

#### Fluopicolide 6% + Propineb 66,7%

Los resultados mostraron que la combinación fúngica reduce el crecimiento del patógeno respecto al control en un 28,4% en la dosis 1  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , algunos aislamientos presentaron valores bajos de inhibición con un 3,59% (aislamiento STP067), 5,06% (aislamiento STP056) y 6,91% (aislamiento STG075), lo que puede indicar que estos aislamientos pueden llegar a

presentar un comportamiento resistente a futuro. Al evaluar la dosis 10  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , los porcentajes de inhibición presentaron un promedio de 79,26%, mientras que las dosis mayores, entre 100 a 10.000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , producen una inhibición del 100% (Tab. 6).

La actividad antiesporulante se evidenció a partir de la dosis 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . El análisis estadístico mostró existencia de diferencias significativas entre las dosis 100, 1.000 y 10.000  $\mu\text{g mL}^{-1}$  frente al control ( $P \leq 0,05$ ), en los cuales no se registró conteo de esporangios debido a que estas dosis resultaron letales al inóculo (Tab. 7).

## DISCUSIÓN

### Metalaxil 8% + Mancozeb 64%

Los resultados encontrados para la inhibición de crecimiento y esporulación corresponden a la característica del metalaxil como molécula altamente sistémica que afecta la síntesis de ARN ribosomal y la síntesis de las proteínas causando la reducción del crecimiento micelial y el desarrollo de esporangios del patógeno (Grunwald *et al.*, 2006).

Los resultados de la dosis media efectiva ( $EC_{50}$ ) para este fungicida concuerdan con los reportados por Lagos (2002) al encontrar después de evaluar 63 aislamientos procedentes del Departamento de Nariño un 24% de reacción resistente. Dentro de las razones que expliquen la ausencia de poblaciones resistentes a metalaxil en este estudio, sean los cambios presentados en el ingrediente activo, ya que desde el año 2002 se ha distribuido en el mercado variantes dos veces más efectiva que el genérico conocido como Metalaxil – M. De igual manera, el uso intensivo de esta molécula para el control del tizón tardío en la zonas productoras de papa se ha visto reducida en virtud a la aparición de productos comerciales compuestos por nuevas mezclas que contienen fungicidas de tipo preventivo y curativo como Cimoxanil, Dimetomorf, Propamocarb o Estrobulinas (Santana *et al.*, 2013) y que resultan eficientes en el control del patógeno generando una sustitución gradual del metalaxil. Lo que indica que en general, las zonas productoras de papa en el Departamento de Nariño no generan una fuerte presión de selección y que aún se puede considerar el uso de productos a base de Metalaxil en programas de manejo que controlen este patógeno.

**Tabla 6. Prueba de Kruskal Wallis (Bonferroni corrected) para porcentaje de inhibición entre concentraciones del fungicida Fluopicolide 6% + Propineb 66,7%.**

Dosis ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	Control	1	10	100	1.000	10.000
Control	1					
1	0,05074	1				
10	0,0001	0,05249	1			
100	0	0	0,0001	1		
1.000	0	0	0,0001	1	1	
10.000	0	0	0,0001	1	1	1

**Tabla 7. Prueba de Kruskal Wallis (Bonferroni corrected) para tasa de esporulación entre concentraciones del fungicida Fluopicolide 6% + Propineb 66,7%.**

Dosis ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	Control	1	10	100	1.000	10.000
Control	1					
1	0,65718	1				
10	0,11186	0,25176	1			
100	0	0	0	1		
1.000	0	0	0	1	1	
10.000	0	0	0	1	1	1

Los bajos niveles de sensibilidad del 20% de los aislamientos de *P. infestans* evaluados frente al fungicida compuesto por Metalaxil + Mancozeb encontrados

**Tabla 8. Clasificación de aislamientos de *P. infestans* según los valores de dosis media efectiva ( $EC_{50}$ ) del fungicida Metalaxil 8% + Mancozeb 64%.**

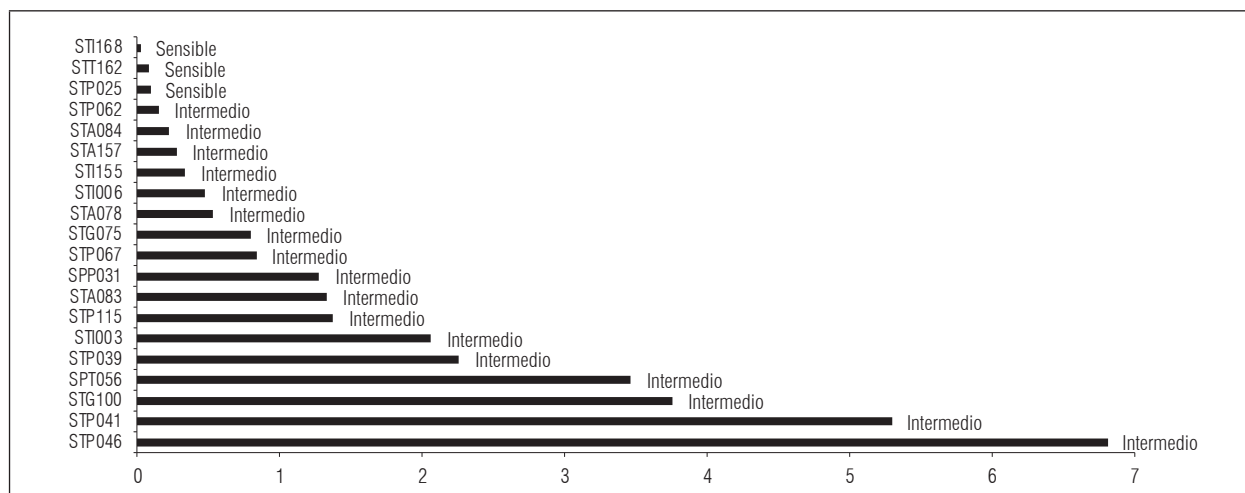
Cepas	$EC_{50}$	Clasificación
STP046	12,21	Resistente
STA157	11,91	Resistente
STP041	11,39	Resistente
STP115	10,03	Resistente
STP025	8,62	Intermedio
STP067	8,38	Intermedio
SPT056	7,29	Intermedio
STG075	7,05	Intermedio
STG100	6,84	Intermedio
STP039	6,70	Intermedio
SPP031	6,63	Intermedio
STP062	5,46	Intermedio
STI003	4,95	Intermedio
STI006	4,44	Intermedio
STI155	4,41	Intermedio
STA083	3,65	Intermedio
STT162	3,45	Intermedio
STI168	3,42	Intermedio
STA078	3,38	Intermedio
STA084	3,26	Intermedio

en este estudio conducen a redoblar los esfuerzos por implementar estrategias anti-resistencia en el Departamento de Nariño, según recomendadas de FRAC (2018) para el manejo de estos fungicidas y descritas por García *et al.* (2008) en los siguientes aspectos: implementar prácticas culturales de control, utilizar mezclas que incluyan fungicidas de tipo fenilaminas con productos protectantes multisitio en proporciones superiores al 75% y limitar el uso curativo o erradicante de dichos fungicidas limitando el uso entre 2 a 4 aplicaciones por ciclo de cultivo en intervalos mínimos de 14 d.

### Cimoxanil 6% + Propineb 70%

La eficiencia encontrada en la inhibición de producción de esporangios y crecimiento del patógeno, se deba a que este fungicida compuesto por Cimoxanil, un ingrediente activo que posee un modo de acción multisitio, incluye la inhibición de la síntesis de ADN, ARN, aminoácidos y lípidos, además de afectar la respiración celular y la permeabilidad de la membrana celular inhibiendo el crecimiento de micelio del oomicete durante el periodo de incubación (Escudero, 2005).

Con respecto a los valores de  $EC_{50}$  se encontró que los valores oscilaron entre  $0.02853 \mu\text{g mL}^{-1}$  (aislamiento STI168) y  $6,8116 \mu\text{g mL}^{-1}$  (aislamiento STP046), con un promedio de 1,575 (Fig. 2). Estos valores permitieron clasificar los aislamientos siguiendo la escala propuesta por Wang *et al.* (2002) encontrando que el 85% presentaron sensibilidad intermedia, el 15% sensibilidad y ninguno de los aislamientos mostró resistencia.



**Figura 2. Dosis media efectiva ( $EC_{50}$ ) para aislamientos de *Phytophthora infestans* frente a Cimoxanil + Propineb.**



Al comparar los valores encontrados de  $EC_{50}$  con otros estudios realizados en el país, se encuentra que es frecuente este comportamiento de sensibilidad en aislamientos de *P. infestans* frente a Cimoxanil. Estudios realizados por Lagos (2002) mostraron que de 64 aislamientos de *P. infestans* evaluados y procedentes de Nariño, el 83% resultó sensible al ingrediente activo Cimoxanil y ninguno alcanzó el nivel de clasificación de resistente. De igual forma, Ochoa (2004) al evaluar 50 aislamientos obtenidos de diferentes regiones de Colombia, encontró que ninguno tuvo la capacidad de crecer en medios de cultivos suplementados con una concentración del ingrediente activo Cimoxanil al  $0,8 \mu\text{g mL}^{-1}$ , estos resultados demuestran que en las poblaciones evaluadas no se reportó aislamientos resistentes a la molécula. En cuanto a evaluaciones con el producto comercial García *et al.* (2008) reporta que para poblaciones de *P. infestans* aisladas de los departamentos de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca frente a Curzate M-8 (DuPont™), se observan altos niveles de sensibilidad con valores promedios de  $EC_{50}$  de  $0,20 \mu\text{g mL}^{-1}$ .

**Tabla 9. Clasificación de aislamientos de *P. infestans* según los valores de dosis media efectiva ( $EC_{50}$ ) del fungicida Cimoxanil 6% + Propineb 70%.**

Aislamiento	$EC_{50}$	Clasificación
STP046	6.81167519	Intermedio
STP041	5.29215813	Intermedio
STG100	3.75804642	Intermedio
SPT056	3.46753449	Intermedio
STP039	2.26203998	Intermedio
STI003	2.06494207	Intermedio
STP115	1.37711758	Intermedio
STA083	1.33328641	Intermedio
SPP031	1.28169424	Intermedio
STP067	0.83474941	Intermedio
STG075	0.79677689	Intermedio
STA078	0.53733513	Intermedio
STI006	0.48214208	Intermedio
STI155	0.33825317	Intermedio
STA157	0.27725433	Intermedio
STA084	0.23039431	Intermedio
STP062	0.15117051	Intermedio
STP025	0.09758411	Sensible
STT162	0.09145114	Sensible
STI168	0.02853526	Sensible

Los resultados encontrados permiten indicar la ausencia de poblaciones del patógeno resistente a Cimoxanil en las zonas productoras de papa en el Departamento de Nariño, indicando que la presión de selección no es muy fuerte y que el uso de fungicidas a base de Cimoxanil aún es un control eficiente de la enfermedad. Esto se debe principalmente a que la molécula ya no es utilizada de manera intensiva por la aparición de nuevas moléculas preventivas y curativas para el control de *P. infestans*, lo que facilita realizar rotaciones de ingredientes activos entre aplicaciones.

A pesar que Cimoxanil es calificado por la FRAC (2018) con un nivel de riesgo bajo, el hecho de encontrar aislamientos de *P. infestans* con valores de  $EC_{50}$  superiores hasta cinco veces con respecto al promedio encontrado en el resto de la población, es un indicativo de la necesidad de continuar con el monitoreo y especialmente de establecer medidas que eviten la aparición de aislamientos resistentes al producto, reduciendo la utilización de productos cuyo ingrediente activo sistémico sea Cimoxanil como un producto erradicante y alternando su aplicación con otros fungicidas sistémicos que presenten diferentes ingredientes activos y modos de acción (Gullino *et al.*, 1997).

### Fluopicolide 6% + Propineb 66,7%

La inhibición del crecimiento del patógeno se debe a que el fungicida interrumpe la división celular y la mitosis actuando sobre una proteína conocida como espectrina, la cual desempeña un papel vital en la estabilidad del citoesqueleto del patógeno, además induce lisis del micelio (Toquin *et al.*, 2007; Briggs *et al.*, 2006; FRAC, 2018). Por otra parte, la actividad antiesporulante se lleva a cabo primero con la detención, seguido del hinchamiento y ruptura de las estructuras reproductivas (esporangio y zoosporas) después de un minuto de ser tratados con el fungicida (Toquin *et al.*, 2007).

Los resultados de esta investigación difieren a los obtenidos por Saville *et al.* (2015) reportan una  $EC_{50}$  promedio de *P. infestans* frente a el ingrediente activo Fluopicolide (99.1 %) de  $0.47 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Por otro lado, Keinath y Kousik (2011) en su evaluación de sensibilidad de aislamientos de *P. infestans* frente a Fluopicolide reportan valores de  $EC_{50}$  valores promedio de  $0,22 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Es importante destacar que los resultados de estos trabajos difieren con los reportados en esta investigación debido a que las metodologías de evaluación utilizadas y la fuente de la molécula química

empleada fueron diferentes, pues en dichos trabajos se utilizó el ingrediente activo en grado técnico con una concentración del 99,1%, mientras que en este estudio la fuente correspondió a una formulación comercial, en la que el ingrediente activo Fluopicolide se encuentra al 6% además de estar acompañado por el fungicida protectante Propineb al 66,7%.

**Tabla 10. Clasificación de aislamientos de *P. infestans* según los valores de dosis media efectiva ( $EC_{50}$ ) del fungicida Fluopicolide 6% + Propineb 66,7%.**

Aislamiento	$EC_{50}$
STP067	7,429858586
STA157	7,289353415
STI155	5,58909584
STG075	5,332464088
SPT056	5,009433128
STP046	4,787867895
STP115	3,995937667
STA083	3,124509027
STA078	2,502246318
STI006	1,41583901
STG100	1,15449664
STP025	1,037538963
STI003	0,814346463
SPP031	0,653942765
STP041	0,618132027
STP039	0,542802924
STP062	0,521781635
STI168	0,506779778
STA084	0,041677145
STT162	0,025894094

Hasta la fecha no se conocen reportes de resistencia de poblaciones *P. infestans* a Fluopicolide (FRAC, 2018), por tal razón es importante implementar programas anti resistencia como lo propone la FRAC, quienes recomiendan el uso de mezclas de tanque o mezclas comerciales que incluyan fungicidas del tipo fenilamidas con productos protectantes multi-sitio, además de establecer una línea base del nivel de sensibilidad de *P. infestans* a Fluopicolide, de modo que cambios a futuro encaminados a generar resistencia en las poblaciones de este patógeno puedan ser comparados con la línea base de sensibilidad establecida y de esa manera tener más control sobre el

uso de productos con este ingrediente activo (Keinath y Kousik, 2011). Es importante destacar que este estudio que establece las  $EC_{50}$  para este ingrediente activo (Fluopicolide) será útil a futuro como punto de referencia para investigaciones posteriores puesto que hasta el momento no se han realizado escalas para determinar la sensibilidad de *P. infestans* frente a este fungicida.

## CONCLUSIONES

Los aislamientos de *Phytophthora infestans* evaluados presentaron diferentes niveles de sensibilidad al fungicida compuesto por Metalaxil + Mancozeb, encontrando aislamientos resistentes (20%) y medianamente sensibles (80%), debido al uso intensivo de fungicidas que contienen Metalaxil, lo cual ha llevado a que las poblaciones presenten o puedan llegar a presentar un proceso de adaptación a la molécula dando lugar a bajos porcentajes de inhibición y altos valores de  $EC_{50}$ .

La inhibición del crecimiento micelial y la esporulación de *P. infestans* se vio reducida para los tres fungicidas a partir de la dosis  $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ , la diferencia se encontró en los valores de  $EC_{50}$  en donde los fungicidas a base de Cimoxanil + Propineb y Fluopicolide + Propineb presentaron valores más bajos a los del fungicida a base de Metalaxil + Mancozeb, encontrando para Cimoxanil + Propineb aislamientos sensibles (15%) y medianamente sensibles (85%) y ningún aislamiento resistentes.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por la Gobernación de Nariño dentro del Sistema General de Regalías en la modalidad de Joven Investigador dentro del programa: "Fortalecimiento de Capacidades Regionales en Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en el Departamento de Nariño", el cual se encontraba bajo la coordinación de la Fundación CEIBA y el Grupo de Investigación Genética y Evolución de Organismos Tropicales de la Universidad de Nariño.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado por los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Briggs, G., D. Mansfield, B. Moloney, S. Gary y T. Wegmann. 2006. The discovery and chemistry of fluopicolide. A new estándar for Oomycetes disease control. *Pflanzenschutz Nachr.* 59, 141-152.
- DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia. 2018. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Bogotá.
- Escudero, M. 2005. Secuencia parcial del gen citocromo b de *Phytophthora infestans* y su relación con la resistencia al fenamidone. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Erwin, D.C. y O.K. Ribeiro. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. APS Press, St. Paul, MN.
- FRAC, Fungicide Resistance Action Committee. 2018. FRAC code list: fungicides stored by mode of action. Bruselas, Bélgica.
- García, H., M. Marín, S. Jaramillo y J.M. Cotes. 2008. Sensibilidad de aislamientos colombianos de *Phytophthora infestans* a cuatro fungicidas sistémicos. *Agron. Colomb.* 26(1), 47-57.
- Granada, N., C. Naranjo, J. Castaño y R. Castro. 2002. Efecto de once extractos vegetales sobre el tizón tardío causado por *Phytophthora infestans* (Mont) De Bary en papa (*Solanum phureja*). *Agronomía* 10(1-2), 2-20.
- Grunwald, N.J., A.K. Stturbaum, G. Romero, E. Garay, H. Loyosa y W.E. Fry. 2006. Selection for fungicide resistance within a growing season in field populations of *Phytophthora infestans* at center of origin. *Phytopathology* 96, 1397-1403. Doi: 10.1094/PHYTO-96-1397
- Gullino, M.I., E. Mescalchin y M. Mezzalama. 1997. Sensitivity to cymoxanil in populations of *Plasmopara viticola* in northern Italy. *Plant Pathol.* 46, 726-736. Doi: 10.1046/j.1365-3059.1997.d01-68.x
- Jaramillo, S. 2004. Monografía sobre *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Keinath, A.P. y C.S. Kousik. 2011. Sensitivity of isolates of *Phytophthora capsici* from the Eastern United States to Fluopicolide. *Plant Dis.* 95(11), 1414-1419. Doi: 10.1094/PDIS-03-11-0242
- Lagos, L.E. 2002. Aislamiento y caracterización genética de las poblaciones de *Phytophthora infestans* en las zonas productoras de papa *Solanum tuberosum* en el departamento de Nariño. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Marín, M. y J. Mira. 1998. Caracterización de razas fisiológicas y tipo de apareamiento en aislamientos de *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary, en diferentes pisos térmicos y hospedantes en el departamento de Antioquia. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Montes, G., H. Lozoya, G. Mora, S. Fernández y N. Grünwald. 2012. Rendimiento de papa en función de epidemia por tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary). *Rev. Fitotec. Mex.* 35(1), 69-78.
- Nuninger, C., C. Steden, y T. Staub. 1995. The contribution of Metalaxyl-based fungicide mixtures to potato late blight control *Phytophthora infestans* 150. pp. 122-129. En: Dowley, L.J., E. Bannon, L.R. Cooke, T. Keane y E. O'Sullivan (eds.). European Association for Potato Research-Pathology Section Conference. Boole Press, Dublin, Irlanda.
- Ochoa, D. 2004. Determinación de la sensibilidad en los aislamientos colombianos de *Phytophthora infestans* hacia Cymoxanil, Dimetomorf y Clorotalonil. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Pérez, W. y G. Forbes. 2008. Manual técnico del tizón tardío de la papa. Centro Internacional de la Papa, Lima.
- Santana, F.M., C.B. Gómez, C. Rombaldi, V.J. Bianchi y A. Reis. 2013. Characterization of *Phytophthora infestans* populations of southern Brazil in 2004 and 2005. *Phytoparasitica* 41, 557-568. Doi: 10.1007/s12600-013-0316-y
- Saville, A., K. Graham, N.J. Grunwald, K. Myers, W.E. Fry y J.B. Ristaino. 2015. Fungicide sensitivity of U.S. genotypes of *Phytophthora infestans* to six oomycete-targeted compounds. *Plant Dis.* 99(5), 659-666. Doi: 10.1094/PDIS-05-14-0452-RE
- Toquin, V., F. Barja, C. Sirven y R. Beffa. 2008. Fluopicolide, a new Anti-oomycetes fungicide with a new mode of action inducin perturbation of a spectrin-like protein. pp. 675-681. En: Kramer, W. y U. Schirmer (eds.). Modern crop protection compounds. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, Alemania. Doi: 10.1002/9783527619580.ch19
- Wang, W.Q., Z.Q. Ma, X.F. Zhang, W.J. Zhang y M. David. 2002. Resistance to fungicides, mating types and fitness of *Phytophthora infestans*. *Acta Phytopathol. Sin.* 32(3), 278-283.

# Reutilización del sustrato cascarilla de arroz *in natura* tras el cultivo de tomate para la producción de híbridos de pepino de conserva (*Cucumis sativus* L.) en sistema de recirculación de lixiviado

Reuse of a raw rice husk substrate after tomato cultivation for the production of pickling cucumber hybrids (*Cucumis sativus* L.) in a leachate recirculation system



CRISTIANE NEUTZLING<sup>1, 3</sup>  
ROBERTA MARINS NOGUEIRA PEIL<sup>1, 2</sup>  
CHAIANE BORGES SIGNORINI<sup>1</sup>  
PAULO ROBERTO GROLLI<sup>1</sup>  
LAIS PERIN<sup>1</sup>

**Plantas de pepino en experimentación.**

Foto: C. Neutzling

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento y rendimiento de tres cultivares híbridos de pepino de conserva, Feisty, Kybria y Tony, cultivados en el sistema de canales con recirculación del lixiviado y empleando el sustrato cascarilla de arroz *in natura* nuevo y reutilizado después del cultivo de tomate (CAR). El ensayo se instaló en un invernadero ubicado al sur de Brasil, entre el octubre del 2016 y el enero del 2017. Donde se evaluó las siguientes variables: masa seca de hojas, tallo y frutos, número de hojas, índice de área foliar y rendimiento. No se encontraron interacciones significativas entre el cultivar y el sustrato. La CAR no afectó el crecimiento ni tampoco el rendimiento de las plantas, sin embargo, ocasionó el incremento del peso medio de los frutos de pepino y la disminución en el número de frutos cosechados. 'Kybria', seguida de 'Tony', presentaron mayor crecimiento de frutos y rendimiento en relación a 'Feisty', en el cual se observó mayor crecimiento vegetativo en detrimento del crecimiento de los frutos. Los rendimientos obtenidos fueron altos con valores de 4,85; 7,18 y 8,33 kg m<sup>-2</sup>, respectivamente para los híbridos Feisty, Tony y Kybria. Así, se puede considerar que la cascarilla de arroz, nueva y reutilizada, son excelentes para la producción del pepino de conserva en sistema de recirculación de solución nutritiva.

**Palabras clave adicionales:** cultivo sin suelo; sistema cerrado; ensayo de cultivares; rendimiento.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Fitotecnia, Pelotas (Brasil). ORCID Neutzling, C.: 0000-0001-5801-5852; ORCID Peil, R.M.N.: 0000-0002-4855-3638; ORCID Signorini, C.B.: 0000-0003-4847-8516; Grolli, P.R.: 0000-0002-5695-9072; ORCID Perin, L.: 0000-0003-4886-9664

<sup>2</sup> Bolsista CNPq

<sup>3</sup> Autor para correspondencia. [cristianeneutzling@hotmail.com](mailto:cristianeneutzling@hotmail.com)

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the growth and yield of three pickling cucumber hybrid cultivars: Feisty, Kybria and Tony, using a fresh rice husk substrate and a rice husk substrate reused after tomato cultivation in a leachate recirculation system (CAR). This trial was installed in a greenhouse located in southern Brazil between October, 2016 and January, 2017. The following variables were evaluated: dry mass of leaves, stems and fruits, number of leaves, leaf area index and yield. No significant interactions were found between the cultivars and the substrates. The reused substrate did not affect the growth nor the yield of the plants; however, the CAR caused an increase in the average weight of the cucumber fruits and a decrease in the number of harvested fruits. 'Kybria', followed by 'Tony', presented a higher fruit growth and yield than 'Feisty', in which a greater vegetative growth was observed to the detriment of the fruit growth. The yields were high with values of 8.33, 7.18 and 4.85 kg m<sup>-2</sup>, respectively, for the hybrids: Feisty, Kybria and Tony. In conclusion, rice husks, new and reused, are excellent for the production of canned cucumbers in a nutrient recirculation system.

**Additional key words:** soilless cultivation; closed system; cultivar trial; yield.

Fecha de recepción: 30-01-2018 Aprobado para publicación: 30-11-2018

## INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una de las principales hortalizas cultivadas en invernadero, siendo su fruto de suma importancia en el mercado brasileño, con una producción de 208.294 t (IBGE, 2017). El mayor problema actual de los cultivos en suelo es la pérdida de producción por problemas fitosanitarios (Rosa, 2015), ocasionados, sobretodo, por hongos como *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* y *Verticillium*. Por esta razón, surge como opción, el sistema de cultivo en sustrato (Andriolo *et al.*, 2009).

Actualmente, se destaca el sistema de canales para la deposición del sustrato (Perin, 2018). Los canales deben contar con una pendiente determinada para el drenado de la solución nutritiva. Este sistema elimina la necesidad de macetas (Perin, 2018).

De manera general, en Brasil los agricultores utilizan el sistema "abierto" de cultivo en sustrato (Marques y Peil, 2016), donde la solución nutritiva lixiviada es vertida directamente al suelo, generando salinización y contaminación de la capa freática (Marques y Peil, 2016). Una alternativa a este problema es el sistema "cerrado", donde se reutiliza el drenado de los canales; esto reduce los impactos ambientales y proporciona el ahorro de agua y fertilizantes (Marques y Peil, 2016). No obstante, se recomienda utilizar sustrato de baja actividad química para evitar salinización (Carini, 2016).

En la región sur del Brasil, se destaca la disponibilidad de la cascarilla de arroz (CA) "carbonizada", obtenida a partir de un proceso de combustión controlada. Sin embargo, el proceso de carbonización es muy dispendioso y requiere licenciamiento ambiental (Carini, 2016). La CA *in natura*, asimismo, puede ser empleada en sistemas cerrados para distintos cultivos, tales como: calabacín (Strassburger *et al.*, 2011), melón (Duarte *et al.*, 2008) y tomate (Peil *et al.*, 2014; Carini, 2016; Rosa *et al.*, 2016) y presentando buena productividad.

Los agricultores que utilizan la CA carbonizada saben que su descomposición es lenta (Melo *et al.*, 2006) y que se puede reutilizar. No obstante, la CA *in natura* no es un material inocuo y, consecuentemente, la actividad microbiana puede alterar su composición y más aun con la solución nutritiva incorporada. Eso puede llevar a la descomposición del material. Sin embargo, según Rosa *et al.* (2016), es posible reutilizar, sin perjuicios en la producción y calidad de los frutos procedente del cultivo del mini tomate *grape*. El sustrato parcialmente descompuesto aumenta la retención del agua (Fernandes *et al.*, 2006).

El pepino, al ser un cultivo de ciclo rápido, puede ser una alternativa para suceder al tomate, por ser de diferente familia botánica, disminuyendo la probabilidad de transmisión de enfermedades.

Cabe señalar que la escasez de información acerca de la adaptación de cultivares de pepino en las diferentes regiones del país. Asimismo, las respuestas al sistema propuesto están sujetas a las características genéticas de los cultivares empleados, una vez que estos pueden presentar diferencias en cuanto al crecimiento y la producción de frutos.

Por lo expuesto anteriormente, el trabajo se basa en la hipótesis de que la CA *in natura* reutilizada no presenta alteraciones significativas en sus propiedades físicas y químicas, por ende, no altera el crecimiento, la producción y la calidad de los frutos de pepino en el sistema propuesto. Sin embargo, las respuestas al sistema de cultivo pueden variar de acuerdo con el material genético.

De esta manera, el objetivo del trabajo fue evaluar el crecimiento y el rendimiento de tres híbridos de pepino de conserva cultivados en sustrato de CA *in natura* de primer uso y reutilizado de un cultivo anterior de tomate, en sistema de canales con recirculación del lixiviado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Campo Experimental y Didáctico del Departamento de Fitotecnia de la Facultad de Agronomía Eliseu Maciel/Campus de la Universidad Federal de Pelotas, ubicada en el municipio Capão do Leão-RS, Brasil, en el período comprendido entre octubre de 2016 y enero de 2017. Las coordenadas geográficas aproximadas son 31°52' S y 52°21' W, con una altitud de 13 msnm.

El ensayo se realizó en un invernadero con cubierta de polietileno (150  $\mu\text{m}$  de espesor), techo en arco y superficie de 210 m<sup>2</sup> (10×21 m). El suelo estaba cubierto con plástico bicapa (blanco/negro).

Las condiciones climáticas del invernadero se han manejado solamente por ventilación natural. La temperatura y la humedad relativa del aire fueron medidas mediante termohigrómetro digital IncoTerm (Cotronic Technology, China). El promedio de las temperaturas máximas y mínimas del aire fueron, respectivamente, 34,0 y 16,3°C; las máximas y mínimas de la humedad relativa fueron de 83,1 y 47,1%, respectivamente. Datos de la insolación global incidente al exterior se han obtenido a través de la "Estación Agrometeorológica de Pelotas", ubicada a 1.000 m del invernadero y registró un promedio diario de 19,1 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

La solución nutritiva utilizada se ha basado en la recomendación de Casas (1999) para el cultivo de pepino. La conductividad eléctrica (CE) de 1,8 dS m<sup>-1</sup>. La concentración de macronutrientes (mmol L<sup>-1</sup>) fue: 11,9 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 1,3 de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 1,9 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, 0,7 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 7,3 de K<sup>+</sup>, 3,5 de Ca<sup>+2</sup> y 1,0 de Mg<sup>+2</sup>; y de microelementos (en mg L<sup>-1</sup>): 1,5 de Fe; 0,5 de Mn; 0,26 de Zn; 0,25 de B; 0,03 de Cu y 0,05 de Mo. Se utilizó agua de lluvia para su preparación. El pH osciló en un rango de 5,5 a 6,5.

Se emplearon los híbridos de pepino de conserva: Feisty (Tecnoseed®, Uberlândia, MG); Kybria (TopSeed Premium®, Jaíba, MG) y Tony (Feltrin Sementes®, Farroupilha, RS). Los tres se describen como plantas ginoicas con frutos partenocárpicos. La siembra se realizó en bandejas de poliestireno de 72 celdas con sustrato comercial Carolina Soil® (Santa Cruz do Sul-RS, Brasil) el 27/09/2016. Las bandejas fueron dispuestas en sistema *floating*. La solución nutritiva usada en esta fase es la misma formulación antes descrita, con una CE de 0,9 dS m<sup>-1</sup> y suministrada a partir de los 27 d después de la siembra.

El sistema de cultivo estaba formado por 12 canales de madera (0,30 m de ancho y 7,50 m de largo), dispuestos en seis líneas dobles, con distancia de 0,50 m y un espaciado de 1,20 m. Los canales fueron dispuestos con una pendiente del 3%, favoreciendo el drenado hacia el estanque colector. Se usaron dos estanques de vibra de vidrio (uno para cada sustrato) con capacidad de 500 L, enterrados en la extremidad correspondiente a la menor cota de los canales.

Se recubrió la parte interna de los canales con polietileno flexible. Luego, se llenaron seis canales con sustrato CA *in natura* (CAN), formando una cama de 7,50 m de largo, 0,25 m de ancho y 0,10 m de alto. Y los otros seis canales se dispusieron con sustrato de CA reutilizado (CAR) de un cultivo anterior de tomate *grape* en ciclo de 274 d sin mezclar. Se usó un sistema de riego por goteos con distancia de 0,10 m, y flujo promedio de 1,60 L h<sup>-1</sup>.

El transplante ocurrió el 26/10/2016, cuando las plantas presentaban dos hojas verdaderas. La distancia entre plantas 0,40 m y densidad 2,9 plantas/m<sup>2</sup>. En cada canal se plantó 6 plantas de cada cultivar, sumando 18 plantas. En total, el ensayo contenía 216 plantas, 72 de cada cultivar.

El riego implementado fue solamente con agua de grifo en los dos primeros días, posteriormente se empleó una solución nutritiva con CE de 0,9 dS m<sup>-1</sup>. Se

incrementó la CE hasta 1,4 y 1,8 dS m<sup>-1</sup> a los 7 y 15 d, respectivamente, y se mantuvo hasta el final del experimento. El sistema de riego estuvo controlado por un temporizador, el cual cada hora durante 15 min, entre las 7:00 am y las 7:00 pm, con ayuda de una bomba, suministraba la solución nutritiva. En la noche, dos riegos se realizaban: a las 9:00 p.m. y a las 12:00 a.m. No obstante, la configuración del temporizador fue modificada según las condiciones climáticas.

El tutorado se realizó mediante hilos plásticos dispuestos verticalmente y con Hidroclip® (Agroestufa, Birigui, SP). La conducción fue de un solo tallo, quitándose flores y tallos laterales hasta la axila de la quinta hoja. Se permitió el crecimiento de tallos laterales a partir de la axila de la sexta hoja, los cuales fueron despuntados tras el surgimiento de la cuarta hoja. Las plantas se despuntaron hasta los 2,0 m de altura. La recolección empezó a los 21 días después del trasplante (ddt; 16/11/2016) y se finalizó a los 73 ddt. Los frutos fueron recolectados diariamente cuando presentaban entre 4-10 cm de largo.

Para evaluar el crecimiento, al término del ensayo se han separado las plantas en tres fracciones: hojas, tallo y frutos, que se pesaban en fresco y se secaban en una estufa tipo armario modelo MA035 (Marconi, Piracicaba-SP, Brasil) con ventilación y temperatura de 65°C hasta que llegaron a un peso constante (MS). Asimismo, se contaba el número de hojas, frutos y medición del área foliar con el equipo LI-3100C (LICOR®, Lincoln, NE, USA). Todos los frutos recolectados durante el ciclo productivo y las hojas procedentes del deshojado se incorporaran individualmente a la fracción correspondiente de cada planta control. A partir de los datos obtenidos, se calcularon la producción y la distribución de MS, el índice de área foliar (IAF = m<sup>2</sup> hojas/m<sup>2</sup> suelo), el área foliar específica (AFE = cm<sup>2</sup> hojas/MS hojas), el peso medio de los frutos (PM) y el rendimiento.

Las siguientes características físicas y químicas de los sustratos fueron determinadas al inicio (0 ddt) y al final del ensayo (73 ddt): densidad en seco (Ds), porosidad total (PT), espacio de aireación (EA), capacidad máxima de retención del agua (CMR), pH y CE. Los análisis se han realizado en el Laboratorio de Análisis de Sustratos para Plantas, Departamento de Diagnóstico e Investigación Agropecuaria de la Secretaría de Estado de Agricultura, Pecuaria e Irrigación-RS.

Se empleó un diseño experimental factorial 2×3 (dos sustratos × tres cultivares) en bloques al azar con parcelas divididas con seis repeticiones. El factor

sustrato se ha asignado a la parcela (un canal) y el factor cultivar a la subparcela (seis plantas). Para las variables de crecimiento y producción se utilizaron tres plantas por repetición (18 plantas/tratamiento) y cinco plantas por repetición (30 plantas/tratamiento), respectivamente. Se descartaron las plantas ubicadas en los extremos de las líneas. Los datos se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias por la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La interacción sustrato × cultivar no presentó efectos significativos sobre todas las variables evaluadas, permitiendo estudiar por separado el efecto principal de los dos factores.

El análisis químico-físico de los sustratos (Tab. 1) indicó que al final del ensayo, la Ds de la CAN disminuyó considerablemente desde 214 a 86 g L<sup>-1</sup>. Sin embargo, la PT y el EA no presentaron cambios significativos. La CE se mantuvo igual, mientras que el pH disminuyó ligeramente.

Por otro lado, el análisis de la CAR indicó un ligero incremento de Ds y PT (Tab. 1) y la reducción del EA de 0,58 a 0,30 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. La CMR aumentó de 0,14 a 0,53 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Se verificó un incremento de la CE, desde 0,07 dS m<sup>-1</sup> en el inicio y alcanzando 0,41 dS m<sup>-1</sup> al término del ensayo. El pH se mantuvo el mismo.

Los resultados indicaron una mayor degradación de la CAR al final del cultivo en relación a la CAN. Esto se puede confirmar por los valores más altos de PT, por la reducción del EA y por el incremento de la CMR (Tab. 1). La mayor degradación de la CAR resultó en partículas menores lo que conllevó a una mayor Ds del sustrato. La degradación de las partículas y disminución de su tamaño aumenta la PT, especialmente la microporosidad, y por consiguiente reduce el EA. Esto se debe a la presencia de más sólidos (partículas de sustrato + raíces), relleno del espacio de aireación. La presencia de raíces remanentes del cultivo de tomate ocasionó posiblemente el espaciado de las partículas de la cascarilla. Sin embargo, las raíces ya estaban en avanzado proceso de descomposición, resultando en el aumento de la cantidad de material sólido de mayor peso específico. Eso conllevó a un considerable incremento de la CMR. El EA está relacionado a la CMR de tal manera que una disminución del EA resulta directamente en un aumento de la CMR. Zorzeto (2014) reportó que fracciones grandes

de partículas en el sustrato favorecen la aireación del sistema radical, pero por otra parte, dificultan la retención del agua, ante la ausencia de microporos.

El aumento de la CE de la CAR (Tab. 1) puede atribuirse a la secuencia de dos cultivos bajo fertirriego, lo que propicia mayores cantidades de nutrientes en sustratos usados por largos períodos (Cardoso, 2009). En paralelo a eso, el suministro constante de nutrientes durante un largo período promueve la descomposición y disminución del tamaño de las partículas del material, conllevando al aumento de la CMR del sustrato (Fernandes, 2005).

Los menores valores de pH (Tab. 1) de la CAR indican una mayor lixiviación del sustrato en virtud del tiempo de utilización, lo que incrementa la absorción de iones hidrógeno al material.

De esa manera, se puede creer que los sustratos de CA reutilizados poseen mayor capacidad de retención de agua y disponibilidad de nutrientes en comparación al material de primer uso.

Los sustratos no influyeron sobre las variables de crecimiento (Tab. 2). El cultivo en CAR favoreció el aumento del peso de los frutos y redujo el número de

**Tabla 1. Densidad seca (Ds), porosidad total (PT), espacio de aeración (EA), capacidad máxima de retención del agua (CMR), pH y conductividad eléctrica (CE) de los sustratos cascarilla de arroz *in natura* nueva y reutilizada\*, al inicio (0 días después del trasplante; ddt) y al final (73 ddt) del cultivo de pepino conserva en sistema de canales con recirculación de la solución nutritiva.**

	Cascarilla de arroz <i>in natura</i> nueva (CAN)		Cascarilla de arroz <i>in natura</i> reutilizada (CAR)*	
	0 ddt	73 ddt	0 ddt	73 ddt
Ds (g L <sup>-1</sup> )	214	86	90	101
PT (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,64	0,72	0,72	0,83
EA (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,32	0,29	0,58	0,30
CMR (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,32	0,43	0,14	0,53
pH	6,15	5,91	5,29	5,23
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,08	0,08	0,07	0,41

\* Cascarilla de arroz reutilizada tras el cultivo del tomate *grape*, en ciclo de 274 d.

**Tabla 2. Efecto de la reutilización del sustrato cascarilla de arroz *in natura* (CAR), en relación con la cascarilla nueva (CAN) y del cultivar, sobre la producción y distribución de la masa seca (MS), número de hojas, índice de superficie foliar (IAF) y superficie foliar específica (AFE), para pepino conserva en sistema de canales con recirculación de la solución nutritiva.**

Efecto	Producción de MS (g/planta)		Distribución de MS (%)		Número de hojas	IAF	AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
	Vegetativa <sup>3</sup>	Frutos	Vegetativa	Frutos			
<b>Sustrato</b>							
CAN <sup>1</sup>	153,8 a	104,7 a	59,4 a	40,6 a	154 a	5,1 a	230,7 a
CAR <sup>2</sup>	151,5 a	115,1 a	58,5 a	41,5 a	147 a	5,2 a	236,7 a
<b>Cultivar</b>							
Kybria	125,1 b	137,3 a	47,3 c	52,7 a	111 c	4,9 a	253,3 a
Tony	168,3 a	116,4 b	59,1 b	40,9 b	181 a	5,5 a	233,1 ab
Feisty	164,5 a	75,9 c	68,4 a	31,6 c	159 b	5,1 a	214,8 b
CV (%)	10,98	14,37	6,66	9,39	12,71	13,2	11,86

<sup>1</sup> Cascarilla de arroz *in natura* de primer uso.

<sup>2</sup> Cascarilla de arroz reutilizada tras el cultivo del tomate *grape*, en ciclo de 274 d.

<sup>3</sup> Vegetativa = tallo + hojas; IAF = índice de área foliar; AFE = área foliar específica.

Promedios con letras distintas en la columna, indican una diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).



frutos (Tab. 3). No hubo diferencia entre los sustratos en cuanto al rendimiento.

El mayor peso de los frutos (Tab. 3), obtenido con el uso de la CAR (14,60 g), posiblemente, está relacionado a la mayor CMR (Tab. 1), lo que garantizó un mayor aporte de agua a los frutos. En cambio, el número de frutos se ha visto reducido en este sustrato (7,8 frutos menos que las plantas de CAN). Cabe señalar que frutos mayores demandan más asimilados, lo que lleva a un incremento de la competencia y por ende un inferior índice de cuajado que reduce el número de frutos producidos, como observó Peil (2000) para el pepino largo. El peso que se requiere en el procesamiento es variable y lo define la industria. Así, no se puede afirmar que las diferencias observadas entre los sustratos son relevantes para el estándar del mercado.

Independientemente del sustrato, los rendimientos obtenidos pueden considerarse altos, con un promedio experimental de 6,71 kg m<sup>-2</sup> y 169,5 frutos producidos por planta.

A pesar de las diferencias observadas entre las propiedades de los sustratos (Tab. 1), las variables del crecimiento (Tab. 2) y rendimiento (Tab. 3) fueron afectados entre los dos sustratos. La menor cantidad de frutos recolectados en la CAR se compensó por el mayor peso (Tab. 3), resultando así, matemáticamente, una similitud entre los rendimientos de los sustratos. La ausencia de diferencias se atribuye a la resistencia a la descomposición de la CAN. Tras pasar por dos ciclos de cultivo, comprendiendo un período de cerca de 300 d, los cambios en sus propiedades fueron poco relevantes desde el punto de vista de las

necesidades del cultivo. Añadido a eso, las características propias del sistema de cultivo, con suministro frecuente de solución nutritiva, favorecieron la homogeneidad de respuestas de las plantas. Coincidiendo con nuestros resultados, Rosa *et al.* (2016) obtuvieron elevados rendimientos al reutilizar la CA para el cultivo del tomate *grape* en sistema recirculante, sin diferencias significativas entre la cascarilla nueva y la reutilizada.

Los análisis estadísticos del efecto principal del cultivar indicaron diferencias significativas en el grupo de variables de crecimiento, salvo el IAF (Tab. 2), y en las variables productivas, salvo el peso medio de frutos (Tab. 3).

El cv. Kybria presentó la mayor producción de masa seca (MS) de frutos y la menor producción de MS vegetativa, lo que favoreció la distribución de MS hacia los frutos comparado con 'Tony' y 'Feisty' (Tab. 2). Los otros dos cultivares no presentaron diferencia en cuanto a la producción de MS vegetativa. Sin embargo, la producción de MS de frutos de 'Feisty' fue considerablemente inferior, ocasionando una baja distribución de MS hacia estos órganos. Los frutos representaron el 52,7% de la MS acumulada de 'Kybria', lo que demuestra que estos fueron los principales sumideros de asimilados. En cambio, los órganos vegetativos respondieron por la mayor parte de la MS producida por las plantas de 'Tony' y 'Feisty', en detrimento de los frutos, que representaron el 40,9 y 31,6% de la MS, respectivamente.

Aunque el número de hojas fue significativamente inferior en 'Kybria' (111 hojas), y superior en 'Tony'

**Tabla 3. Efecto de la reutilización del sustrato cascarilla de arroz (CAR), en relación con la cascarilla nueva (CAN) y del cultivar, sobre los componentes del rendimiento de pepino conserva, en sistema de canales con recirculación de la solución nutritiva.**

Factor	Número de frutos por planta	Peso medio frutos (g)	Rendimiento (kg m <sup>-2</sup> )
<b>Sustrato</b>			
CAN <sup>1</sup>	178,2 a	12,8 b	6,62 a
CAR <sup>2</sup>	160,4 b	14,6 a	6,79 a
<b>Cultivar</b>			
Kybria	212,4 a	13,2 a	8,13 a
Tony	172,8 b	14,3 a	7,17 b
Feisty	122,7 c	13,6 a	4,84 c

<sup>1</sup> Cascarilla de arroz *in natura* de primer uso.

<sup>2</sup> Cascarilla de arroz reutilizada tras el cultivo del tomate *grape*, en ciclo de 274 d.

Promedios con letras distintas en la columna indican una diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

(181 hojas) y 'Feisty' (159 hojas), no se observaron diferencias significativas en lo que se refiere al IAF, cuyo promedio fue 5,2 (Tab. 2). Eso sugiere que las plantas de 'Kybria' tenían hojas mayores. La mayor AFE de 'Kybria' ( $253,3 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) indica una mayor capacidad de expandir las hojas con relación a la acumulación de MS en comparación a 'Feisty'. Por otra parte, la AFE de 'Tony' fue similar a la presentada por los otros dos cultivares.

Con relación a los componentes del rendimiento (Tab. 3), considerando que el peso de los frutos no difirió entre los cultivares (promedio de 13,7 g), se atribuye la diferencia al número de frutos. 'Kybria' sigue destacándose pues produjo 212,4 frutos/planta, superando a 'Tony' y 'Feisty', que produjeron, respectivamente, 172,8 y 122,7 frutos/planta. Consecuentemente, 'Kybria' presentó el mayor rendimiento ( $8,13 \text{ kg m}^{-2}$ ), frente a 'Tony' ( $7,17 \text{ kg m}^{-2}$ ) y 'Feisty' ( $4,84 \text{ kg m}^{-2}$ ).

Los rendimientos reportados en cultivo de campo varían entre  $2,65 \text{ kg m}^{-2}$ , para los cultivares Colônia y Score,  $2,97 \text{ kg m}^{-2}$  para Indaial (Resende, 1999), hasta  $4,54 \text{ kg m}^{-2}$  para 'Harmonie' (Cerne *et al.*, 2000). Cabe señalar que las cifras citadas son inferiores o similares al rendimiento obtenido por el cultivar de peor desempeño en este trabajo.

Luego, se puede afirmar que las características genéticas se muestran determinantes para la producción del pepino de conserva, una vez que definen los distintos patrones de crecimiento de la planta. La eficiencia de conversión de la radiación en biomasa depende de su interceptación y, por consiguiente, de la superficie foliar (Peil, 2000). Teniendo en cuenta que los tres cultivares presentaron IAF similares (Tab. 2), probablemente, la interceptación de la radiación también lo fue, aunque teniendo 'Kybria' menor cantidad de hojas y menor producción de MS vegetativa (Tab. 2). Por otra parte, este cultivar fue el que presentó mayor número (Tab. 3) y MS de frutos (Tab. 2), lo que le proporcionó mayor rendimiento (Tab. 3). De esta manera, se puede pensar, que sus plantas fueron más eficientes en distribuir la MS hacia los frutos (Tab. 2). En definitiva, 'Kybria' presentó un patrón más adecuado de distribución de MS entre los órganos aéreos de la planta.

El mayor número de frutos producidos por 'Kybria' (Tab. 3) aumentó la potencialidad de sumidero de estos órganos, ocasionando mayor distribución proporcional de MS hacia los frutos y, consecuentemente, mayor rendimiento. Eso confirma que la distribución

de MS mantiene una fuerte relación con la carga de frutos de la planta, como lo indica Peil (2000).

Schvambach *et al.* (2002) estudiaron la producción y distribución de MS hacia los frutos del cv. Marinda en función de la densidad de plantación, y obtuvieron un valor promedio de 49,5%, similar al obtenido para 'Kybria' (51,7%). Espínola *et al.* (2001) obtuvieron promedios entre el 40 y 59% para el cv. Crispina.

Las bajas respuestas de 'Feisty' pueden atribuirse a la presencia de una gran cantidad de flores masculinas. Eso llevó a un inferior número de frutos producidos (Tab. 3). Como resultado, las plantas presentaron un reducido crecimiento de los frutos, en beneficio de los órganos vegetativos (Tab. 2), lo que resultó en menor rendimiento (Tab. 3). Se puede afirmar que los órganos vegetativos de 'Feisty' fueron los mayores sumideros de los fotoasimilados, ya que estos representaron el 68,4% de la MS de la planta. Esta cifra se contrapone al observado, en general, para las cucurbitáceas, en las cuales los frutos son los mayores sumideros de fotoasimilados (Peil, 2000; Queiroga *et al.*, 2008).

Cabe señalar que este es uno de los primeros reportes sobre el tema. Así, no se han encontrado datos e informaciones relacionados para comparación. Estudios apuntan que el agua disponible disminuye rápidamente, cuando se usa la CAN. Como resultado, hay la necesidad de riegos frecuentes (Andriolo *et al.*, 1999), lo que acarrea pérdidas y, por consiguiente, costos. Sin embargo, al adoptarse el sistema recirculante, se pudo resolver el problema, porque la alta frecuencia del riego no conllevará a pérdidas de agua y fertilizantes al medio. Además, el sistema permite el ajuste de la frecuencia según la demanda del cultivo, el sustrato y la época del año. Así, ante los resultados obtenidos, se puede considerar que CAN o CAR son excelentes sustratos para la producción del pepino de conserva en sistemas con recirculación de la solución nutritiva.

## CONCLUSIONES

La reutilización del sustrato cascarilla de arroz *in natura*, tras el cultivo de tomate y recirculación de nutrientes, no afecta el crecimiento y tampoco el rendimiento de las plantas de pepino de conserva.

El cultivar Kybria, seguido de Tony, presentan mayor crecimiento de frutos y rendimiento. Por otra parte,

'Feisty' presenta elevado crecimiento vegetativo y menor rendimiento de frutos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la "Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)" por el aporte financiero (proceso 1684852) y a la "Universidade Federal de Pelotas (UFPel)" por el apoyo institucional.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

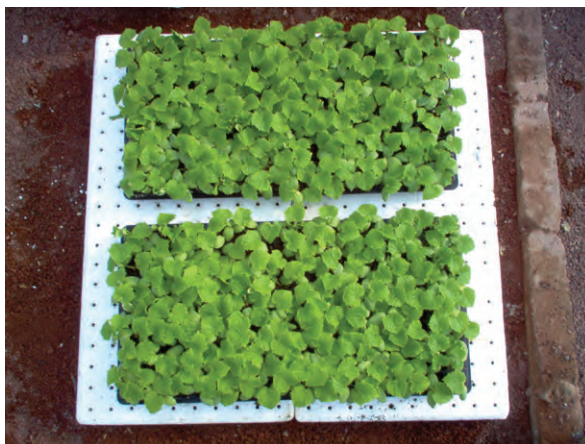
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andriolo, J.L., T.S. Duarte, L. Ludke y E.C. Skrebsky. 1999. Caracterización e avaliação de substratos para o cultivo do tomateiro fora do solo. *Hortic. Bras.* 17(3), 215-219. Doi: 10.1590/S0102-05361999000300008
- Andriolo, J.L., D.I. Jänisch, O.J. Schmitt, M.A.B. Vaz, F.L. Cardoso y L. Erpen. 2009. Concentração da solução nutritiva no crescimento da planta, na produtividade e na qualidade de frutas do morangueiro. *Ciênc. Rural* 39(3), 684-690. Doi: 10.1590/S0103-84782009005000008
- Cardoso, A.F. 2009. Desempenho de híbridos de melão rendilhado cultivados em substrato da fibra da casca de coco reutilizada. Tesis de maestría. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil.
- Carini, F. 2016. Sistemas de cultivo sem solo para a cultura do tomateiro sob uma perspectiva de baixo impacto ambiental. Tesis de maestría. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.
- Casas C., A. 1999. Formulación de la solución nutritiva. Parámetros de ajuste. pp. 257-266. En: Fernández, M.F. y I.M. Cuadrado G. (eds). *Cultivos sin suelo II: curso superior de especialización*. 2ª ed. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca; Fundación para la Investigación Agraria en la provincia de Almería-Caja Rural de Almería, Almería, España.
- Cerne, M., M. Škof y K. Ugrinovic. 2000. Pickling cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivars grown in two different ecological conditions. *Acta Hort.* 533, 549-555. Doi: 10.17660/ActaHortic.2000.533.69
- Duarte, T.S., R.M.N. Peil y E.M. Montezano. 2008. Crecimiento de frutos de meloeiro sob diferentes relações fonte: dreno. *Hortic. Bras.* 26(3), 342-371. Doi: 10.1590/S0102-05362008000300010
- Espínola, H.N.R., J.L. Andriolo y H.R. Bartz. 2001. Acúmulo e repartição da matéria seca da planta de pepino tipo conserva sob três doses de nutrientes minerais. *Ciênc. Rural* 31(3), 387-392. Doi: 10.1590/S0103-84782001000300004
- Fernandes, C. 2005. Produtividade e qualidade dos frutos do tomateiro do grupo cereja cultivado em substrato à base de areia. Tesis de doctorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil.
- Fernandes, C., J.E. Corá y L.T. Braz. 2006. Alterações nas propriedades físicas de substratos para cultivo de tomate cereja, em função de sua reutilização. *Hortic. Bras.* 24(1), 94-98. Doi: 10.1590/S0102-05362006000100019
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística. 2017. Número de estabelecimentos agropecuários e Quantidade produzida, por produtos da horticultura - resultados preliminares 2017. En: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6619#resultado>; consulta: noviembre de 2018.
- Marques, G.N. y R.M.N. Peil. 2016. Sistemas de cultivo aberto e fechado. pp. 45-58. En: Rampazzo, E.F., H.K. Shimizu, G.N. Marques, R.M.N. Peil, M.H. Fermineo, P.R. Furlani, H.R. Vidal, M.A.C. Zawadneak y E.M. Dolci. *Cultivo de morangueiro em substrato*. SENAR, Curitiba, Brasil.
- Melo, G.W.B., A.R. Bortolozzo y L. Vargas. 2006. Produção de morangos no sistema semi-hidropônico. En: *Embrapa Uva e Vinho 15*, En: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/Morango-SemiHidroponico/substratos.htm>; consulta: noviembre de 2016.
- Peil, R.M.N. 2000. Radiación solar interceptada y crecimiento del pepino en NFT. Tesis de doctorado. Programa de Post-Grado en Agriculturas intensivas y cultivos protegidos, Universidad de Almería, Almería, España.
- Peil, R.M.N., A.A.R. Albuquerque Neto y C.V. Rombaldi. 2014. Densidade de plantio e genótipos de tomateiro cereja em sistema fechado de cultivo em substrato. *Hortic. Bras.* 32(2), 234-240. Doi: 10.1590/S0102-05362014000200021
- Perin, L., R.M.N. Peil, D. Höhn, D.S.B. Rosa, A.R. Wieth y P.R. Grolli. 2018. Trough and pot crop systems with leaching recirculation and defoliation levels for mini tomatoes. *Acta Sci. Agron.* 40, e34992. Doi: 10.4025/actasciagron.v40i1.34992
- Queiroga, R.C.F., M. Puiatti, P.C.R. Fontes y P.R. Cecon. 2008. Produtividade e qualidade do melão cantaloupe, cultivado em ambiente protegido, variando o número e a posição dos frutos na planta. *Bragantia* 67(4), 911-920. Doi: 10.1590/S0006-87052008000400013
- Resende, G.M. 1999. Produção de pepino para conserva na região Norte de Minas Gerais. *Horticul. Bras.* 17(1), 57-60. Doi: 10.1590/S0102-05361999000100016
- Rosa, D.S.B. 2015. Número de hastes para o cultivo do tomateiro grape em substrato de casca de arroz e sistema

- fechado. Tesis de maestría. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.
- Rosa, D.S.B., R.M.N. Peil, L. Perin, D. Hohn, A.R. Weith y P.R. Grolli. 2016. Reutilização de substrato de casca de arroz e número de hastes para o tomateiro grape em sistema com recirculação da solução nutritiva. pp. 73-76. En: Anais de resumos, XI Encontro Brasileiro de Hidroponia e III Simposio Brasileiro de Hidroponia. Florianópolis, Brasil.
- Schwambach, J.L., J.L. Andriolo y A.B. Heldwein. 2002. Produção e distribuição da massa seca do pepino para conserva em diferentes populações de plantas. *Ciênc. Rural* 32(1), 35-41. Doi: 10.1590/S0103-84782002000100007
- Strassburger, A.S., R.M.N. Peil, L.A. Fonseca y T.Z. Aumonde. 2011. Crescimento e produtividade da abobrinha italiana: efeito da concentração iônica da solução nutritiva. *Semina: Ciênc. Agrár.* 32(2), 553-564. Doi: 10.5433/1679-0359.2011v32n2p553
- Zorzeto, T.Q., S.C. Dechen, M.F. Abreu y F. Fernandes Júnior. 2014. Caracterização física de substratos para plantas. *Bragantia* 73(3), 300-311. Doi: 10.1590/1678-4499.0086

# Extracción de Fe, Mn, Zn, Cu y B en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

## Uptake of Fe, Mn, Zn, Cu, and B in a cucumber (*Cucumis sativus* L.) crop



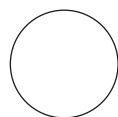
FERNANDO VICENTE BARRAZA<sup>1,2</sup>

**Plántulas de pepino con primera hoja.**

Foto: F.V. Barraza

### RESUMEN

El cultivo de pepino, aumenta la acumulación de materia seca y rendimiento cuando se le suministran macro nutrientes y micro nutrientes en cantidades adecuadas de acuerdo con su extracción nutricional. Para el caso de micro nutrientes, no se cuenta con información exacta sobre las cantidades extraídas por el cultivo cuando se siembra en sistema hidropónico con soluciones nutritivas, lo que puede conducir a aplicaciones excesivas o a deficiencias nutricionales. Por lo anterior, se hizo una investigación en la Universidad Autónoma Chapingo, México, en condiciones de invernadero y cultivo hidropónico con diseño experimental de bloques al azar y cuatro tratamientos de concentración de la solución nutritiva universal de Steiner 25, 75, 125 y 175%, con el objetivo de determinar el rendimiento, la cantidad de micro nutrientes Fe, Cu, Zn, Mn y B extraídos por la parte aérea del cultivo y la tasa absoluta de extracción. De acuerdo con los resultados obtenidos, el rendimiento alcanzó 8,20 kg/planta con la solución nutritiva 175%, mientras las concentraciones 25, 75 y 125% correspondieron a un rendimiento del 40, 78 y 85%, respectivamente, de la solución 175%. El cultivo de 1 t de frutos extrajo 41,74; 34,90; 12,01; 40,84 y 36,91 g de Fe, Cu, Zn, Mn y B, respectivamente.



**Palabras clave adicionales:** nutrición de plantas; micronutrientes; cultivo sin suelo; hortalizas; Cucurbitaceae.

### ABSTRACT

Cucumber cultivation increases dry matter accumulation and yield when macronutrients and micronutrients are provided at levels that meet their nutritional extraction. In the case of micronutrients, there is no

<sup>1</sup> Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Montería (Colombia). ORCID Barraza, F.V.: 0000-0002-3671-2865

<sup>2</sup> Autor para correspondencia. [fbarraza@correo.unicordoba.edu.co](mailto:fbarraza@correo.unicordoba.edu.co)



accurate information on the quantities extracted by this crop when it is sown in a hydroponic system with nutrient solutions, which can lead to excessive applications or nutritional deficiencies. Therefore, this study was conducted at the Universidad Autónoma Chapingo, México, under greenhouse conditions with hydroponic cultivation using a random block experiment design and four treatments consisting of different concentrations of the universal nutrient solution of Steiner: 25, 75, 125 and 175%, in order to determine the yield, the amounts of Fe, Cu, Zn, Mn and B extracted by the aerial part of the crop and the absolute extraction rate. According to the results, the yield was 8.20 kg/plant with the 175% nutrient solution, and, for the 25, 75 and 125% solutions, the yield was 40, 78 and 85%, respectively, of the yield obtained with the 175% solution. For the production of 1 t of fruits, the crop extracted 41.74, 34.90, 12.01, 40.84 and 36.91 g of Fe, Cu, Zn, Mn and B, respectively.

**Additional key words:** plant nutrition; trace elements; soilless culture; vegetables; Cucurbitaceae.

Fecha de recepción: 22-05-2018 Aprobado para publicación: 30-11-2018

## INTRODUCCIÓN

El pepino, se encuentra dentro de las hortalizas más importantes de la familia de las cucurbitáceas (Eifediyi y Remison, 2010). Su mayor productor es China con 54.315.900 t (Burton, 2017). Requiere suelos fértiles y se ha encontrado significativa respuesta del crecimiento, rendimiento y sus componentes, cuando se aumenta sistemáticamente la cantidad de nutrientes aplicados (Nwofia *et al.*, 2015).

Con el creciente aumento de la población mundial los terrenos que se destinan a la agricultura son escasos y se presentan efectos adversos para producción de cultivos, ya que principalmente la incorporación de metales pesados procedentes de fertilizantes, pesticidas y actividades industriales ha contribuido a la contaminación y afectan la calidad y seguridad de los alimentos (Savvas *et al.* 2013). Para el caso de pepino, se presenta la necesidad de mejorar los sistemas de producción, en lo que respecta a la nutrición mineral, lo que ha traído como consecuencia la necesidad de aplicar fertilizantes inorgánicos en grandes cantidades, ya que cuando se realiza el cultivo en suelos infértiles se presenta bajo rendimiento y frutos amargos y deformes, que son rechazados por los consumidores en el mercado (Eifediyi y Remison, 2010; Nwofia *et al.*, 2015).

Debido a lo anterior, se ha intensificado la producción de pepino en sistemas de agricultura protegida, en donde se utilizan invernaderos, genotipos híbridos de alto rendimiento, sistemas hidropónicos y numerosas soluciones nutritivas de diferente composición química para el suministro de nutrientes,

en el caso de México por ejemplo, esta tecnología es importante ya que es el noveno productor mundial de pepinos y pepinillos para el 2017 (FAOSTAT, 2018).

Dentro de las principales ventajas del cultivo de pepino con sistemas hidropónicos es la disminución de los costos de producción y la contaminación de los recursos naturales generados por residuos de fertilizantes. Sin embargo, de acuerdo con Tzerakis *et al.* (2013), la aplicación de soluciones nutritivas sin conocer sus necesidades nutrimentales pueden ocasionar entradas excesivas o deficitarias de macro nutrientes y micro nutrientes, con lo que se afecta considerablemente el rendimiento y calidad.

De acuerdo con Dominy y Bertling (2004) una línea de estudio que se encuentra en desarrollo para el cultivo de pepino es la extracción de micro nutrientes y el papel que desempeñan en la planta, ya que según indican Tzerakis *et al.* (2013), se ha encontrado que las deficiencias y excesos de micro nutrientes, no son perceptibles por los productores hasta que se presentan síntomas externos. Hasta el momento, se le habría restado importancia a la cuantificación de la extracción de micro nutrientes de este cultivo, debido principalmente, a que los fertilizantes de macro nutrientes utilizados contienen micro nutrientes adicionados durante el proceso de manufactura o dichos elementos minerales, se presentan como impurezas y pueden tener una contribución significativa para el suministro del cultivo según como lo indican Moreno *et al.* (2003).

Los micro nutrientes son requeridos por el cultivo en pequeñas cantidades y en concordancia con Küçükyumuk *et al.* (2014) cumplen funciones importantes en el desempeño fisiológico y metabólico de la planta de pepino y, además, tienen efecto tóxico directo sobre los patógenos y aumentan la rigidez de la pared celular y la integridad de la membrana celular, con lo que se disminuyen las enfermedades en el cultivo.

Para el caso de Fe Vigani *et al.* (2017) señalan que interviene de manera crucial en la actividad enzimática del metabolismo de la planta; en lo que respecta a Cu, Alaoui-Sossé *et al.* (2004) y Rouphael *et al.* (2008) manifiestan que juega un papel importante en la fotosíntesis, respiración, transporte de electrones en cloroplastos y mitocondrias y es cofactor de varias enzimas, como superóxido dismutasa y citocromo c oxidasa; en cuanto a Zn, Küçükyumuk *et al.* (2014) indican que estabiliza las membranas celulares de las raíces, para aumentar la tolerancia a las infecciones del suelo y desintoxica a la planta de radicales de oxígeno y peróxido de hidrógeno, cuando se da la interacción con los patógenos; respecto a Mn, Maksimović *et al.* (2016) concluyen que es esencial para el crecimiento y numerosos procesos fisiológicos importantes y de acuerdo con Tabaldi *et al.* (2007) puede actuar como cofactor de varias enzimas como anhidrasas, deshidrogenasas, oxidasas, peroxidasas y juega un papel importante en la fotosíntesis y la regulación del metabolismo del N, y según Dordas (2008) ayuda a controlar enfermedades en el cultivo, ya que tiene un papel importante en la biosíntesis de lignina; el B, en concordancia con Cikili *et al.* (2013) y Ramírez *et al.* (2017), desempeña un papel importante en el metabolismo de ácidos nucleicos, carbohidratos, proteínas, ácido indolacético y fenoles, e interviene en la lignificación de la pared celular, fijación de N, transporte de azúcares, crecimiento de raíces, respiración, germinación del grano de polen y crecimiento del tubo polínico.

Debido a que una fertilización incompleta en cultivo de pepino que no incluya el suministro de micro nutrientes, ocasiona una drástica reducción en la asimilación fotosintética del CO<sub>2</sub> y un severo retardo en el crecimiento del cultivo afectando el rendimiento y calidad (Klamkowski *et al.*, 2011), el objetivo de la presente investigación, fue cuantificar la cantidad de elementos minerales Fe, Cu, Zn, Mn y B, que extrae la parte aérea del cultivo, para obtener el mayor rendimiento en invernadero con aplicación de la solución

nutritiva universal de Steiner, con sistema hidropónico abierto. Dicha solución se distingue por sus relaciones mutuas entre cationes y aniones (Moreno *et al.*, 2015), y en concordancia con Sánchez-del-Castillo *et al.* (2014) esta condición propicia que las plantas de pepino crezcan sin limitaciones nutricionales, ya que los nutrientes aplicados están disociados en proporciones y concentraciones que evitan precipitados y antagonismos, por lo cual está siendo ampliamente utilizada por los productores de hortalizas de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se realizó en invernadero entre febrero y junio de 2015 en la Universidad Autónoma Chapingo (México), localizada a 19°29'23"N, 98°53'37"W y altitud de 2.250 m. Las condiciones climáticas dentro del invernadero fueron: temperatura promedio diaria de 23°C, humedad relativa promedio diaria de 67% y radiación incidente máxima promedio de 12 MJ m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas y cuatro tratamientos: 25, 75, 125 y 175% de la solución nutritiva universal de Steiner, que a 100% de concentración contiene macro nutrientes (meq L<sup>-1</sup>) NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 12; H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> 1; SO<sub>4</sub><sup>-</sup> 7; Ca<sup>++</sup> 9; Mg<sup>++</sup> 4; K<sup>+</sup> 7 y micro nutrientes (mg L<sup>-1</sup>) Fe<sup>++</sup> 2; Cu<sup>++</sup> 0,02; Zn<sup>++</sup> 0,09; Mn<sup>++</sup> 0,7 y B 0,5 (Steiner, 1961).

Se utilizaron plantas del genotipo híbrido Saber® procedentes de semillas sembradas en bandejas de poliestireno expandido con sustrato Peat-Moss® (Comercializadora Hydro Environment, Tlalnepantla, México), trasplantadas a los 25 d después de la siembra, una plántula a una bolsa de polietileno color negro con 0,06 m<sup>3</sup> de sustrato tezontle rojo. En total se utilizaron 156 plantas dispuestas a 1,5 m entre hileras y 0,30 m entre plantas en una superficie de 99 m<sup>2</sup>. No se efectuaron podas y el tutorado, se hizo en espaldera con malla plástica de cuadrícula de 10 cm.

El suministro de las soluciones nutritivas, se hizo diariamente a cada planta, con sistema de riego por goteo, en sistema hidropónico abierto, sin reutilización de las soluciones nutritivas drenadas, en cantidades y momentos recomendados por Sánchez-del-Castillo y Escalante (1988), de 150 mL, distribuidos en tres riegos de 50 mL, desde el momento del trasplante hasta los 30 d; 300 mL distribuidos en tres riegos de 100 mL, desde los 31 a 60 d y 600 mL distribuidos en tres riegos de 200 mL desde los 61 hasta 135 d. Entre cada

riego transcurrió un tiempo de 4 h. Con la aplicación de la solución nutritiva universal de Steiner en sistema hidropónico abierto, según lo indicado por Sánchez-del-Castillo *et al.* (2014), se obtienen ventajas importantes como el ahorro de agua y fertilizantes y menor impacto ambiental al evitar que grandes cantidades de minerales causen contaminación de suelos y aguas.

Las variables evaluadas, fueron el rendimiento total por planta, extracción de micro nutrientes por la parte aérea de la planta y tasa absoluta de extracción de micro nutrientes Fe, Cu, Zn, Mn y B. El rendimiento total por planta se obtuvo en kg por planta durante la etapa de fructificación del cultivo, tomando el promedio en tres plantas seleccionadas al azar y marcadas en los tres surcos centrales de cada réplica.

Para determinar la extracción de micro nutrientes por la parte aérea de la planta, se cuantificó inicialmente el contenido de Fe, Cu, Zn, Mn y B en la materia seca total, que incluyó hojas, tallos, flores y frutos, para lo cual, se hicieron muestreos cada 15 d a tres plantas tomadas al azar en las tres hileras centrales de cada repetición, que fueron secadas sin raíces a 65°C en estufa Blue-M® POM-326-F (Thermal Product Solutions, New Columbia, PA, USA), hasta obtención de peso constante y posteriormente molidas en molino Wiley Mill Thomas® ED-5. Se tomaron muestras de 100 g de materia seca, con balanza digital Sartorius 1205 MP® (Sartorius AG, Göttingen, Alemania) y se les realizó análisis de contenido en mg kg<sup>-1</sup> de Fe, Cu, Zn, Mn y B en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del programa de Edafología e Hidrociencias del Colegio de Posgraduados de Montecillo, México. Fe, Cu, Zn y Mn, se determinaron por digestión ácida y absorción atómica (Mendoza *et al.*, 2015); B se determinó por calcinación y colorimetría con azometina-H (Sadzawka *et al.*, 2004).

A partir de los datos obtenidos de contenido de micro nutrientes se calculó la extracción de micro nutrientes por la parte aérea del cultivo Fe, Cu, Zn, Mn y B de acuerdo con lo indicado por Barraza (2007) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Extracción}(mg) = \frac{(\text{materia seca, kg}) * (\text{mg kg}^{-1} \text{ del nutriente})}{1000} \quad (1)$$

A las variables rendimiento total por planta y extracción de micro nutrientes, se les hizo análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) mediante el *software* SAS 9.0 (SAS

Institute, 2008). Para conocer en primera instancia el comportamiento de los datos de extracción de micro nutrientes, se utilizó *software* Curve Expert versión 1.3 (Hyams, 2003) y de acuerdo con la información obtenida, se aplicó el procedimiento PROC NLIN regresión no lineal con *software* SAS 9.0 con el modelo logístico:  $y = A / (1 + B \cdot e^{-Cx})$ . A partir de los modelos obtenidos de extracción de micro nutrientes se calculó, la tasa absoluta de extracción (TAE), mediante la primera derivada del modelo logístico  $y' = (A \cdot B \cdot C \cdot e^{-Cx})^2$ , donde  $y$  = extracción del micro nutriente; A: máximo valor observado en la extracción del micro nutriente; B: no tiene significado biológico y solo toma lugar en el tiempo inicial cuando  $x = 0$ ;  $x$  = días después de la siembra; C: parámetro relacionado con el valor de  $x$  para el punto de inflexión;  $e$ : constante matemática base del logaritmo natural = 2,718281828.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La extracción de Fe, Cu, Zn, Mn y B, presentó un comportamiento gráfico sigmoide (Fig. 1), el cual se ajustó al modelo logístico, con coeficientes de determinación cercanos a la unidad (Tab. 1), lo que indica de acuerdo con Song y Qiao (2008) que dichos modelos son razonables y factibles para estimar la extracción de micro nutrientes a medida que transcurre el ciclo biológico del cultivo y de acuerdo con dichos autores el modelo logístico también tiene importancia en la representación de variables del crecimiento, rendimiento y acumulación de materia seca del cultivo.

Se observó que la extracción de micro nutrientes en todos los tratamientos desde trasplante hasta aproximadamente los 45 d fue lenta (Fig. 1), de allí en adelante siguió un periodo de aumento hasta alcanzar su valor máximo y posteriormente ocurrió un periodo de extracción constante a través del tiempo. La tasa absoluta de absorción de los micro nutrientes (Fig. 2) representó una distribución normal en forma de campana, en concordancia por lo reportado por Vieira *et al.* (2013), en donde el periodo de mayor extracción de nutrientes para los tratamientos comprendido entre los 45 y 60 d posteriores al trasplante. Lo anterior confirma los planteamientos de Sánchez-del-Castillo *et al.* (2014), en el sentido que la planta modifica el consumo de nutrientes en función del tiempo que transcurre durante su ciclo biológico, a través de las fases fenológicas que transcurren durante los procesos de crecimiento y



desarrollo, y que esto se encuentra influenciado por varios factores, entre los que están principalmente las condiciones climáticas, por lo que a partir de los resultados presentados, pueden diseñarse planes de nutrición mineral específicos de acuerdo con cada zona en particular.

Se observa en el tratamiento con solución nutritiva 175% de concentración, los mayores valores de extracción de micro nutrientes con respecto a las demás concentraciones utilizadas (Tab. 2) y se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas (Tab. 3) lo que señala, según Tzerakis *et al.* (2013), que la toma de micro nutrientes por parte

del cultivo, estuvo relacionada con la concentración y composición de la solución nutritiva utilizada para cubrir sus necesidades nutrimentales.

Teniendo en cuenta la mayor extracción de micro nutrientes a medida que se aumentó la concentración de la solución nutritiva del cultivo, confirma lo mencionado por Pso y Nweke (2015), quienes indican que la aplicación de nutrientes ya sea en forma de fertilizante orgánico o mineral, es la forma más rápida y fácil de aumentar el rendimiento del cultivo de pepino por unidad de superficie, en donde se puede observar que con la concentración al 175% se obtuvo el mayor valor promedio de rendimiento (Tab. 4).

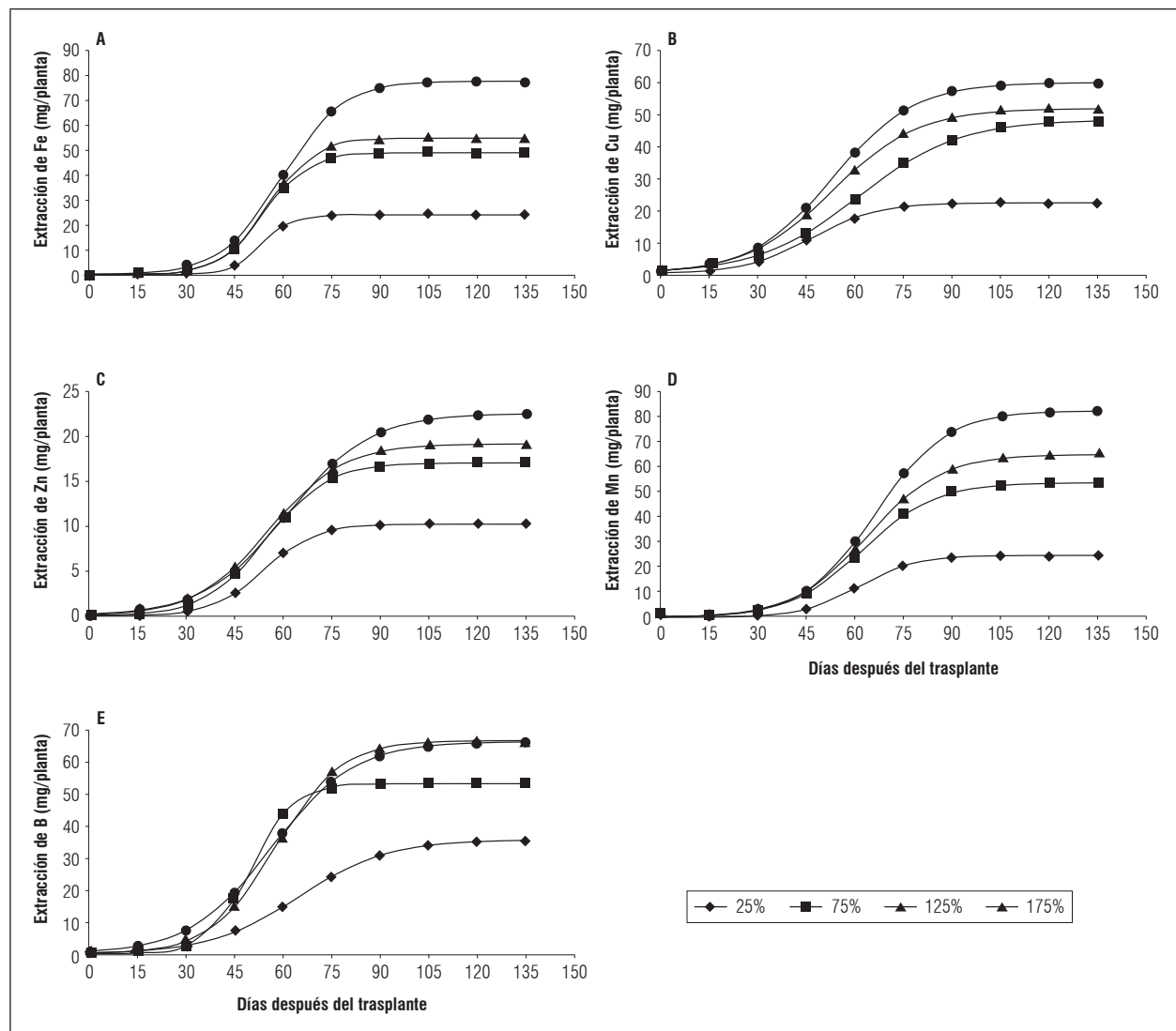


Figura 1. Extracción de micro nutrientes del cultivo de pepino en cuatro concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner.

**Tabla 1. Modelos matemáticos para estimar extracción de micro nutrientes en cultivo de pepino.**

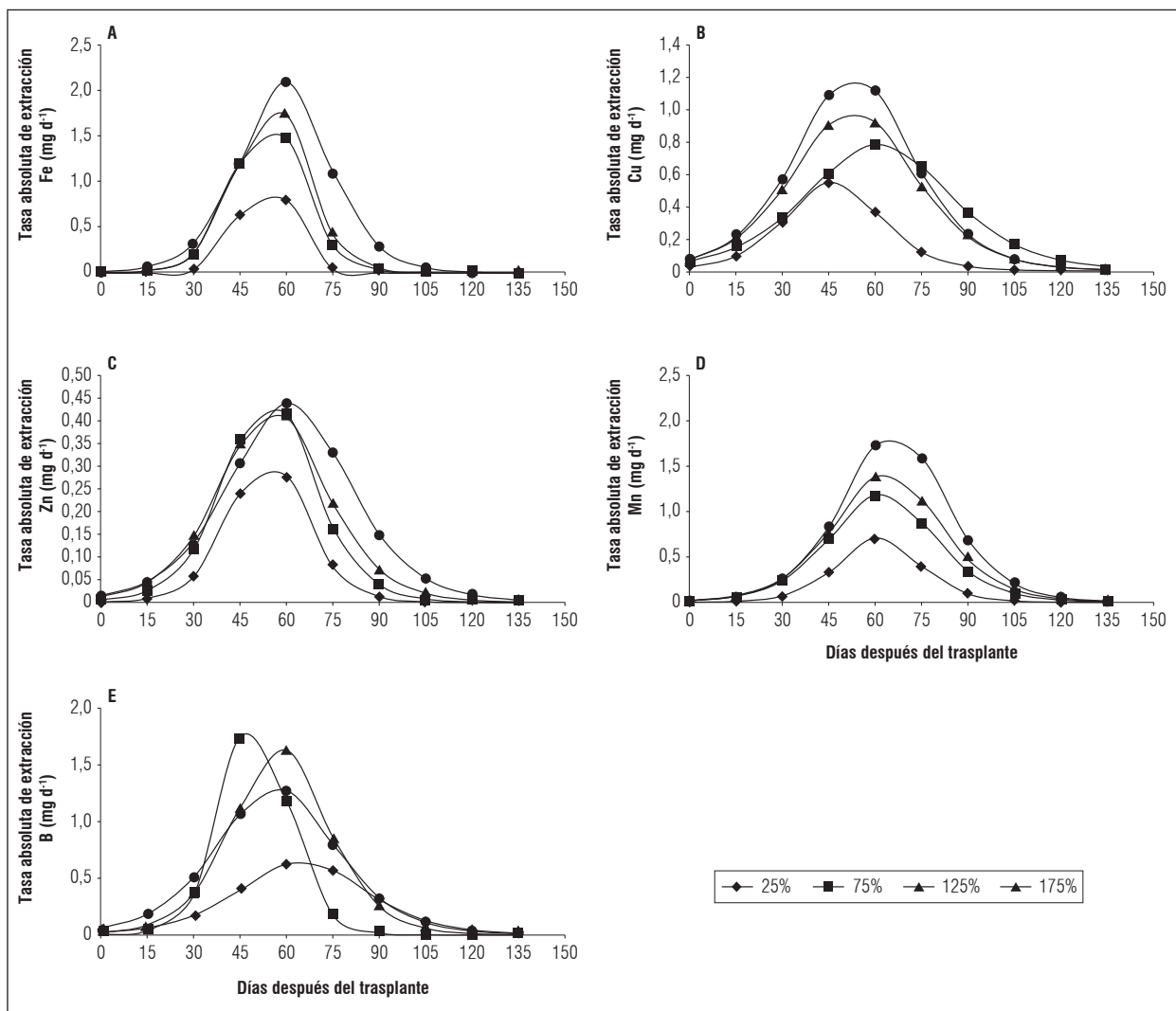
Concentración de la solución nutritiva (%)	Modelo matemático	R <sup>2</sup> *
<b>Fe</b>		
25	$y = 23,8519 / (1 + 118438e^{-0,2191*d})$	0,93
75	$y = 48,7442 / (1 + 2625,6e^{-0,1459*d})$	0,96
125	$y = 54,5958 / (1 + 2413,8e^{-0,1408*d})$	0,88
175	$y = 77,4305 / (1 + 615,5e^{-0,1079*d})$	0,99
<b>Cu</b>		
25	$y = 22,2868 / (1 + 97,6e^{-0,0986*d})$	0,86
75	$y = 48,4607 / (1 + 51,4e^{-0,0645*d})$	0,94
125	$y = 51,9787 / (1 + 55,6e^{-0,0758*d})$	0,91
175	$y = 60,1538 / (1 + 68,9e^{-0,0797*d})$	0,99
<b>Zn</b>		
25	$y = 10,2553 / (1 + 892,9e^{-0,1262*d})$	0,97
75	$y = 17,1077 / (1 + 323,1e^{-0,1062*d})$	0,96
125	$y = 19,2363 / (1 + 133,3e^{-0,0883*d})$	0,95
175	$y = 22,6475 / (1 + 113,7e^{-0,0778*d})$	0,98
<b>Mn</b>		
25	$y = 24,6712 / (1 + 1168,9e^{-0,1157*d})$	0,93
75	$y = 53,5976 / (1 + 258,5e^{-0,0894*d})$	0,97
125	$y = 64,8411 / (1 + 268,4e^{-0,0878*d})$	0,95
175	$y = 82,2267 / (1 + 402,3e^{-0,0908*d})$	0,99
<b>B</b>		
25	$y = 35,5456 / (1 + 114,9e^{-0,0730*d})$	0,98
75	$y = 52,9805 / (1 + 1972,5e^{-0,1519*d})$	0,97
125	$y = 66,4433 / (1 + 314,3e^{-0,0994*d})$	0,95
175	$y = 66,1227 / (1 + 84,9e^{-0,0786*d})$	0,98

y: extracción (mg/planta); d: días después del trasplante; \*: coeficiente de determinación.

**Tabla 2. Comparación de medias de la extracción total de micro nutrientes en la parte aérea de cultivo de pepino.**

Concentración de la solución	Extracción (mg/planta)				
	Fe	Cu	Zn	Mn	B
25%	17,53 c	17,47 c	8,37 c	20,61 c	20,90 c
75%	44,02 b	41,83 b	15,69 b	40,05 b	46,95 b
125%	36,64 b	38,06 b	15,39 b	51,91 b	53,130 ab
175%	76,03 a	60,18 a	21,80 a	80,50 a	67,33 a

Promedios con letras distintas en la misma columna, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).



**Figura 2.** Tasa absoluta de extracción de micro nutrientes del cultivo de pepino en cuatro concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner.

**Tabla 3.** Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza para extracción de micro nutrientes (mg/planta) en cultivo de pepino.

FV	GL	CM				
		Fe	Cu	Zn	Mn	B
Tratamiento	3	1780,19**	920,28**	90,39**	1884,82**	1132,21**
Bloque	2	18,48	0,84	1,18	17,35	17,33
Error	6	76,05	45,54	3,34	63,17	25,84
CV		20,02	17,13	11,93	16,46	10,80

FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; CV: coeficiente de variación; \*\*: diferencias estadísticas significativas a la  $P \leq 0,01$ .

**Tabla 4. Rendimiento del cultivo de pepino usando cuatro concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner.**

Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)	Rendimiento (kg/planta)
25	3,31 c
75	6,38 bc
125	6,94 b
175	8,20 a

Promedios con letras distintas indican a diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

A la luz de los resultados obtenidos se aprecia la importancia de la extracción nutrimental del cultivo de pepino que de acuerdo con lo indicado por Anjanappa *et al.* (2012), aprovecha el máximo potencial de los genotipos de alto rendimiento utilizados en la actualidad, así como las bondades del cultivo protegido de esta hortaliza en invernadero y la aplicación de soluciones nutritivas, las cuales proporcionan los nutrimentos requeridos por el cultivo de una manera óptima y propician según Pso y Nweke (2015) mayor crecimiento, sanidad, rendimiento y calidad que se refleja en el mejoramiento sustancial de la eficiencia de fertilizantes y agua y mitigar los impactos al ambiente (Grewal *et al.*, 2011).

Las cantidades de micro nutrimentos requeridas para producir 1 t de frutos (Tab. 5) con la solución nutritiva universal de Steiner al 175% de concentración, evidencian que el cultivo de pepino presentó mejor respuesta al rendimiento con la mayor aplicación de nutrimentos, lo cual es uno de los aspectos de mayor importancia en la producción de hortalizas en invernadero, con el uso de soluciones nutritivas, lo que de acuerdo con los planteamientos de Moreno *et al.* (2015) en el cultivo de pepino tiene influencia también en la obtención de frutos de calidad, entendida en términos de apariencia, textura, sabor, aroma, valor nutritivo, constituyentes químicos, propiedades funcionales y ausencia de defectos.

Si bien, el cultivo de pepino se caracteriza de acuerdo con Motior *et al.* (2011) por una alta extracción de nutrimentos, se ha indicado que los micro nutrimentos son requeridos en pequeñas cantidades en concordancia con lo reportado por Ghehsareh y Samadi (2012), lo cual no resta importancia al papel que juegan dichos elementos en el sistema de oxidación-reducción y en muchos procesos de la actividad celular como

**Tabla 5. Cantidades de Fe, Cu, Zn, Mn y B extraídas para producir 1 t de frutos de pepino con la solución nutritiva universal de Steiner a 175%.**

Nutrimento	Extracción (g t <sup>-1</sup> )
Fe	41,74
Cu	34,90
Zn	12,01
Mn	40,84
B	36,91

coenzimas, de tal manera que su deficiencia puede causar problemas en el metabolismo, crecimiento y rendimiento del cultivo, ya que de acuerdo con Fasaci (2013) y El Sayed *et al.* (2015) se ha encontrado una alta correlación de la acumulación de materia seca total con la extracción de elementos minerales, tales como Fe, Cu, Zn y Mn.

En concordancia con Ramírez-Pérez *et al.* (2017), considerando los resultados obtenidos de extracción de micro nutrimentos, en condiciones de invernadero y suministro de solución nutritiva universal de Steiner al 175%, es posible planificar la aplicación de Fe, Cu, Zn, Mn y B de manera más eficiente, de tal modo que se puede lograr la mayor acumulación de materia seca, y a través de los modelos matemáticos de extracción nutrimental (Tab. 1), se pueden cuantificar las cantidades requeridas diariamente de cada micro nutrimento, haciendo posible evitar las aplicaciones excesivas, incrementando la eficiencia de la nutrición mineral en cultivo de pepino.

## CONCLUSIONES

La extracción de micro nutrimentos en el cultivo de pepino aumentó a medida que se aumentó la concentración de la solución nutritiva universal de Steiner.

La aplicación de diferentes de cantidades de micro nutrimentos en el cultivo de pepino, a través de distintas concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner, ocasionó respuesta diferencial en el rendimiento, de tal manera que, con la mayor concentración, se obtuvo el mayor rendimiento, en comparación con los tratamientos de menor concentración.

La mayor extracción de micro nutrimentos, con todas las concentraciones de la solución nutritiva universal

de Steiner utilizadas, ocurrió entre los 45 y 60 d después de la siembra.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado por el autor, quien declara no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaoui-Sossé, B., P. Genet, F. Vinit-Dunand, M.-L. Tous-saint, D. Epron y P.-M. Badot. 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Sci.* 166(5), 1213-1218. Doi: 10.1016/j.plantsci.2003.12.032
- Anjanappa, M., J. Venkatesha y B. Suresh Kumara. 2012. Dry matter accumulation and uptake of nutrients by cucumber (cv. Hassan Local) as influenced by organic, inorganic and bio-fertilizers. *Karnataka J. Agric. Sci.* 25(4), 552-554. Doi: 10.1.1.862.3791
- Barraza, F.V. 2017. Absorción de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema hidropónico. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 11(2), 343-350. Doi: 10.17584/rcch.2017v11i2.7346
- Burton, J. 2017. World leaders in cucumber production. En: *WorldAtlas*, [worldatlas.com/articles/the-world-leaders-in-cucumber-production.html](http://worldatlas.com/articles/the-world-leaders-in-cucumber-production.html); consultado: abril de 2018.
- Cikili, Y., H. Samet y S. Dursun. 2013. Effects of potassium treatment on alleviation of boron toxicity in cucumber plant (*Cucumis sativus* L.). *Soil-Water J.* 2(2), 719-726.
- Dominy, A. e I. Bertling. 2004. Manganese, zinc and silicon studies of cucumber (*Cucumis sativus*) using a miniature hydroponic system. *Acta Hortíc.* 644, 393-398. Doi: 10.17660/ActaHortic.2004.644.52
- Dordas, C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28(1), 33-46. Doi: 10.1051/agro:2007051
- Eifediyi, E.K. y S.U. Remison. 2010. Growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) as influenced by farm-yard manure and inorganic fertilizer. *J. Plant Breed. Crop Sci.* 2(7), 216-220.
- El Sayed, H.E.A., R.O.A. Younis y H.S. Al Othaimen. 2015. Responses of changes in productivity, yield and fruit quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) plant under bio-and chemical nutrition. *Eur. J. Acad. Essays.* 2(7), 68-74.
- FAOSTAT. 2018. Cultivos. En: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>; consultado: mayo de 2018.
- Fasaei, R.G. 2013. Influence of foliar application of salicylic acid and soil application of humic materials on cucumber and chickpea grown on a nutrient deficient soil. *Intl. J. Agri. Crop Sci.* 5(21), 2639-2644.
- Ghehsareh, A.M. y N. Samadi. 2012. Effect of soil acidification on growth indices and microelements uptake by greenhouse cucumber. *Afr. J. Agric. Res.* 7(11), 1659-1665.
- Grewal, H.S., B. Maheshwari y S.E. Parks. 2011. Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: an australian case study. *Agr. Water Manage.* 98(5), 841-846. Doi: 10.1016/j.agwat.2010.12.010
- Hyams, D. 2003. Curve Expert 1.3. Hyams Development, Starkville, MS, USA.
- Klamkowski, K., W. Treder y A. Tryngiel. 2011. Growth and photosynthetic activity of cucumber as influenced by different fertilization regimes. *Ecol. Chem. Eng.* 18(1), 35-41.
- Küçükyumuk, Z., H. Özgönen, I. Erdal y F. Eraslan. 2014. Effect of zinc and *Glomus intraradices* on control of *Pythium deliense*, plant growth parameters and nutrient concentrations of cucumber. *Not. Bot. Horti. Agrobi.* 42(1), 138-142. Doi: 10.15835/nbha4219346
- Maksimović, J.D., M. Mojović y V. Maksimović. 2016. Silicon facilitates manganese phytoextraction by cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Zastita Materijala* 57(3), 424-429. Doi: 10.5937/ZasMat1603424D
- Mendoza, B., L. Almaso, L.M. Marcó y V. Rodríguez. 2015. Evaluación de dos métodos de digestión ácida en el análisis de tejido foliar de caña (*Saccharum officinarum* L.). *Ciencia y Tecnología.* 7(2), 9-20. Doi: 10.18779/cyt.v7i2.98
- Moreno, D.A., G. Vállora y L. Romero. 2003. Variations in fruit micronutrient contents associated with fertilization of cucumber with macronutrients. *Sci. Hort.* 97(2), 121-127. Doi: 10.1016/S0304-4238(02)00147-4
- Moreno, D., B. Hernández, J. Barrios, A. Ibáñez, W. Cruz y R. Berdeja. 2015. Calidad poscosecha de frutos de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 6(3), 637-643. Doi: 10.29312/remexca.v6i3.648
- Motior, M.R., A.S. Abdou, F.H. Al Darwish, K.A. El-Tarabily, M.A. Awad, F. Golam y M. Sofian-Azirun. 2011. Influence of elemental sulfur on nutrient uptake, yield and quality of cucumber grown in sandy calcareous soil. *Aust. J. Crop Sci.* 5(12), 1610-1615.
- Nwofia, G.E., A.N. Amajuoyi y E.U. Mbah. 2015. Response of three cucumber varieties (*Cucumis sativus* L.) to planting season and NPK fertilizer rates in lowland humid tropics: sex expression, yield and Inter-relationships between yield and associated traits. *Int. J. Agric. For.* 5(1), 30-37.
- Pso, O. y I. Nweke. 2015. Effect of poultry manure and mineral fertilizer on the growth performance and quality

- of cucumber fruits. *J. Exp. Biol. Agric. Sci.* 3(4), 362-367. Doi: 10.18006/2015.3(4).362.367
- Ramírez-Pérez, L., A.B. Morales-Díaz, K. de Alba-Roménus, S. González-Morales, A. Benavides-Mendoza y A. Juárez-Maldonado. 2017. Determination of micronutrient accumulation in greenhouse cucumber crop using a modelling approach. *Agronomy* 7(4), 79-96. Doi: 10.3390/agronomy7040079
- Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea y G. Colla. 2008. Grafting of cucumber as a means to minimize copper toxicity. *Environ. Exp. Bot.* 63(1-3), 49-58. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.10.015
- Sadzawka, A., R. Grez Z., M.A. Carrasco y M.L. Mora. 2004. Métodos de análisis de tejidos vegetales. En: Comisión de Normalización y Acreditación-Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo; Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago.
- SAS Institute Inc. 2008. SAS user's guide: Statistical analysis system. Version 9.0. SAS Institute, Cary, NC.
- Song, W. y X. Qiao. 2008. A regression model of dry matter accumulation for solar greenhouse cucumber. pp. 1346-1352. En: Li, D. (eds.). *Computer and computing technologies in agriculture*. Vol. II. CCTA 2007. The International Federation for Information Processing. Vol 259. Springer, Boston, MA.
- Steiner, A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15(2), 134-154. Doi: 10.1007/BF01347224
- Sánchez-del-Castillo, F., L. González-Molina, E.C. Moreno-Pérez, J. Pineda-Pineda y E.C. Reyes-González. 2014. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Rev. Fitotec. Mex.* 37(3), 261-269.
- Sánchez-del-Castillo, F. y E. Escalante. 1988. *Hidroponía*. 3a ed. Imprenta Universitaria de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. pp. 99-151.
- Savvas, D., G. Ntatsi y P. Barouchas. 2013. Impact of grafting and rootstock genotype on cation uptake by cucumber (*Cucumis sativus* L.) exposed to Cd or Ni stress. *Sci. Hortic.* 149, 86-96. Doi: 10.1016/j.scienta.2012.06.030
- Tabaldi, L.A., R. Ruppenthal, D. Cargnelutti, V.M. Morsch, L.B. Pereira y R.M.C. Schetinger. 2007. Effects of metal elements on acid phosphatase activity in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 59(1), 43-48. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2005.10.009
- Tzerakis, C., D. Savvas, N. Sigrimis y G. Mavrogiannopoulos. 2013. Uptake of Mn and Zn by cucumber grown in closed hydroponic systems as influenced by the Mn and Zn concentrations in the supplied nutrient solution. *HortScience* 48(3), 373-379. Doi: 10.21273/HORTSCI.48.3.373
- Vieira Neto, J., F.O.G. Menezes Júnior y P.A. Souza Gonçalves. 2013. Produção e curva de crescimento de pepineiros para conserva em manejo convencional e com controle alternativo de pragas. *Rev. Ciênc. Agrovet.* 12(3), 229-237.
- Vigani, G., D. Di Silvestre, A.M. Agresta, S. Donnini, P. Mauri, C. Gehl, F. Bittner e I. Murgia. 2017. Molybdenum and iron mutually impact their homeostasis in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *New Phytol.* 213(3), 1222-1241. Doi: <https://doi.org/10.1111/nph.14214>

# Selección de herbicidas para el control de arvenses en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Bolívar, Colombia

## Herbicide selection for weed control in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Bolivar, Colombia



LILY LORENA LUNA-CASTELLANOS<sup>1, 3</sup>  
MANUEL RAMÓN ESPINOSA-CARVAJAL<sup>1</sup>  
VÍCTOR ALFONSO DE-LA-OSSA-ALBIS<sup>1</sup>  
BLAS DAGOR PANZA-TAPIA<sup>1</sup>  
JOAQUÍN ALFONSO GARCÍA-PEÑA<sup>2</sup>

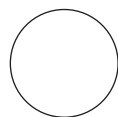
**Plantas de yuca en experimentación.**

Foto: L. Luna-Castellanos

### RESUMEN

La yuca es la raíz tuberosa de mayor importancia para el sustento de la seguridad alimentaria en el departamento de Bolívar (Colombia), sin embargo, el manejo ineficiente de las arvenses durante las primeras etapas de crecimiento ha reducido la productividad, generando pérdidas de rentabilidad para los agricultores de esta región. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo seleccionar herbicidas para el control de arvenses. En la sede Carmen de Bolívar de Corpoica, se implementó un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones, evaluando las mezclas de herbicidas linuron + pendimetalina, oxadiazón + diuron y metolaclo + atrazina en preemergencia y glufosinato de amonio, haloxifop-p-etoxietil y fluaxifop-p-butil en post-emergencia, sumado a un tratamiento de control. Las variables evaluadas, eficiencia en el control de arvenses, sobrevivencia, grado de fitotoxicidad, altura, diámetro del tallo y rendimiento de raíces frescas en plantas de yuca, mostraron que la mezcla de metolaclo + atrazina presentaba la mayor eficiencia en el control de arvenses y selectividad al cultivo de yuca, aplicada en preemergencia, obteniendo un incremento del rendimiento en 4,34 t ha<sup>-1</sup> en comparación con el tratamiento control manual. Los resultados indican la efectividad de los herbicidas dentro del manejo integrado de arvenses en cultivos de yuca en la Costa Caribe colombiana.

**Palabras clave adicionales:** protección de cultivos; control químico; mezclas de herbicidas; modos de acción; interferencia; toxicidad; crecimiento.



<sup>1</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Turipana, Carmen de Bolívar (Colombia). ORCID Luna-Castellanos, L.L.: 0000-0003-2172-7842; ORCID Espinosa-Carvajal, M.R.: 0000-0001-8939-5472; ORCID De-La-Ossa-Albis, V.A.: 0000-0003-0038-3008; ORCID Panza-Tapia, B.D.: 0000-0002-9041-3620

<sup>2</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Turipana, Cerete (Colombia). ORCID García-Peña, J.A.: 0000-0002-1805-9487

<sup>3</sup> Autor para correspondencia. llunac@agrosavia.co

## ABSTRACT

Cassava is the most important tuberous root for food security in the Department of Bolívar (Colombia); however, inefficient weed management during early growth stages has reduced productivity, generating profit losses for farmers in this region. Therefore, this research aimed to select herbicides for weed control. At Carmen de Bolívar de Corpoica, a completely randomized block design was used with three repetitions, evaluating the herbicide mixtures linuron + pendimethalin, oxadiazon + diuron and metolachlor + atrazine in pre-emergence, and glufosinate ammonium, haloxyfop-p-ethoxyethyl and fluaxifop-p-butyl in post-emergence, along with a control treatment. The evaluated variables weed control efficiency, survival, degree of phytotoxicity, height, stem diameter and yield of fresh roots in cassava plants showed that the mixture metolachlor + atrazine applied in pre-emergence had the highest efficiency for weed control and cassava crop selectivity, obtaining a yield increase of 4.34 t ha<sup>-1</sup>, as compared to the manual control treatment. The results indicated the effectiveness of herbicides within integrated weed management in cassava crops on the Colombian Caribbean Coast.

**Additional key words:** crop protection; chemical control; herbicide mixtures; mode of action; interference; toxicity; growth.

Fecha de recepción: 21-03-2018 Aprobado para publicación: 30-11-2018

## INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es un cultivo de importancia en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, debido a que representa una buena fuente de energía (Owusu-Darko *et al.*, 2014; Villordon *et al.*, 2014). Su contribución al bienestar y seguridad alimentaria de la población y versatilidad de los sistemas productivos le confieren importancia a este cultivo para los agricultores con recursos limitados (Reddy, 2015; Nduwumuremyi *et al.*, 2017).

Las raíces de la yuca y los subproductos obtenidos a partir de esta planta representan gran valor económico para el desarrollo agrícola a nivel global. Según la FAO (2016), la producción mundial fue de 277,102 millones de toneladas, que se cultivaron en 23,482 millones de hectáreas, de este volumen 30-60% es producido en África, 30-40% en Asia y 15-20% en América latina. Colombia con un área plantada de 210.250 ha, volumen de producción de 2,105.436 millones de toneladas y rendimiento promedio de 10,01 t ha<sup>-1</sup> es el tercer productor de yuca en Latinoamérica después de Brasil y Paraguay (Pérez *et al.*, 2018). El sistema productivo de yuca en Colombia se concentra en la región Caribe, la cual representa el 65% del total del área sembrada a nivel nacional, según AGRONET (2016) los mayores rendimientos 11,61 t ha<sup>-1</sup> son obtenidos en el departamento de Córdoba, seguido de Atlántico (10,34 t ha<sup>-1</sup>), Bolívar (9,66 t ha<sup>-1</sup>), Magdalena (7,61 t ha<sup>-1</sup>) y Sucre (7,77 t ha<sup>-1</sup>), respectivamente.

La yuca constituye un reglón importante para el sustento de la seguridad alimentaria en el departamento de Bolívar, ocupa el segundo lugar en superficie sembrada (47.290 ha) después del maíz tradicional (AGRONET, 2016). Los agricultores de Bolívar, en su mayoría corresponden a pequeños agricultores, los cuales desconocen las prácticas agronómicas adecuadas de manejo de estacas (cangres), suelos, arvenses y enfermedades para aumentar la productividad del cultivo (Aguilera, 2012). Estudios realizados por Arrieta *et al.* (2004), revelaron que el control ineficiente de las poblaciones de arvenses asociadas a los cultivos de yuca genera pérdidas en rendimiento del 50% y eleva los costos de producción en 40% debido a la excesiva utilización de mano de obra requerida para ejecutar el control manual.

Las pérdidas en rendimiento en la yuca debido a arvenses no controladas durante el periodo crítico pueden alcanzar pérdidas hasta en un 75-100% (Silva *et al.*, 2013). La yuca es un cultivo de larga duración (8-12 meses), con un crecimiento y una tasa de desarrollo de la parte aérea en sus fases iniciales de crecimiento muy lento (Moura, 2000; Johans y Contiero, 2006). Por lo general, se cultiva en hileras espaciadas a 1,0×1,5 m, lo que permite que las arvenses se desarrollen rápidamente (Nedunchezhiyan *et al.*, 2013; Streck *et al.*, 2014; Salau *et al.*, 2015). Las arvenses también afectan la calidad de las raíces de



yuca al competir de forma eficiente por los recursos ambientales disponibles. Por lo tanto, el control de las arvenses es crítico, particularmente en los primeros 3-4 meses de crecimiento de la yuca (Nedunchezhiyan *et al.*, 2017; Weerarathne *et al.*, 2017). El control de arvenses en yuca se logra a través del desyerbe manual u otros métodos culturales, mientras que, en las áreas con escasez de mano de obra, se practica el control químico de arvenses (Vencill *et al.*, 2012). Sin embargo, la utilización de herbicidas es baja en la mayoría de las regiones de cultivo de yuca del mundo, debido a la falta de disponibilidad de herbicidas específicamente desarrollados para la yuca y su baja persistencia (Silveira *et al.*, 2012; Enyong *et al.*, 2013).

La implementación del método químico para el control de arvenses en yuca requiere de una adecuada selección del herbicida. En el mundo existen 12 herbicidas registrados para uso en el cultivo de yuca, se encuentran agrupados en seis mecanismos de acción (Varanasi *et al.*, 2016; Zimdahl, 2018): 1) inhibidores de la fotosíntesis en el fotosistema II (diuron, linuron, atrazina), que inducen cambios que conllevan a la destrucción de la clorofila, impidiendo la absorción de CO<sub>2</sub> y la reacción de Hill, provocan colapso de las hojas en plántulas jóvenes; 2) inhibidores de la oxidadasa del fotoporfirino (PPO) (oxadiazon, oxifluorfen), que conlleva a la formación de radicales libres que alteran la formación de precursores de clorofila e inducen la desintegración de la membrana celular, que facilita la deshidratación y desintegración rápida de las células; 3) inhibidores de la polimerización de la tubulina del ensamblaje de microtúbulos (pendimetalina), que son inhibidores del crecimiento, más específicamente de la elongación de las raíces, lo que provoca la muerte rápida de la maleza. Inhibidores de la división celular (alaclor, butaclor, metolacoloro) que afectan el metabolismo de lípidos, la síntesis de proteínas y la formación de ceras en la cutícula; 4) inhibidores de la síntesis de la glutamina (glufosinato de amonio), que reduce la fuente de amonio disponible para enzimas e inhibe la fotorrespiración, y finalmente los 5) inhibidores del acetyl Coenzima A carboxilasa (ACCase) (fluazifop-p-butil, haloxyfop-p-etoxietil), que afectan la síntesis de lípidos deteriorando rápidamente los tejidos jóvenes en crecimiento.

La respuesta de la yuca a la aplicación de herbicidas depende de la selectividad del herbicida, modo y mecanismo de acción, época de aplicación, tipo de suelo, condiciones climáticas, variedad de yuca y tipo de arvenses. Teniendo en cuenta que las investigaciones

en torno a la evaluación de herbicidas en el sistema productivo de yuca en el departamento de Bolívar son limitadas, la presente investigación tuvo como objetivo realizar la selección de herbicidas para el control de arvenses en yuca (*M. esculenta*) en Bolívar, Colombia. Las mejores moléculas podrán ser utilizadas por los agricultores, como una alternativa de manejo eficiente que ayudará a mejorar la productividad de esta raíz tuberosa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la granja experimental de AGROSAVIA sede Carmen de Bolívar (Bolívar, Colombia), coordenadas 9°42,50,8" N y 75°06'26,9" W, temperatura promedio de 27,7°C, humedad relativa promedio de 76%, altitud de 143 msnm, régimen bimodal de lluvias con precipitación media de 1100 mm anuales. El área pertenece a la zona climática cálido muy seco, a la formación de bosque seco tropical (BS-T) (Guevara *et al.*, 2004). El suelo donde se instaló el experimento presentó textura franco-arcillosa, pH 7,57; MO 2,01%; P 55,28 mg kg<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup> 26,67 cmol kg<sup>-1</sup>; Mg<sup>2+</sup> 5,66 cmol kg<sup>-1</sup>; K 1,00 cmol kg<sup>-1</sup> y CIC=34,36 cmol kg<sup>-1</sup>.

Las estacas o cangres de la variedad MCOL-2215 'venezolana' de longitud 20 cm, diámetro 3 cm y entre 5-6 yemas, fueron obtenidos del tercio medio de plantas maduras de yuca (10-12 meses de edad) en buen estado fitosanitario. La desinfección se efectuó sumergiendo los cangres durante 5 min en una mezcla a base de fungicida (metalaxil + mancozeb: 3 g L<sup>-1</sup>) e insecticida (fipronil: 3 cc L<sup>-1</sup>).

El estudio se desarrolló en la temporada comprendida entre agosto de 2016 y agosto de 2017. El suelo se preparó de forma mecánica realizando dos pases de rastra liviana. Las arvenses emergentes fueron controladas mediante la aplicación del herbicida glifosato (concentración: 480 g L<sup>-1</sup>) en dosis de 12,5 cc L<sup>-1</sup> 8 d antes de la siembra.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con siete tratamientos y tres repeticiones. La unidad experimental (UE) consistió en cinco hileras de 7 m espaciadas a 1 m y 0,8 m entre plantas para un área total de 35 m<sup>2</sup>. El área útil fue 9,6 m<sup>2</sup> correspondiente a 3 hileras centrales descartando las plantas de los extremos.

## Herbicidas y épocas de aplicación

Diferentes combinaciones de ingredientes activos y desyerbes manuales fueron implementados como tratamientos (Tab. 1). Las mezclas fueron realizadas teniendo en cuenta el grado de compatibilidad, mecanismo de acción y época de aplicación. La aplicación de herbicidas fueron realizadas en dos épocas del cultivo. En preemergencia se aplicaron las siguientes combinaciones: linuron + pendimetalina; oxadiazón + diuron y metolaclo + atrazina. En post-emergencia posterior a la brotación de los cangres y cuando se presentó la emergencia de arvenses: fluazifop, haloxifop y glufosinato. Se empleó una aspersora o pulverizador manual con capacidad de 20 L y boquilla TK 2.5.

Se evaluaron las siguientes variables:

**Porcentaje de sobrevivencia (%):** se realizó la evaluación de sobrevivencia de arvenses trascurridos 30 días después de la siembra (DDS) y aplicados los herbicidas de pre-emergencia. Para los tratamientos en post-emergencia se determinó a los 10 días después de la aplicación (DDA).

**Crecimiento del cultivo:** se registró la altura (cm) de 5 plantas a los 30, 45, 60 y 75 DDS y al momento de la cosecha. Para el diámetro (mm) a los 12 meses de sembrado el cultivo.

**Evaluación de fitotoxicidad:** la fitotoxicidad de los herbicidas sobre las plantas de yuca se valoró a través de la escala visual EWRC adaptada de Scariot *et al.* (2013) donde 1 corresponde a planta sana, 2 clorosis leve, 3 amarillamiento generalizado con escaso desarrollo de hojas y tallo, 4 clorosis, quemazón en bordes de hojas y encrespamiento, y 5 planta muerta.

Las evaluaciones fueron realizadas al momento de la brotación entre los 15, 30, 45 y 60 DDA de los herbicidas pre-emergentes. En el caso de los herbicidas post-emergentes 1, 7, 15 y 30 DDA seleccionando 6 plantas al azar.

**Caracterización de la comunidad de arvenses y eficiencia de los herbicidas en el Control:** se utilizó el método de la cuadrícula (25 m<sup>2</sup>, 5×5 m) para determinar el porcentaje de infestación a los 50 DDS. Se lanzó una vez al azar sobre el área efectiva. Las arvenses fueron identificadas según la familia, género y especie. Se implementó la escala visual de Alemán (2004) (Tab. 2) para determinar el porcentaje de control que ejerce la aplicación de herbicidas sobre las arvenses.

**Tabla 2. Escala visual para determinar la eficiencia de herbicidas.**

Índice	Porcentaje de control
0-40	Ninguno o pobre
41-60	Regular
61-70	Suficiente
71-80	Bueno
81-90	Muy bueno
90-100	Excelente

Fuente: Alemán (2004).

**Rendimiento de raíces frescas (t ha<sup>-1</sup>):** La cosecha se realizó de forma manual a los 12 meses de edad. Se determinaron los componentes de rendimiento número y peso (kg) de raíces comerciales y no comerciales.

Se realizaron análisis de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk

**Tabla 1. Tratamientos evaluados para el control de arvenses en época de preemergencia y post-emergencia en el cultivo de yuca.**

Tratamientos	Descripción	Época de aplicación	Dosis ia (ha)
Linuron + pendimetalina	Linuron + pendimetalina + control manual en postemergencia	Preemergencia	1,5 kg + 3,5 L
Oxadiazón + diuron	Oxadiazón + diuron + control manual en postemergencia	Preemergencia	2,0 L + 1,5 L
Metolaclo + atrazina	Metolaclo + atrazina + control manual en postemergencia,	Preemergencia	1,5 L + 2,0 kg
Fluazifop	Fluazifop-p-butil + control manual	Post-emergente	2,0 L
Haloxifop	Haloxifop-R-metil ester + control manual	Post-emergente	400 cm <sup>3</sup>
Glufosinato	Glufosinato de amonio + control manual	Post-emergente	2,0 L
Control manual	Testigo: control manual	-	-

ia, ingrediente activo

y Levene, respectivamente. Comprobados los supuestos, se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de Tukey al 5%. Se empleó el paquete estadístico SAS v. 9.2.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza no reveló diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) en la sobrevivencia de plantas de yuca (Tab. 3). Resultados similares fueron reportados por Matheus *et al.* (2004), quienes evaluaron el efecto de tres herbicidas (fluometurón, metolaclo-ro y pendimetalina) durante el establecimiento en campo de plántulas propagadas *in vitro* que no

interrumpieron los procesos fisiológicos de crecimiento. Costa *et al.* (2013) determinaron que los herbicidas pre-emergentes, linuron, oxadiazon, y alaclor, son moderadamente selectivos al cultivo de yuca, ya que no generan daños a la planta siempre y cuando se utilicen en dosis recomendadas para cada tipo de suelo y aplicados en un periodo no mayor a 5 DDS.

La combinación de metolaclo-ro + atrazina afectó en menor medida la sobrevivencia de yuca (Tab. 4). Al respecto, Biffe *et al.* (2010) determinaron que la aplicación de estos herbicidas en esta etapa del cultivo proporciona control satisfactorio de las arvenses y no genera daños en la morfología inicial del crecimiento, por lo que constituye en la opción viable en los

**Tabla 3. Análisis de varianza de sobrevivencia, diámetro de tallo y rendimiento en plantas de yuca implementando diferentes herbicidas para mejorar la eficiencia en el control de arvenses.**

Sobrevivencia (%)					
FV	GL	SC	CM	F-valor	Pr>F
<b>Bloques</b>	2	19,3936	9,6968	0,87	0,4419 <sup>NS</sup>
Tratamiento	6	42,0257	7,0042	0,63	0,7030 <sup>NS</sup>
Error	12	133,0064			
Total	20	194,4789			
CV (%) = 3,43					
Diámetro del tallo (mm)					
Bloques	GL	SC	CM	F-valor	Pr>F
<b>Bloques</b>	2	57,7188	28,8594	2,75	0,1038 <sup>NS</sup>
Tratamiento	6	73,4311	12,2385	1,17	0,3845 <sup>NS</sup>
Error	12	125,8445			
Total	20				
CV (%) = 11,93					
Eficiencia del control de arvenses (%)					
Bloques	GL	SC	CM	F-valor	Pr>F
<b>Bloques</b>	2	5,42857	2,71429	1,89	0,1935
Tratamiento	6	21745,90	3624,31	2523,01	<0,0001**
Error	12	17,23810	1,43651		
Total	20				
CV (%) = 2,55					
Rendimiento de raíces (t ha <sup>-1</sup> )					
Bloques	GL	SC	CM	F-valor	Pr>F
<b>Bloques</b>	2	9,2181	4,6090	3,90	0,0497*
Tratamiento	6	95,4983	15,9163	13,46	0,0001**
Error	12	14,1932			
Total	20	118,9098			
CV (%) = 8,86					

GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; CV: coeficiente de variación; \*\* = significativo 1%; \* = significativo al 5%; <sup>NS</sup>: sin diferencias significativa.

programas de manejo integrado de arvenses en el cultivo de yuca. El herbicida glufosinato de amonio en post-emergencia presento la sobrevivencia de plantas de yuca en un 98,09% (Tab. 4). Estos resultados contrastan con los reportados por Silva *et al.* (2010), quienes encontraron que este herbicida redujo en 40% la sobrevivencia de plantas de yuca, en las cuales se observó una alta toxicidad hasta los 35 DDA, las plantas presentaron clorosis generaliza, quemazón de hojas y las raíces tuberosas cosechadas presentaron menor porcentaje de materia seca.

Los herbicidas evaluados no ejercieron efectos significativos ( $P > 0,05$ ) sobre el diámetro del tallo (Tab. 3 y 4) y la altura de plantas de yuca (Fig. 1).

La yuca es una planta resistente a la aplicación de varios grupos de herbicidas, sin embargo, cada variedad presenta una respuesta diferencial en su crecimiento

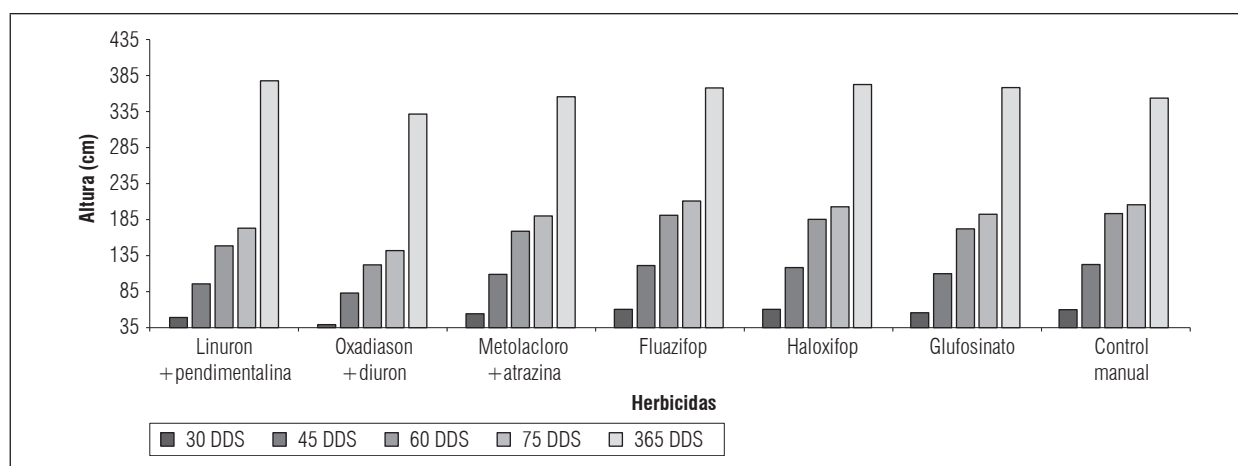
dependiendo de las condiciones ambientales, el mecanismo de acción del herbicida y la época de aplicación (Silva *et al.*, 2011).

Estudios realizados por Gutiérrez *et al.* (2008) y Silva *et al.* (2012), comprobaron que los herbicidas inhibidores del fotosistema II (diuron, atrazina, ametrina, linuron) aplicados 60 DDS en el cultivar IAC-12 bajo condiciones controladas en un suelo de textura arcillosa, no manifestaron consecuencias sobre el área foliar, número de hojas, altura de planta y diámetro del tallo en comparación con las plantas no tratadas con herbicidas. De manera similar Da Costa *et al.* (2014), reportaron que los herbicidas aplicados en época de preemergencia (clomazone, metsulfuron-methyl, y carfentrazone), solos y en mezcla con glifosato, sobre el cultivar Fecula blanca, no afectaron de manera negativa el crecimiento de las plantas de yuca.

**Tabla 4. Efecto de herbicidas aplicados en época de preemergencia y post-emergencia sobre la sobrevivencia de plantas (%), diámetro de tallo, eficiencia en el control de arvenses (%), rendimiento de raíces de yuca.**

Tratamiento	Sobrevivencia (%)	Diámetro tallo	Eficiencia en el control de arvenses (%)	Rendimiento de raíces (t ha <sup>-1</sup> )
Linuron + pendimetalina	95,24±2,77 a	27,50±2,24 a	66,0±0,28 b	13,63±0,62 abc
Oxadiazón + diuron	95,23±2,32 a	26,13±2,82 a	68,3±0,84 b	15,23±0,92 a
Metolaclo + atrazina	98,10±1,22 a	29,76±1,57 a	79,7±0,61 a	14,74±0,08 ab
Fluazifop	95,24±0,85 a	26,50±0,54 a	0,0±0,35 d	9,30±0,37 d
Haloxifop	98,09±1,63 a	26,73±1,32 a	0,0±0,35 d	10,67±1,10 cd
Glufosinato	98,09±1,63 a	23,82±0,61 a	76,3±0,31 a	11,83±0,52 bdc
Control manual	95,24±1,22 a	29,41±1,73 a	37,7±1,15 c	10,40±1,00 d

Promedios con letras distintas en la columna, indican diferencia significativa entre tratamientos de acuerdo con la prueba Tukey ( $P \leq 0,05$ ).



**Figura 1. Efecto de herbicidas sobre la altura de plantas de yuca.**

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la variable altura de la planta. Las plantas tratadas con la mezcla oxadiazón + diuron presentaron menor altura (121,4 cm) en comparación con las plantas testigo (control manual, 192,1 cm) (Fig. 1). Los herbicidas inhibidores de la oxidasa del fotoporfirinogeno (PPO) como oxadiazón desestabilizan la formación de precursores de la clorofila, inhiben la protoporfirinogeno-9-oxidasa que participa en la captura de luz, lo que conlleva a la reducción de la actividad fotosintética de la planta y por consiguiente disminuye la producción de biomasa (Alves *et al.*, 2015).

### Fitotoxicidad de los herbicidas

Los herbicidas aplicados en preemergencia causan síntomas visibles de toxicidad en la parte aérea de la planta (Tab. 5), dichos tratamientos, linuron + pendimentalina, oxadiazón + diuron y metolacloro + atrazina, presentaron al momento de la brotación y transcurridos 15 DDS, una ligera clorosis, quemazón de hojas y un encrespamiento de los ápices, las plantas muestran recuperación completa del follaje para linuron + pendimentalina y oxadiazón + diuron a los 60 DDS, mientras que metolacloro + atrazina síntomas se observan a los 23 DDS. Estos resultados son similares a los reportados por Biffe *et al.* (2010), quienes indicaron que las variedades Fécula blanca y Fibra los síntomas de toxicidad no fueron visibles sino a los 30 DDS. Trabajos realizados por Franciscon *et al.* (2016) sobre eficacia y selectividad de mezclas de herbicidas en yuca, determinaron que los herbicidas a base de metolacloro presentan fitotoxicidad media al cultivo, alcanzando una recuperación a los 70 DDS.

Los tratamientos fluazifop, haloxifop y glufosinato aplicados con pantalla y de forma dirigida no ejercieron efectos notorios de fitotoxicidad sobre las plantas de yuca. De acuerdo con Costa *et al.* (2013), el herbicida fluazifop-p-butil no genera toxicidad en las plantas cuando es aplicado de forma dirigida, las plantas no expresan síntomas visibles de afectación por el herbicida.

### Caracterización de la comunidad arvense y eficiencia de herbicidas

A los 50 DDS y después de ser aplicados los herbicidas la comunidad arvense estuvo compuesta por cuatro familias y cuatro especies (Tab. 6). La especie de mayor frecuencia correspondió a *Cyperus rotundus* L., seguida de *Kallstroemia maxima* (L.) Hook. & Arn., *Cassia tora* L. y *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell., respectivamente (Fig. 2). Las especies identificadas en este estudio también han sido reportadas en yuca (Olorunmaiye *et al.*, 2013) y cultivos de batata (Lugo-Torres y Diaz, 2007). El éxito de *C. rotundus* presente en todos los tratamientos se explica a la eficiente absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico y la liberación de sustancias alelopáticas perjudiciales a otras especies arvenses y cultivos. Además, la reproducción a través de rizomas y tubérculos le confieren la capacidad de multiplicarse rápidamente en periodos muy cortos, sobrevivir por años a profundidades de 20 cm en el suelo y lograr procesos de dispersión exitosos que conllevan a la invasión y colonización eficiente de áreas de cultivos (Aramendiz *et al.*, 2010).

La eficiencia de las mezclas de herbicidas en el control de arvenses registró diferencias significativas (Tab. 3), lo cual indica que hubo un efecto notorio de algunos

**Tabla 5. Fitotoxicidad de herbicidas con la escala visual EWRC en yuca.**

Tratamientos	Fitotoxicidad					
	Brotación	15 DDS	23 DDS	30DDS	45DDS	60DDS
Linuron + pendimentalina	4,0	4,0	3,0	2,0	2,0	1,0
Oxadiazón + diuron	4,0	4,0	3,0	2,0	2,0	1,0
Metolacloro + atrazina	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Fluazifop	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Haloxifop	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Glufosinato	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Control manual	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

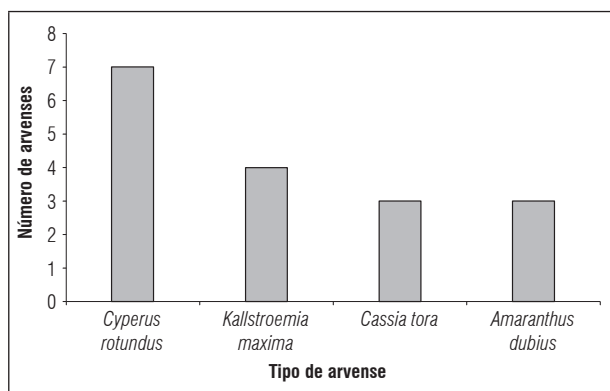
DDS: días después de la siembra.

**Tabla 6. Arvenses identificadas posterior a la aplicación de herbicidas pre-emergentes y post-emergentes en el cultivo de yuca en la Costa Caribe colombiana.**

Tratamiento	Familia	Género	Especie	Nombre vulgar	% Infestación
Linuron + pendimetalina	Cyperaceae	Cyperus	<i>C. rotundus</i>	Coquito	40
Oxadiazón + diuron	Cyperaceae	Cyperus	<i>C. rotundus</i>	Coquito	25
Metolacoloro + atrazina	Cyperaceae	Cyperus	<i>C. rotundus</i>	Coquito	15
Fluazifop	Cyperaceae	Cyperus	<i>C. rotundus</i>	Coquito	10
	Caesalpiniaceae	Cassia	<i>C. tora</i>	Bicho	15
	Zygophyllaceae	Kallstroemia	<i>K. maxima</i>	Atarraya	75
Haloxifop	Cyperaceae	Cyperus	<i>C. rotundus</i>	Coquito	10
	Amaranthaceae	Amaranthus	<i>A. dubius</i>	Bledo blanco	35
	Caesalpiniaceae	Cassia	<i>C. tora</i>	Bicho	15
	Zygophyllaceae	Kallstroemia	<i>K. máxima</i>	Atarraya	40
Glufosinato	Cyperaceae	Cyperus	<i>C. rotundus</i>	Coquito	4
	Amaranthaceae	Amaranthus	<i>A. dubius</i>	Bledo blanco	6
	Caesalpiniaceae	Cassia	<i>C. tora</i>	Bicho	5
	Zygophyllaceae	Kallstroemia	<i>K. maxima</i>	Atarraya	7
Control manual	Cyperaceae	Cyperus	<i>C. rotundus</i>	Coquito	10
	Amaranthaceae	Amaranthus	<i>A. dubius</i>	Bledo blanco	35
	Caesalpiniaceae	Cassia	<i>C. tora</i>	Bicho	15
	Zygophyllaceae	Kallstroemia	<i>K. maxima</i>	Atarraya	40

herbicidas sobre la disminución en el porcentaje de infestación de arvenses. La mezcla metolacoloro + atrazina controló 79,7% la emergencia de arvenses, este tratamiento mostró el mayor grado de eficiencia de control en preemergencia (Tab. 4). Scariot *et al.* (2013) corroboraron que metolacoloro aplicado solo

o en mezcla con clomazone proporciona un control excelente de arvenses hasta los 105 DDA en yuca 'Cascuda'. Para el caso de los tratamientos linuron + pendimetalina y oxadiazón + diuron, se encontró un control suficiente para las arvenses.

**Figura 2. Frecuencia absoluta de arvenses asociadas al cultivo de yuca después de la aplicación de diferentes herbicidas en la Costa Caribe colombiana.**

El tratamiento glufosinato aplicado en post-emergencia ejerció un control del 76,3% de las arvenses, catalogándose bueno según la escala propuesta por Alemán (2004). Los herbicidas fluazifop y haloxifop, obtuvieron un control pobre (0%) sobre las comunidades de arvenses de hoja ancha y *C. rotundus*, este hecho se fundamenta en la especificidad de las moléculas para el control de las gramíneas.

El control manual es la práctica común de las plantaciones de yuca, este método ejerció un control regular (37,7%) de las arvenses, mostrando poca eficiencia en el control, por lo cual, las arvenses colonizan rápidamente la superficie del suelo compitiendo de forma directa por agua, luz y nutrientes con las plantas de yuca, incrementando el número de controles y por consiguiente los costos de producción del cultivo (Weerarathne *et al.*, 2017).

## Rendimiento de raíces tuberosas

El efecto de las mezclas de herbicidas sobre el rendimiento de raíces tuberosas de yuca presentó diferencias significativas ( $P \leq 0,01$ ) (Tab. 3). Las aplicaciones en preemergencia, linuron + pendimetalina, oxadiazón + diuron y metolaclo + atrazina, mostraron incrementos sustanciales en el rendimiento en comparación al tratamiento control manual (Tab. 4). Estas mezclas presentaron baja fitotoxicidad en las plantas, eficiencia en el control de arvenses, lo cual favoreció el crecimiento de las plantas y maximizó la productividad de las plantas. Los reportes de Pereira *et al.* (2001), Cavalieri *et al.* (2008) y Biffe *et al.* (2010) determinaron que los herbicidas diuron, metolaclo, atrazina, metribuzin, ametrina e isoxaflutole pueden mostrar selectividad y no generar reducciones en la productividad de las plantas de yuca, siendo utilizados como herramientas de control de arvenses en yuca.

## CONCLUSIONES

Se encontró tolerancia a herbicidas para la variedad de yuca MCOL-2215, por lo cual pueden ser incluidos como herramientas de manejo de arvenses en el cultivo de yuca en el departamento de Bolívar (Colombia). La mezcla de herbicidas metolaclo + atrazina fue la más eficiente en el control de arvenses y selectiva al cultivo de yuca en época de preemergencia. La aplicación combinada de estos herbicidas incrementó en 4,34 t ha<sup>-1</sup> los rendimientos del cultivo en comparación con el método tradicional. La combinación de métodos de control (manual y químico) en sistemas de cultivo de yuca permite optimizar los rendimientos e incrementar la rentabilidad del cultivo.

## Agradecimientos

Esta investigación tuvo el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural quien otorgo los recursos a través de convenio TV-16 (C08592). La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) sede Carmen de Bolívar suministró el apoyo logístico necesario para su desarrollo. CORPOICA cambio su identidad legal a AGROSAVIA a partir de junio de 2018.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí

presentados. Así mismo declaramos no tener conflictos con las empresas distribuidoras de agroquímicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agronet. 2016. Estadísticas de área cosechada, producción y rendimiento de yuca, 2000-2016. En: <http://www.agronet.gov.co>; consulta: enero de 2018.
- Aguilera, M. 2012. La yuca en el Caribe colombiano. De cultivo ancestral a agroindustrial. Economía Regional 158. Banco de la República, Bogotá.
- Alemán, F. 2004. Manejo de arvenses en el Trópico. 2a ed. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Alves, E., C. da Conceição de Matos, E. Alves, D. Valadão Silva, J. Barbosa dos Santos, G.A Mendes y C. Teixeira da Silva. 2015. Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. Ciênc. Agrár. 36(2), 645-656. Doi: 10.5433/1679-0359.2015v36n2p645.
- Aramendiz-Tatis, H., C. Cardona-Ayala y R. De Oro. 2010. Periodo de interferencia de arvenses en el cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.). Agron. Colomb. 28(1), 81-88.
- Arrieta, J.M., A. Martínez, J.L. Romero, A. Contreras, L. Bracho y G. Gamero. 2004. Principales arvenses del asocio yuca/maíz en la región Caribe colombiano. Editorial Siglo XXI, Bogotá.
- Biffe, D.F., J. Constantin, J.R. Oliveira, F.A. Ríos, L.H.M. Franchini y A. Gemelli. 2010. Avaliação de herbicidas para dois cultivares de mandioca. Planta Daninha 28(4), 807-816.
- Cavalieri, S.D., J.R.S. Oliveira, J. Constantin, D.F. Biffe, F.A. Rios y L.H.M. Franchini. 2008. Tolerância de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron. Planta Daninha 26(1), 203-214. Doi: 10.1590/S0100-83582008000100021
- Costa, N.V., G.C. Pavan, R.F. Douradoda, A.C.P.R. Costa y E.S. Vasconcelos. 2013. Seletividade de herbicidas aplicados com óleo mineral na cultura da mandioca 'Cascauda'. Rev. Bra. Herb. 12(3), 251-259. Doi: 10.7824/rbh.v12i3.204
- Da Costa, N.V., M.M. Arrúa, D.A. Sontag, D.C. De Andrade y J.B.D. Junior. 2014. Seletividade de herbicidas residuais e da mistura com glyphosate aplicados após a poda da mandioca 'Fécula Branca'. Rev. Bras. Herb. 13(1), 23-30. Doi: 10.7824/rbh.v13i1.263
- Enyong, J.F.K., N.U. Ndaeyo, B.A. Ndon, L.A. Ugbe y E.A. Akpan. 2013. Preliminary evaluation of effects of herbicide types and rates on growth and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Int. J. Basic Appl. Sci. 2(2), 65-70.
- FAO. 2016. Cassava production statistics. En: Faostat, <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>; consulta: enero de 2018.

- Franciscon, H., N.V. Da Costa, A.C.P.R. Da Costa, S.D. Ferreira, G. Moratelli, A.C. Salvalaggi y M.A.M. Arrúa. 2016. Eficacia y selectividad de mezclas de herbicidas en el cultivo de mandioca. *Rev. Fac. Agron.* 115(2), 209-219.
- Guevara, J., C. Molina, L. Santana y H. Rodríguez. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Bolívar. 2a ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá.
- Gutiérrez, W., J. Morán, B. Daboin, J. Ferrer, B. Medina e Y. Villalobos. 2008. Evaluación de diferentes herbicidas sobre el control de arvenses, desarrollo, rendimiento y beneficio. *Rev. Fac. Agron.* 25(1), 26-42.
- Johanns, O. y R.L. Contiero. 2006. Efeitos de diferentes períodos de controle e convivência de plantas daninhas com a cultura da mandioca. *Rev. Cien. Agron.* 37(3), 326-331.
- Lugo-Torres, M.D.L. y M. Díaz. 2007. Weed control in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 91(3-4), 161-167.
- Matheus, J., G. Romay y M.A. Santana. 2004. Efecto de tres herbicidas pre-emergentes en el establecimiento en campo de plantas in vitro de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Act. Científ. Venez.* 55, 191-197.
- Moura, G.M. 2000. Interferência de plantas daninhas na cultura de mandioca (*Manihot esculenta*) no estado do Acre. *Planta Daninha* 18(3), 451-456. Doi: 10.1590/S0100-83582000000300009
- Nduwumuremyi, A., R. Melis, P. Shanahan y A. Theodore. 2017. Interaction of genotype and environment effects on important traits of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Crop. J.* 5(5), 373-386. Doi: 10.1016/j.cj.2017.02.004.
- Nedunchezhiyan, M., C.S. Ravindran y R. Velumani. 2013. Weed management in root and tuber crops in india: critical analysis. *J. Root Crops.* 39(2), 13-20.
- Nedunchezhiyan, M., G. Byju, S.S. Veena y V. Ravi. 2017. Herbicides and polythene mulching effects on yield of cassava. *Indian. J. Weed. Sci.* 49(1), 58-62. Doi: 10.5958/0974-8164.2017.00014.4.
- Olorunmaiye, P.M., S.T.O. Lagoke, J.A. Adigun y O.R. Orija. 2013. Effect of intercropping with maize on weed diversity in cassava. *Environ. Exp. Biol.* 11(1), 189-193.
- Owusu-Darko, P.G., A. Paterson y E.L. Omenyo. 2014. Cocoyam (corms and cormels) dan underexploited food and feed resource. *J. Agric. Chem. Environ.* 3(1), 22-29. Doi: 10.4236/jacen.2014.31004.
- Pereira, F.D.A.R., M.D. Oliveira, R. Bazoni, C.A.C. Busato, L.C. Goes y A.G.D. Rocha. 2001. Estudo da seletividade de herbicidas em cultivares de milho (*Zea mays* L.), nas condições ambientais de Mato Grosso do Sul. *Ens. Ciênc.* 5(2), 119-140.
- Pérez, J.V., L.L. Luna y O. Burbano. 2018. Acumulación de biomasa en yuca (*Manihot esculenta* C.) ante la respuesta a la aplicación de fertilizantes NPK y biofertilizantes en condiciones de invernadero en dos tipos de suelo. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 12(2), 456-463. Doi: 10.17584/rcch.2018v12i2.7676.
- Reddy, P.P. 2015. Plant protection in tropical root and tuber crops. Springer India, New Delhi. Doi: 10.1007/978-81-322-2389-4.
- Salau, A.W., F.O. Olasantan, J.G. Bodunde y E.A. Makinde. 2015. Soil temperature and moisture content changes with growth and yield of cassava-vegetable intercrops. *Arch. Agron. Soil Sci.* 61 (4), 447-460. Doi: 10.1080/03650340.2014.939958.
- Scariot, C.A., N. Vilanova, E.P. Bosquese, D.C. de Andrade y D.A. Sontag. 2013. Seletividade e eficiência de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da mandioca. *Pesq. Agropec. Trop.* 43(3), 300-307.
- Silva, A.A., T. Sedyama, J.B. Santos, D.V. Silva, A.C. França y E.A. Ferreira. 2012. Manejo de plantas daninhas na cultura da mandioca. *Planta Daninha* 30(4), 835-841.
- Silva, D.V., J.B. Dos Santos, H.M. Silveira, F.P. De Carvalho, M.D.C. Neto, E.A. Ferreira y P.R. Cecon. 2011. Tolerância de cultivares de mandioca aos herbicidas fomesafen e fluazifop-p-butyl. *Rev. Brasil. Herb.* 10(3), 219-231. Doi: 10.7824/rbh.v10i3.125
- Silva, D.V., J.B. Santos, J.P. Cury, F.P. Carvalho, E.B. Silva, J.S.C. Fernandes y G. Concenço. 2013. Competitive capacity of cassava with weeds: implications on accumulation of dry matter. *Afr. J. Agric. Res.* 8 (6), 525-531. Doi: 10.5897/ajar12.652
- Silva, F.M.L., M.L. de Abreu, E.L. Brachtvogel, F. Curcelli, M.J. Gimenes y A.C. Da Costa Lara. 2010. Moléculas de herbicidas seletivos à cultura da mandioca. *Rev. Tróp. Cie. Agra. Biol.* 3(2), 61-72.
- Silveira, H.M., D.V. Silva, J.B. dos Santos, M.D.C. Neto, E.A. Ferreira, F.P. De Carvalho y T. Sedyama. 2012. Sensibilidade de cultivares de mandioca ao herbicida mesotrione. *Rev. Brasil. Herb.* 11(1), 24-31.
- Streck, N.A., D.G. Pinheiro, Z.A. Junior, L.F. Gabriel, T.S.M. Rocha, A.T.D. Souza y M.R.D. Silva. 2014. Effect of plant spacing on growth, development and yield of cassava in subtropical environment. *Bragantia* 73(4), 407-415. Doi: 10.1590/1678-4499.0159.
- Varanasi, A., P.V. Prasad y M. Jugulam. 2016. Impact of climate change factors on weeds and herbicide efficacy. *Adv. Agron.* 135, 107-146. Doi: 10.1016/bs.agron.2015.09.002
- Vencill, W.K., R.L. Nichols, T.M. Webster y J.K. Soteris. 2012. Herbicide resistance: toward an understanding of resistance development and the impact of herbicide-resistant crops. *Weed Sci.* 60(1), 2-30. Doi: 10.1614/WS-D-11-00206.1



- Villordon, A.Q., I. Ginzberg y N. Firon. 2014. Root architecture and root and tuber crop productivity. *Trends Plant Sci.* 19(7), 419-425. Doi: 10.1016/j.tplants.2014.02.002
- Weerarathne, L.V.Y., B. Marambe y B.S. Chauhan. 2017. Does intercropping play a role in alleviating weeds in cassava as a non-chemical tool of weed management? A review. *Crop Prote.* 95(1), 81-88. Doi: 10.1016/j.cropro.2016.08.028.
- Zimdahl, R.L. 2018. Methods of weed management. pp. 272-281. En: Zimdahl, R.L. (ed.). *Fundamentals of weed science*. 5a ed. Elsevier-Academic Press, London. Doi: 10.1016/B978-0-12-811143-7.00010-X

# Evaluación de sostenibilidad agroecológica de dos experiencias de producción con énfasis en hortalizas, Venezuela

## Agroecological sustainability assessment of two production systems with an emphasis on vegetables in Venezuela



SILVIA JOSEFINA SILVA-LAYA<sup>1</sup>  
SIMÓN PÉREZ-MARTÍNEZ<sup>2, 4</sup>  
JAVIER ÁLVAREZ-DEL-CASTILLO<sup>3</sup>

**Finca agroecológica en páramo Andino venezolano (Mérida).**

Foto: C. Martínez-Tejerina

### RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la sostenibilidad de dos sistemas de producción agroecológica de hortalizas y plantas medicinales, en una zona periurbana (NUDES-La Limonera) y agrícola (FIRP) de Venezuela. Se realizaron observaciones descriptivas durante once meses entre 2014-2015. Se aplicó un cuestionario sociodemográfico; y se cuantificaron dieciséis indicadores de sostenibilidad en las dimensiones ecológica (IE), económica (IK) y sociocultural (ISc) mediante metodologías publicadas anteriormente. Se encontró que El NUDES-La Limonera forma parte de un proyecto político del Ejecutivo Nacional y sus indicadores de sostenibilidad alcanzaron niveles menos favorables, especialmente algunos IE (conservación de la vida en el suelo y dependencia de insumos externos) y IK (autosuficiencia alimentaria, papel del trabajo familiar, riesgo económico y diversidad de productos para la venta). Los ISc muestran mayor fortaleza, particularmente en la densidad de relaciones con otros colectivos, sin embargo, la satisfacción de necesidades básicas como la vivienda no fue satisfactorio ya que la tierra no es propia (solo la guardia y custodia). La FIRP forma parte de una iniciativa de productores organizados para la diversificación agrícola de los Andes venezolanos. Presentó los valores más favorables a la sostenibilidad en las tres dimensiones. Vale destacar que IK, la productividad

<sup>1</sup> Universitat Politècnica de Catalunya, Sostenibilitat, Tecnologia y Humanismo, Barcelona (España). ORCID Silva-Laya, S.J.: 0000-0003-1049-4318

<sup>2</sup> Universidad. Estatal de Milagro (UNEMI), Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Cantón Milagro (Ecuador). ORCID Pérez-Martínez, S.: 0000-0001-7349-7036

<sup>3</sup> Universitat Politècnica de Catalunya, Càtedra UNESCO de Sostenibilitat, Terrassa (España). ORCID Álvarez-Del-Castillo, J.: 0000-0002-5640-5176

<sup>4</sup> Autor para correspondencia. sperez2@unemi.edu.ec

y rentabilidad resultaron óptimos en los tres últimos años analizados y en ISc, la tierra es propia. Los resultados permitieron entender la importancia de las sinergias que se generan con las interacciones en los sistemas productivos como estrategia de sostenibilidad.

**Palabras clave adicionales:** agroecología; evaluación de indicadores; horticultura; plantas medicinales; sostenibilidad.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the sustainability of two agroecological production systems for vegetable and medicinal plants in a peri-urban area (NUDES-La Limonera) and an agricultural area (FIRP) in Venezuela. Descriptive observations were made for eleven months between 2014 and 2015. A sociodemographic questionnaire was applied, and sixteen sustainability indicators were quantified for the dimensions: ecological (IE), economic (IK), and sociocultural (ISc), with previously published methodologies. NUDES-La Limonera is part of a political project from the National Executive Branch, and its sustainability indicators reached less favorable levels, especially for EI (conservation of life in the soil and dependence on external inputs) and IK (food self-sufficiency, role of family labor, economic risk and diversity of products for sale). ISc contained indicators that showed greater strength (particularly the density of relationships with other groups); however, the satisfaction of basic needs, such as housing, was not met because the land is not owned (only guardianship and custody). The FIRP is part of an initiative of organized producers for the agricultural diversification of the Venezuelan Andes. It presented the most favorable values for sustainability in the three dimensions. It is worth mentioning that, for IK, productivity and profitability were optimal in the last three analyzed years and, for ISc, the land was owned. The results evidenced the importance of synergies that are generated within interactions in productive systems as a sustainability strategy.

**Additional key words:** agroecology; horticulture; medicinal plants; evaluation indicators; sustainability.

Fecha de recepción: 16-03-2018 Aprobado para publicación: 30-11-2018

## INTRODUCCIÓN

La producción agropecuaria es un fenómeno complejo porque en su proceso intervienen las dimensiones ecológica, económica, sociocultural y política (Gliessman, 1998; Altieri, 1999; León 2014). Para que un sistema agroalimentario sea considerado sostenible, tiene que reunir cuatro criterios básicos: sostenibilidad ecológica, justicia social, viabilidad económica y aceptabilidad cultural (Sarandón y Flores, 2014; Argüello, 2015).

Uno de los enfoques de evaluación de la sostenibilidad agrícola incluye el uso de indicadores como una expresión de situaciones complejas, los cuales reflejan estados o tendencias de procesos relativamente

complejos pero mostrados en una forma más entendible (Hayati *et al*, 2010). Los indicadores de sostenibilidad pueden medir variables tanto de naturaleza cuantitativa como cualitativa y, en términos generales, existen los indicadores de tendencia (aspectos dinámicos de la sostenibilidad en el tiempo) y los indicadores de estado que capturan la condición de los ecosistemas.

En estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Agrícolas Venezolano, calcularon un índice de sostenibilidad que indicó que la agricultura venezolana en el año 1997 era ligeramente sostenible, con una tendencia al deterioro con el tiempo (Berroterán

y Zink, 1997). Estos autores encontraron en su estudio que la sostenibilidad agrícola era fuerte hasta mediados de los años 70 y débil a partir de esa fecha. El motivo se lo atribuyen a: monocultivo, abandono de tierras deforestadas por degradación del suelo, baja eficiencia económica y bajos niveles de producción en relación con el potencial del cultivo, independientemente de los altos insumos incorporados al proceso productivo.

Esta situación se mantiene actualmente en Venezuela, pero los primeros 10 años del Siglo XXI se impuso un marco legal que favorece la institucionalización de la agroecología (Herrera *et al.*, 2017). Actualmente es promovida, desde la academia y desde instituciones gubernamentales, entre algunos movimientos rurales y urbanos.

Un grupo de agricultores/as, para alcanzar sus objetivos productivos y socioeconómicos, decidió adoptar la agroecología como camino de producción y forma de vida. La literatura reporta que ya en el año 2008 había 74 comunidades productivas, distribuidas en 23 municipios (a nivel nacional) (Férgusson, 2011). Con más de 2.200 productores/as trabajando en alrededor de 1.200 parcelas (4.000 ha, aproximadamente) se han identificado más de 100 cultivos con prácticas agroecológicas.

De acuerdo con Núñez (2010) todas estas experiencias agroecológicas tienen diferentes niveles desarrollo y contribuyen a que unos 5.500 productores y productoras agroecológicas cubran unas 22.000 ha en diversos estados del país. Este colectivo tiene como horizonte el fortalecimiento de la soberanía alimentaria y han dado pauta para que, incluso, aparezca dicho término en la constitución, en un intento por garantizar que se cumpla el derecho a la alimentación (Ortega-Cerdà y Rivera-Ferre, 2010).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la sostenibilidad agroecológica de dos de estos sistemas de producción agroecológica. De un espacio periurbano de Caracas: el Núcleo de Desarrollo Endógeno Socialista-La Limonera (NUDES-La Limonera) y la zona rural en el estado Mérida FIRP, ubicada en el Páramo Andino Venezolano. Se pretende, con este estudio, fortalecer y visibilizar propuestas de agroecología emergente y así ampliar información relevante sobre el tema, que actualmente presenta un vacío en Venezuela.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en dos fincas consideradas por las asociaciones de productores locales como agroecológicas, cuyos propietarios/as aceptaron participar en la investigación durante el tiempo requerido. Los sistemas correspondieron al Núcleo de Desarrollo Endógeno Socialista La Limonera (NUDES-La Limonera), ubicado en la zona periurbana de Caracas y la FIRP, situado en la zona rural del estado Mérida, ambos sistemas en Venezuela. El levantamiento de la información se efectuó en el período octubre 2014 - agosto 2015.

Para evaluar cada sistema se empleó un cuestionario sociodemográfico con preguntas para las tres dimensiones de la agroecología (Ottmann, 2005). En la primera parte se indagó sobre datos generales referidos a la edad, género, escolaridad y estructura familiar. Así como, acerca de las Fincas, los rubros producidos, el destino (autoconsumo o venta) y los insumos requeridos para la producción (tanto químicos como biológicos) (OSALA<sup>1</sup>).

La segunda parte del cuestionario se elaboró atendiendo a la propuesta de Maserá *et al.* (2000), sobre atributos de la sostenibilidad que permiten hacer una mejor descripción de los sistemas. Se hicieron entrevistas estructuradas, las cuales fueron grabadas y se realizaron registros fotográficos de los predios. La información y los datos registrados se transcribieron, codificaron y ponderaron (Sarandón y Flores, 2014).

La observación directa en campo se realizó en tres estancias diferentes, a lo largo del período estudiado. Se organizaron reuniones y se impartieron talleres con personas que hacen vida dentro de cada sistema: como proveedores, redes de consumidores responsables, centros de investigación, universidades, entes gubernamentales y consejos comunales. Con la información obtenida de estas sesiones se realizó una matriz FODA, de la cual surgieron los criterios de diagnóstico MESMIS (Maserá *et al.*, 2000) para los criterios de diagnóstico, atributos de sostenibilidad, indicadores y sub-indicadores (Tab. 1).

<sup>1</sup> <http://www.osala-agroecologia.org/>

**Tabla 1. Relación de criterios de diagnóstico con atributos e indicadores de sostenibilidad y su ponderación para cada dimensión de la agroecología**

Criterios de diagnóstico	Atributos	Indicadores	Sub-indicadores	Valores estandarizados
<b>Dimensión ecológica</b>				
Conservación de los recursos	Nutrientes del suelo Materia orgánica	A-Conservación de la vida de suelo	A1- Lombrices de tierra	(4): Mucha presencia; (2): Poca presencia; (0): No hay presencia
		B-Riesgo de erosión	A2- Actividad biológica en el suelo	(4): Se ve mucha vida en el suelo; (2): Se ve algo de vida en el suelo; (0): se ve poca vida en el suelo
Fragilidad del sistema (manejos agroecológicos en finca)	Erosión	B-Riesgo de erosión	B2- Cobertura vegetal	(4): Todo el año; (2): Al menos 3 meses; (0): Nunca
		C- Dependencia de insumos externos	B3- Orientación de los surcos y existencia de barreras de conservación de suelos	(4): Terrazas, barreras vivas o muertas y zanjas de drenaje; (2): Platoneo o terrazas individuales; (0): Sin ningún tipo de práctica de conservación de suelos
		D- Manejo de biodiversidad	D1-Diversidad temporal	(4): Alta; (2): Media; (0): Baja (4): Rota con otras especies. Deja parcela en barbecho un año o incorpora leguminosas o abonos verdes; (2): Realiza rotaciones eventualmente (0): No realiza rotaciones
Diversidad	Variedades locales Razas locales	D2- Diversidad espacial de cultivos y vegetación natural circundante		(4): ≥ tres especies de cultivos asociados, parcelas rodeadas en al menos el 50% de sus bordes con vegetación natural; (2): Dos especies de cultivos asociadas y rodeado al menos en un lado por vegetación natural (0): Monocultivo, rodeado de otros cultivos, campos baldíos o carretera
		E- Aplicación de prácticas tradicionales o reconstruidas		(4): Alta; (2): Media; (0): Baja
Eficiencia	Tecnologías endógenas/ apropiadas	F- Tecnologías endógenas/ apropiadas		(4): Alta; (2): Media; (0): Baja
		G – Mercados locales (existencia de criterio de máximo radio: kilómetros desde productor-consumidor; distancia máxima)		(4): Colocación en mercado local; (2): Colocación en mercado local y nacional; (0): Colocación en mercado nacional e internacional
<b>Dimensión económica</b>				
Autosuficiencia	A -Autosuficiencia alimentaria	A1- Diversificación de la producción ( productos agrícolas consumidos vr. productos agrícolas producidos)		(4): Produce al menos un rubro de cada grupo de alimentos (I, II, III)* (2): Produce al menos un rubro de los grupos II y III (0): Produce al menos un rubro del grupo III de alimentos
		A2- Superficie de producción para autoconsumo		(4): Más del 50%; (2): Entre 11% y 49%; (0) Menos del 10%
		A3 - Papel del trabajo familiar		(4): Intervienen todos los miembros de la familia; (2): Intervienen sólo papá y mamá; (0): Interviene sólo el padre o la madre

Continúa

Criterios de diagnóstico	Atributos	Indicadores	Sub-indicadores	Valores estandarizados
<b>Dimensión económica</b>				
Eficiencia	Productividad (con respecto a la media de la región)	B- Productividad (kg/ha)		(4): Alta; (2): Media; (0): Baja
	Rendimiento económico (Euros/cosecha; Euros/trabajadora)	C- Rentabilidad		(4): Alta (2): Media (0): Baja
Autogestión		D- Riesgo económico	D1- Diversificación para la venta (cantidad de productos)	(4): Más de 7 (2): 4 a 6 (0): 1 a 3
			D2- Número de vías de comercialización.	(4): Al menos una vía segura de comercialización en condiciones adversas (2): 3 a 4, en condiciones normales (0): 1 ó 2 en condiciones normales
<b>Dimensión sociopolítica y cultural</b>				
Calidad de vida	Calidad de vida	A- Satisfacción de las necesidades básicas	A1- Vivienda	(4): Casa (2): Rancho (0): Habitación
			A2- Acceso a la educación	(4): Acceso a educación superior (2): Acceso a la escuela primaria y secundaria (0): Sin acceso a la educación.
			A3- Acceso a salud y cobertura sanitaria pública (percepción)	(4): Centro sanitario con médicos permanentes e infraestructura adecuada (2): Centro sanitario con personal temporario medianamente equipado (0): Sin centro sanitario
			A4- Servicios	(4): Instalación completa de agua, luz, teléfono (2): Instalación de agua (0): Sin luz y sin fuente de agua cercana
Participación	Cantidad de eventos y actividades realizadas con otros actores y experiencias	B- Tenencia de la Tierra		(4): Propietario; (2): Arrendatario más de 10 años; (0): Arrendatario menos de 5 años
		C- Densidad de relaciones de la experiencia con otros colectivos.		(4): Participa en más de un evento al mes; (2): Participa en al menos un evento al mes; (0): Nunca participa
		D- Participación comunitaria		(4): Participa activamente en cada una de las organizaciones sociales; (2): Participa activamente al menos en una organización (0): No participa en ninguna organización
Equidad, horizontalidad y género		E- Toma de decisiones		(4): Por consenso (2): Por mayoría (0): Por decisión de la junta directiva

\* Grupos de alimentos: I. Proteína animal, carne, huevo y leche. II. Legumbres, cereales, papa y yuca. III. Hortalizas y frutos

Para determinar el grado de cumplimiento para las diferentes dimensiones evaluadas, se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones los índices ecológica (IE) (1); económica (IK) (2) y política-sociocultural (ISc) (3), como se describe a continuación:

$$IE = \frac{[(A1+A2)/2 + (B1+B2)/2 + C + (D1+D2)/2 + E + F + G]^{7-1}}{7-1} \quad (1)$$

donde *IE* es el índice ecológico, *A1* lombrices de tierra, *A2* actividad biológica en el suelo, *B1* cobertura vegetal, *B2* orientación de los surcos y existencia de barreras de conservación de suelos, *C* dependencia de insumos externos, *D1* diversidad temporal, *D2* diversidad espacial de cultivos y vegetación natural circundante, *E* aplicación de prácticas tradicionales o reconstruidas; *F* tecnologías endógenas apropiadas y *G* mercados locales

$$IK = [(A1+A2+A3)/3 + B + C + (D1 + D2)/2]^{4-1} \quad (2)$$

donde *IK* es el índice económico, *A* diversificación de la producción, *A2* superficie de producción para autoconsumo, *A3* papel del trabajo familiar, *B* productividad (kg/ha); *C* rentabilidad; *D1* diversificación para la venta (número de productos) y *D2* número de vías de comercialización

$$ISc = [(A1 + A2 + A3)/3 + B + C + D + E]^{6-1} \quad (3)$$

donde *ISc* es el índice sociocultural, *A1* vivienda, *A2* Acceso a la educación, *A3* acceso a la salud y cobertura sanitaria pública, *A4* servicios, *B* tenencia de la tierra, *C* densidad de relaciones con otros colectivos, *D* participación comunitaria y *E* toma de decisiones.

Siguiendo la propuesta de Sarandón y Flores (2014), se le otorgó el mismo peso a cada uno de estos indicadores y, así mismo, se calculó el índice de sostenibilidad general (*ISGen*) (4), es decir, se valoraron por igual cada una de las tres dimensiones. Este índice se describe como

$$ISGen = (IK + IE + ISc)^{3-1} \quad (4)$$

donde *IE* es el índice ecológico, *IK* índice económico y *ISc* índice sociocultural y político.

Para todos los indicadores se utilizó una escala de valoración 0,0-4,0 donde el primer valor corresponde al menos favorable y el último al óptimo de sostenibilidad (Sarandón y Flores, 2014).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de los sistemas productivos

**NUDES-La Limonera.** En el año 2005 se capacitó a un grupo de personas de costumbres urbanas con el fin de empoderarlos en su derecho a conformar asociaciones de carácter social y participativo, que podían ser cooperativas y otras formas asociativas, tal como lo manda el artículo 118 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (CRBV) (ANV, 1999). Ese año se constituyó la Cooperativa Agropecuaria La Limonera (CALL) conformada por 32 personas (NUDES La Limonera, 2005). El marco jurídico, y la iniciativa del Ejecutivo Nacional conocido como Misión Vuelvan Caras<sup>2</sup> permitieron a la CALL recibir 194 ha de tierras en un área periurbana del municipio Baruta, en el área Metropolitana de Caracas. Del total de superficie, en 33 ha se consolidó el Núcleo de Desarrollo Endógeno Socialista La Limonera (NUDES La Limonera, 2005). La ocupación socio-territorial de La Limonera ha sido conflictiva debido a los intereses de los vecinos habitantes de las urbanizaciones adyacentes de la cooperativa Agroecológica La Limonera y del Estado (Fernández, 2013).

El NUDES-La Limonera basa su funcionamiento en cuatro ejes fundamentales: productivo, educativo y recreacional, asistencial y vivienda, como servicio público. Como fundamentos ideológicos consideran: satisfacer las necesidades “sentidas” del ser humano; integrar salud, vivienda, educación y trabajo; aprovechar los terrenos ociosos; extender sus beneficios a las comunidades aledañas; ser un modelo de desarrollo endógeno y ser autosostenible (NUDES La Limonera, 2005). Los NUDES, incluyendo La Limonera, son conceptualmente diversificados, pero en la mayoría de los casos están orientados a la actividad agrícola y la formación y producción agro-artesanal (Rojas y Pulido, 2009).

Dentro de las demarcaciones establecidas se reconoció “una zona de restauración ecológica para las áreas más degradadas, zonas para frutales y cultivos

<sup>2</sup> La Misión Vuelvan Caras es un programa social impulsado por el gobierno bolivariano de Venezuela en el año 2003. Su objetivo es transformar el modelo económico imperante, basado en las leyes del mercado, en un modelo real de economía social, incorporando a la participación ciudadana. Complementándose con otras Misiones de la Educación como son Misión Robinson, Misión Ribas y Misión Sucre.

hortícolas, zona de cría de animales y producción de materia orgánica, zona de acopio y procesamiento de alimentos, entre otras” (NUDES La Limonera, 2009).

Un objetivo fundamental de este proyecto político fue la construcción de un canal para promover la participación ciudadana dentro de los planes de producción agroalimentaria, en un espacio urbano. Este conjunto de objetivos, fundamentos ideológicos y ejes estratégicos es la conformación de lo que Gascón-Pérez (2014) han llamado democracia radical. Estos autores consideran que, más que orientaciones ideológicas cerradas para entender las relaciones sociales, son principalmente prácticas y lazos que centran su enfoque en la cooperación social y en la horizontalidad. Todo esto constituye un asiento para la construcción de vínculos sociales que conducen hacia la satisfacción, en conjunto, de las necesidades básicas; que integran desde abajo, en forma participativa, las dimensiones socioeconómicas, políticas y medioambientales.

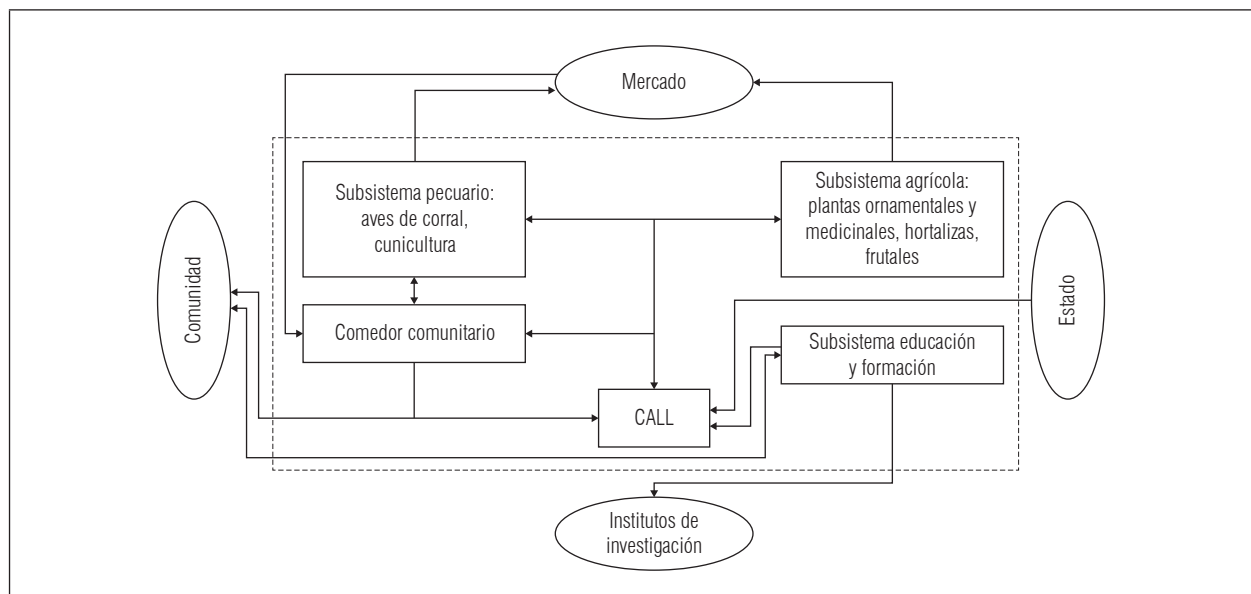
En este sentido, el NUDES desarrolla un proyecto socio-productivo basado en el cultivo de hortalizas, cría de animales y un comedor comunitario que satisface la demanda de alimentos de los más necesitados en las zonas aledañas a La Limonera. Cada una de estas áreas ha sido identificada como un subsistema dentro del sistema total socio-productivo (Fig. 1).

**Finca integral FIRP.** Se encuentra ubicada en el municipio Rangel, del estado Mérida, el cual pertenece a los

Andes venezolanos y destaca por ser zona agrícola. Dentro de su diversa producción, sobresale la papa por su trascendencia como un hilo conductor de cohesión cultural entre los habitantes del Páramo Andino; también, por la relevancia socioeconómica (Romero, 2003).

Los productores pertenecen a una familia que vive en Mucuchíes, compuesto por seis hijos con edades comprendidas entre nueve y dieciocho años. El padre de familia, es miembro de Productores Integrales del Páramo (PROINPA), una asociación de agricultores que surge como una propuesta de desarrollo, impulsada por el Programa Andes Tropicales, en el año 2000. PROINPA es una experiencia piloto que establece estrategias productivas para incorporar principios de biodiversidad. Conjuga elementos tales como: organización, participación, capacitación de los productores, ética ecológica y tecnologías alternativas, en función de la economía social (Fuenmayor y Rodríguez, 2006).

Esta iniciativa surge de la necesidad de propiciar cambios en el modo de asumir y vivir la agricultura, impuesto por la corriente desarrollista del siglo XX, que se empezó a establecer a partir de los años sesenta, con las técnicas propuestas por la revolución verde y que en la región se caracterizó por: a) la intensificación de la producción en monocultivo de la papa; b) la importación de semillas de papa híbrida (desplazando a la semilla autóctona); c) el alto uso de insumos



**Figura 1. Diagrama de flujo de los subsistemas componentes del NUDES-La Limonera, Venezuela.**



químicos; d) el desplazamiento de la frontera agrícola hacia Parques Nacionales y d) el monopolio del mercado (Fuenmayor y Rodríguez, 2006).

De acuerdo con Sevilla (2011), la corriente científica convencional y su aplicación al concepto de desarrollo, definió como “progreso” en las zonas rurales y campesinas a la homogeneización social, cultural, política y económica. Con ello causó la erosión del conocimiento local que se vino desarrollando con la interacción del ser humano y la naturaleza, en cada ecosistema específico. PROINPA emerge a contracorriente de esta definición de “progreso”.

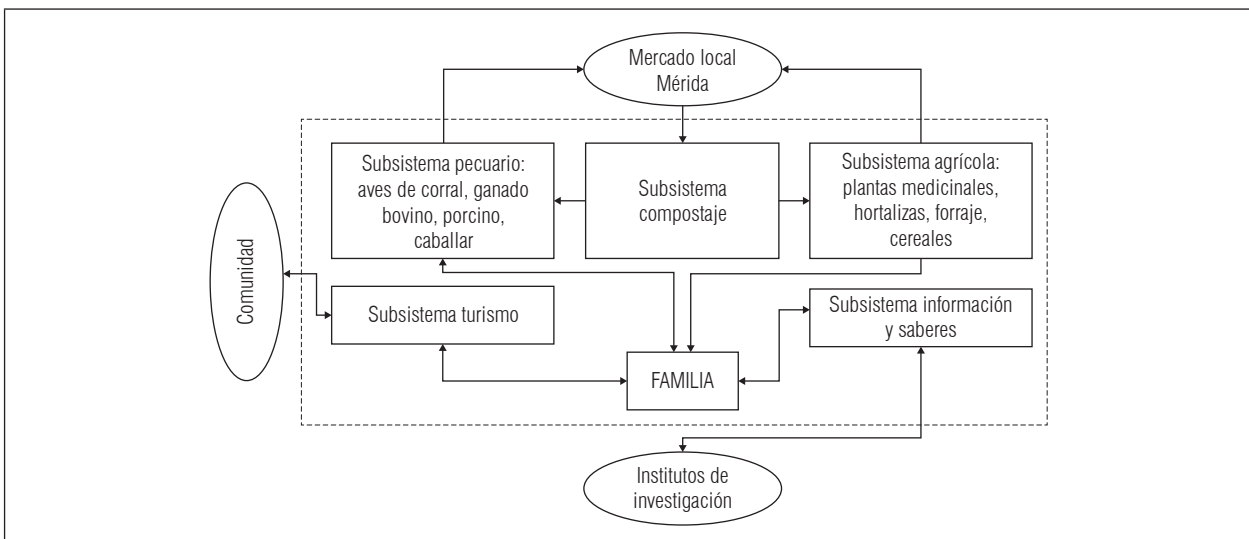
La experiencia de esta asociación de agricultores constituye un ejemplo en Venezuela, por sus aportes a la soberanía alimentaria. Se congregan en ella los y las productoras que reconocen la relación causa-efecto y

que se atreven a construir una conexión entre el problema central de la homogeneización en exceso de la agricultura y su solución, es decir, se atreven a diversificar la producción (Romero y Romero, 2007). Es el caso de la FIRP.

Esta finca tiene 3 ha, una de ellas es para la producción de hortalizas y plantas medicinales, el resto es para mantener forraje para alimento de animales; utilizan la práctica de policultivos y asociación de cultivos simultáneos. En su sistema de manejo incorpora animales de corral y de pastoreo en los huertos medicinales (Tab. 2), el reciclaje de desechos, tanto de la finca como de la casa y del Mercado de Mérida, la sustitución de insumos químicos y la utilización de los mercados responsables para comercializar sus productos, se encuentran dentro de los subsistemas que conforman esta finca (Fig. 2).

**Tabla 2. Rubros producidos en cada una de las fincas tanto para el autoconsumo como para la venta**

Origen	Autoconsumo	Venta	Nombre común de las especies
<b>NUDES-La Limonera</b>			
Vegetal	7	7	Ajo porro, cebollín, apio, cilantro, lechuga, papa, tomate, manzanilla y composta
Animal	4	3	Conejos, gallinas y pollo
Total	11	10	
<b>Finca Integral Rivera-Parra</b>			
Vegetal	10	12	Ajenjo, alcachofa, arvejas, avena, caléndula, cebolla, cebollín, cilantro, guisantes, habas, linaza, manzanilla, marrubio, mejorana, papa, romero, ruda, tomillo, toronjil y trigo
Animal	7	4	Gallinas, pollo, cerdos, leche, ovejos, pavos y queso
Total	17	16	

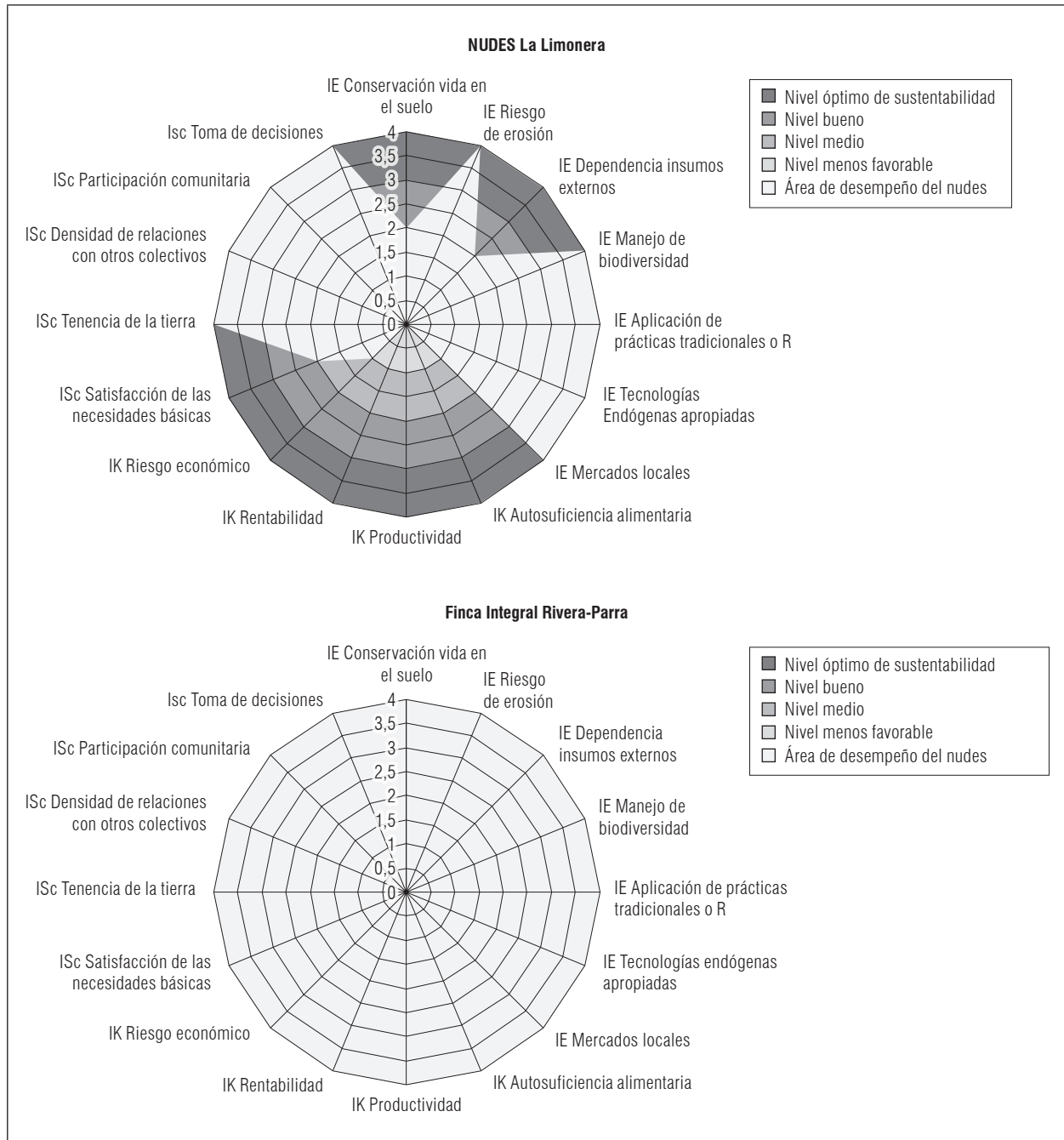


**Figura 2. Diagrama de flujo de los subsistemas componentes de la finca integral FIRP (Merida, Venezuela).**

## Indicadores de sostenibilidad

Los niveles de desempeño alcanzados por los diferentes indicadores de sostenibilidad permitieron realizar un diagnóstico para cada finca (Fig. 3).

**Dimensión ecológica.** En esta dimensión destacan los valores obtenidos en el NUDES-La Limonera para los indicadores: conservación de la vida en el suelo (2,0) y dependencia de insumos externos (2,0). Este valor medio obedece fundamentalmente a que el predio



**Figura 3. Niveles de desempeño obtenidos para los indicadores de sostenibilidad agroecológica del NUDES-La Limonera y la finca integral FIRP, Venezuela.**

no produce la mayoría de los insumos que requiere el comedor comunitario (Tab. 2); no obstante, sí se generan los insumos necesarios para la producción agrícola y pecuaria: como pueden ser el alimento para los animales, la composta y las semillas. Quiere decir que el resto de los insumos necesarios para satisfacer la demanda del comedor comunitario debe ser comprado en los mercados locales.

Cuando comenzaron la experiencia de producción, aplicaban agroquímicos para las hortalizas como ajo porro (*Allium ampeloprasum* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), cebollín (*Allium schoenoprasum* L.), céleri (*Apium graveolens* L.), cilantro (*Coriandrum sativum* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y plantas medicinales como manzanilla (*Chamaemelum nobile* L.) All.), marrubio (*Marrubium vulgare* L.), mejorana (*Origanum majorana* L.), ruda (*Ruta graveolens* L.), tomillo (*Thymus vulgaris* L.), toronjil (*Melissa officinalis* L.) y romero (*Rosmarinus officinalis* L.). Posteriormente, acompañados por investigadores y colaboradores externos, incursionaron en prácticas agroecológicas. Esto disminuyó el uso de insumos externos y les ayudó a construir un sistema integrado que incorpora los residuos en el proceso de producción y, como consecuencia, disminuye costos.

Es importante, así mismo, la transformación que hacen de los productos agrícolas en el comedor, para ofrecer un servicio social. Esa es la razón por la que indicadores como aplicación de prácticas tradicionales/reconstruidas (4,0) y tecnologías endógenas apropiadas (4,0), hayan resultado con valores óptimos de sostenibilidad. La literatura reporta que estas prácticas juegan un papel importante en la sostenibilidad agroecológica de los sistemas productivos porque disminuyen la dependencia del campesinado y conserva y mejora los recursos naturales (Van Driesche y Hoddle, 2007; Altieri y Nicholls, 2009).

Respecto a la Finca Integral FIRP, todos los indicadores de esta dimensión mostraron el valor óptimo de sostenibilidad. La finca integral genera insumos que son necesarios para la producción: mantienen permanentemente un cultivo de pastos que alimenta el ganado; el estiércol es insumo para la composta, con ella fertilizan el suelo (Tab. 2; Fig. 2). También, han adoptado tecnologías que les permiten ser más independientes de los factores externos. Por ejemplo: la máquina de secado de plantas medicinales es un apoyo para mejorar el almacenaje y la conservación de la producción. Estas prácticas propenden por la sostenibilidad del sistema (Van Driesche y Hoddle, 2007; Altieri y Nicholls, 2009).

**Dimensión económica (IK).** En el NUDES-La Limonera el indicador autosuficiencia alimentaria refleja la situación que ellos viven, aun cuando no alcanzan niveles deseables de autosuficiencia alimentaria. Una parte de la producción satisface la demanda del comedor comunitario y otra destinada a la venta.

Para el sub-indicador papel del trabajo familiar, los resultados fueron menos favorables a la sostenibilidad (0) pues que los familiares de los integrantes de la cooperativa no participan en las labores de producción.

Al revisar la contabilidad se observó una reducción en la productividad de hortaliza en los últimos años pasando de 5 t en el 2013, 1,5 t 2014 y >1 t 2015. Estas cifras son explicadas al déficit de mano de obra que demandan dichas labores agrícolas. La mayoría de los integrantes realizan actividades paralelas fuera del núcleo con el propósito de obtener mayores ingresos.

El sub-indicador diversidad de productos para la venta (2,0), influyó negativamente al indicador riesgo económico (1,0); al tener un solo agente de compras (entidades gubernamentales) se limita el beneficio económico al fijar el precio de compra por debajo del establecido en el mercado local. Esto influye negativamente el resultado final de indicador riesgo económico (1,0).

En caso contrario, la mayoría de los indicadores de la finca integral FIRP presentaron valores óptimos a la sostenibilidad. Por ejemplo, el indicador autosuficiencia alimentaria arrojó el valor máximo (4,0); la finca produce por lo menos un rubro de cada uno de los grupos de alimentos para las categorías del grupo I: leche, huevos y carne (ovejas, cerdos, vacas y gallinas), grupo II: papas y cereales y grupo III: hortalizas (Tab. 2).

Todos los miembros de la familia intervienen en la producción, razón por la cual el indicador papel del trabajo familiar (4,0) obtuvo el máximo valor. Los miembros participan activamente en épocas de mayor faena (la cosecha), sin interferir con las labores escolares. Los indicadores, productividad y rentabilidad, resultaron con valores óptimos (4,0) y se ha mantenido así durante los últimos tres años (según registros). La diversidad de la producción es un factor importante que contribuye al mantenimiento económico evitando el riesgo y maximizando la rentabilidad; perciben ingresos por la venta de queso, carne de oveja y lana. También obtienen ingresos adicionales por turismo al prestar servicios de guía y hospedaje en temporada

alta. Realizan ventas directas, sin intermediarios. Practican intercambios o trueque con algunas comunidades (semillas y, en menor medida, frutales o hierbas medicinales).

Los sistemas productivos estudiados aportan múltiples elementos en esta dimensión económica de la agroecología, la literatura reporta que estas prácticas aportan en la construcción de la soberanía alimentaria (Toledo y Barrera, 2009). Los resultados presentan saldos positivos en esta dimensión, tanto al interior de cada sistema investigado como en sus áreas de influencia.

**Dimensión política sociocultural (ISc).** Los miembros del NUDES-La Limonera ha logrado reivindicaciones importantes como guardia y custodia de tierras, el apoyo económico del gobierno para la construcción de casas de cultivo, el caso de la vivienda es un tema pendiente por resolver ya que la mayoría no vive dentro del predio. “La vivienda como servicio público” es uno de los ejes fundamentales del proyecto NUDES-La Limonera. Sus integrantes esperaban que se les asignara una vivienda en el complejo habitacional que otorgó el gobierno. Sin embargo, algunos miembros fueron excluidos de la adjudicación de apartamentos que se realizó en el año 2011 en la Ciudad Socialista La Limonera, un diseño urbanístico concebido con casi mil apartamentos financiados por el gobierno Nacional (Fernández, 2013).

El indicador densidad de relaciones con otros colectivos, alcanzó el valor óptimo a la sostenibilidad debido al intercambiado experiencias con otros NUDES a nivel nacional durante los últimos ocho años. Esto resulta ser una fortaleza porque el intercambio de experiencias incrementa la posibilidad de mejorar sus sistemas de manejo. En el NUDES-La limonera hay un centro de desarrollo y formación sociopolítica donde realizan talleres con fines educativos y encuentros con fines de divulgación acerca de los beneficios de las actividades socio productivas y auto gestionadas desarrolladas durante los últimos años.

El programa “rescate de niños de calle”, imparte talleres de formación con miras a la incorporación de actividades de producción agrícola: selección de las semillas, siembra y cosecha.

La organizan de comisiones de trabajo es un logro importante para ellos, porque según las entrevistas, “les ha permitido adecuarse a las capacidades y vocaciones de cada quien”, lo que los hace trabajar con “entusiasmo

y amor, apoyados en la confianza y el respeto mutuo”. En cuanto a la toma de decisiones, se toman por consenso, sin predominio de género, nivel educativo, clase social, ni ningún otro factor de discriminación.

Cuando se indagó en la entrevista sobre las nuevas formas de cooperación y corresponsabilidad, ¿cómo se perciben como actores?, respondieron: “viviendo en espacios urbanos, nos interesa producir para cuidar la salud y para cuidar y recuperar el suelo”. Ellos se conciben a sí mismos como actores de cambio social: “creemos en el socialismo, creemos que es importante proliferar y conservar estos espacios, para gestar una conciencia de cambio que derive en un desarrollo comunitario endógeno”.

Partiendo de ese imaginario, dentro de las actividades socioculturales y sociopolíticas, los integrantes del NUDES-La Limonera perciben que tienen la oportunidad de “construir un modelo de país más justo, más respetuoso con el medioambiente y con los recursos naturales”. Este imaginario urbano con concepciones de autosuficiencia alimentaria mediante la producción agropecuaria, se indagó sobre ¿qué falta para llegar a ese imaginario? Contestaron: “falta organización, planificación y personas que estén comprometidas con el desarrollo del área socio-productiva de este proyecto, que dependan directamente de su éxito para su sustento”.

La FIRE, en esta dimensión económica, resultó con valores óptimos de sostenibilidad, para todos los indicadores. La familia ha tenido acceso a los recursos, todo el predio es de su propiedad, esto ha influido para que los indicadores de satisfacción de las necesidades básicas y tenencia de la tierra resultaran con el máximo valor en la escala (4,0 para ambos). La vivienda se encuentra en buen estado y tiene todos los servicios públicos; ellos la describen como “el paraíso terrenal”. Todos los integrantes de la familia desempeñan un rol importante en la producción. Se destaca el el papel de la señora de la casa, en lo que se denomina trabajo productivo y reproductivo (Benería, 2006). También es la administradora de los rubros relacionados con el turismo como el hospedaje. Todos los miembros de la familia participan en las decisiones que se toman por consenso.

En cuanto a los indicadores, acceso a la educación y a la salud, el resultado fue favorable a la sostenibilidad. En la zona se encuentran servicios tales como universidades, hospital, CDI (Centro de Diagnóstico Integral) y CRI (Centro de Rehabilitación Integral), estos últimos equipados adecuadamente con tecnología de última generación.

Respecto a los indicadores de participación comunitaria y densidad de relaciones con otros colectivos, desde hace más de siete años se vienen desarrollando intercambios con otros NUDES del país. Por otro lado, mantienen un constante intercambio con el resto de los miembros de la Asociación Mano a Mano y de PROINPA. Hay que destacar la interacción que mantienen con institutos de investigación como la Universidad de Los Andes, Universidad del Zulia y Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), porque contribuyen a generar y difundir un conocimiento que aporta a la soberanía alimentaria.

En lo referente al imaginario sobre la ruralidad y agricultura campesina, se encuentran testimonios como *“yo vivo en el campo y vivo del campo, somos capaces de producir nuestros alimentos y de vivir dignamente”*. Son consumidores de productos agroecológicos producidos en la zona y de temporada, lo hacen por conciencia ambiental y salud. Muchos productos los adquieren a través de la Asociación Mano a Mano.

La proliferación de estos espacios permiten la participación y organización, y es uno de los resultados de esta dimensión sociocultural, esto para Cuéllar y Sevilla (2009) es de suma importancia porque las consideran como acciones que conllevan a la autogestión de los procesos de circulación, y esto ayuda a una transformación endógena desde lo social, lo económico y lo político.

Un pilar de la soberanía alimentaria lo constituye el acceso y control, de manera equitativa y sostenible en el manejo de los recursos naturales (Ottmann, 2005; Ortega-Cerdà y Rivera-Ferre, 2010), en ambos casos se detecta una fortaleza en cuanto al acceso de los recursos; sin embargo el caso de NUDES-La Limonera, aunque ya están en posesión de una tierra que es de propiedad colectiva, hace falta tomar acción en el área socio-productiva para ir hacia la producción de alimentos que permita el auto sustento de todas las personas que hacen vida dentro este núcleo de desarrollo.

## CONCLUSIONES

El análisis de las experiencias y la visión integral del estudio ayudó a establecer relaciones entre las distintas dimensiones de la agroecología, tanto para lo urbano como en lo rural. Este enfoque sistémico permitió comprender mejor el fenómeno de la producción agroalimentaria con prácticas agroecológicas en ambas experiencias.

En el sistema del NUDES-La Limonera, el estudio reveló deficiencias en las prácticas de manejo de los recursos naturales, aspectos acertados en la participación comunitaria y la relación con otros colectivos agroecológicos.

La comparación de los sistemas agro-productivos (rural y urbano) y sus interrelaciones, más que constatar el grado de dependencia de los insumos externos o concentrarse en la especificación y diversificación del sistema, permite comprender lo fundamental que resulta para el sistema las sinergias que se generan a partir de sus interacciones. Esto contribuye a mantener el sistema en producción constante y sin afectar el equilibrio. Es una estrategia para la sostenibilidad y la productividad en el largo plazo. La identidad cultural estrechamente ligada al consumo y la producción, como pudo evidenciarse en la Finca Integral FIRP, es otro factor que contribuye a la sostenibilidad.

La integralidad del modelo de evaluación contempló el estudio de cada dimensión de la producción agroalimentaria, esto permitió un conocimiento más amplio de los componentes del sistema y la naturaleza y características propias: procesos y productos, formas de manejo, la relación entre ellos y de ellos con el contexto. La metodología permitió reconocer los avances hacia la sostenibilidad de tales sistemas, tanto en el ámbito rural como en el urbano.

Además, permitió detectar los procesos que necesitan un cambio en la estrategia de manejo: en el NUDES-La Limonera, el riesgo económico que representa para el sistema tener un solo comprador, que además es quien fija el precio de compra. También permite reconocer la importancia de articular los procesos productivos, con el trabajo colectivo y formas de producción alimentaria más sostenibles y vinculadas con la identidad cultural de sus integrantes. En cuanto a FIRP permitió constatar la eficiencia productiva alcanzada por implementar prácticas de manejo con principios agroecológicos de diversidad, reciclaje de nutrientes, autogestión y participación comunitaria.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de los miembros de la comunidad NUDES-La Limonera y de la finca integral FIRP. Para ellos nuestro agradecimiento.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M. 1999. Agroecología: bases científicas para una agricultura sostenible. Nordan-Comunidad, Montevideo.
- Altieri, M. y C. Nicholls. 2009. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas* 16, 3-13.
- ANV, Asamblea Nacional de Venezuela. 1999. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. República de Venezuela. Gaceta Oficial 5.453 Extraordinario de fecha 24 de marzo de 2000. Caracas.
- Argüello, H. 2015. Agroecology: scientific and technological challenges for agriculture in the 21st century in Latin America. *Agron. Colomb.* 33(3), 391-398.
- Benería, L. 2006. Trabajo productivo/reproductivo, pobreza y políticas de conciliación. *Nómadas* 24, 8-21.
- Berrotarán, J. y J. Zinck. 1997. Indicators of agricultural sustainability at national level. A case study of Venezuela. *ITC-Journal* 1997-3/4.
- Cuéllar, M. y E. Sevilla. 2009. Aportando a la construcción de la Soberanía Alimentaria desde la Agroecología. *Ecol. Pol.: Cuad. Debate Int.* 38, <https://www.ecologiapolitica.info/?p=4848>; consultado; junio de 2018
- Férgusson, A. 2011. Agroecología para docentes de América Latina. Ediciones Universidad Bolivariana de Venezuela, Caracas.
- Fernández, B. 2013. La integración socio-territorial de los sectores populares a la ciudad: un proceso conflictivo. Caso del nuevo urbanismo popular La Limonera. *Rev. Venez. Anal. Coyunt.* 19(2), 129-157
- Fuenmayor, N. e Y. Rodríguez. 2006. Aportes de la economía social al desarrollo sostenible. El caso de la Asociación de Productores Integrales del Páramo en el Estado Mérida, Venezuela. *Rev. Venez. Cienc. Soc.* 10(1), 144-160.
- Gascón-Pérez, L. 2014. Democracia radical, entre la crítica y el nihilismo: un abordaje de la propuesta desde el diálogo entre Ernesto Laclau y Slavoj Žižek. *Rev. Mex. Cienc. Polít. Soc.* 59(221), 121-144. Doi: 10.1016/S0185-1918(14)70818-9
- Gliessman, S. 1998. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE, Costa Rica.
- Hayati, D., Z. Ranjbar y E. Karami. 2010. Measuring agricultural sustainability. pp. 73-100. En: Lichtfouse L. (ed.) Biodiversity, biofuels, agroforestry and conservation agriculture. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Herrera, F., O. Domené-Painenao y J. Cruces. 2017. The history of agroecology in Venezuela: a complex and multifocal process. *Agroecol. Sust. Food* 41(3), 401-415. Doi: 10.1080/21683565.2017.1285842
- León, T. 2014. La perspectiva ambiental de la agroecología: la ciencia de los agroecosistemas. Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Masera, O., M. Astier y S. López-Ridaura. 2000. Sostenibilidad y manejo de los recursos naturales, el marco de evaluación MESMIS. Ediciones MundiPrensa, México.
- NUDES La Limonera. 2005. Documento constitutivo NUDES, La Limonera. Caracas [Documento sin editar].
- NUDES La Limonera. 2009. Normas de la Escuela de Formación Samuel Robinson. Caracas [Documento sin editar].
- Núñez, M. 2010. Venezuela ecosocialista: un debate pendiente. Portatítulo, Caracas.
- Ortega-Cerdà, M. y G. Rivera-Ferre. 2010. Indicadores internacionales de soberanía alimentaria. Nuevas herramientas para una nueva agricultura. *Rev. Iberoam. Econ. Ecol.* 14, 53-77.
- Ottmann, G. 2005. Agroecología y sociología histórica desde Latinoamérica: Elementos para el análisis y potenciación del movimiento agroecológico: el caso de la provincia argentina de Santa Fe. Mundi-Prensa; UCO; PNUMA, Madrid.
- Rojas, J. y N. Pulido, 2009. Estrategias territoriales recientes en Venezuela: ¿Reordenación viable de los sistemas territoriales o ensayos de laboratorio? *EURE* 35(104), 77-100. Doi: 10.4067/S0250-71612009000100004
- Romero, L. 2003. Hacia una nueva racionalidad socio-ambiental en los Andes Paperos de Mérida. ¿De qué depende? *Fermentum* 13(36), 55-72.
- Romero, L. y R. Romero. 2007. Está germinando una nueva propuesta en agricultura. Agroecología en los Andes venezolanos. En: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/21456/2/articulo10.pdf>; consultado: agosto de 2017.
- Saradón, S. y C. Flores. 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.
- Silva-Laya, S., S. Pérez-Martínez y L. Ríos-Orsorio. 2016. Evaluación agroecológica de sistemas hortícolas en dos zonas del oriente antioqueño. *Rev. Colomb. Cienc. Hort.* 10(2), 355-365. Doi: 10.17584/rcch.2016v10i2.5752
- Sevilla, E. 2011. De la sociología rural a la agroecología. Icaria, Barcelona, España.

Toledo, V. y N. Barrera. 2009. La memoria biocultural. Barcelona, Icaria, España.

Van Driesche, R. y M. Hoddle. 2007. El papel de la ecología de poblaciones y de los modelos de población en el

control biológico. pp. 153-178. En: Van Driesche, R., M. Hoddle y T.D. Center (eds.) Forest health technology enterprise team: Control de plagas y malezas por enemigos naturales. USDA, Washington DC.

# Eficacia de biocontroladores y fungicidas para el control de *Pythium* sp. en crisantemo (*Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitam.)

Efficacy of biocontrollers and fungicides for the control of *Pythium* sp. in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitam.)



JULIA BIBIANA MERCHÁN-GAITÁN<sup>1</sup>  
LILIANA MARÍA ARAGÓN-CABALLERO<sup>2</sup>  
JAVIER GIOVANNI ÁLVAREZ-HERRERA<sup>3, 4</sup>

**Crisantemo en flor.**

Foto: J.B. Merchán-Gaitán

## RESUMEN

Dentro de las enfermedades que se presentan en la producción de crisantemo a nivel mundial, una de las más importantes es la pudrición de raíz causada por *Pythium* sp. por lo anterior, se realizó una investigación cuyo objetivo fue evaluar la dosis óptima de biocontroladores y fungicidas químicos sobre *Pythium* sp. La aplicación de los tratamientos se llevó a cabo tanto en laboratorio como en el cultivo bajo invernadero. Se empleó un diseño completamente al azar con 10 tratamientos (testigo, metalaxil y clorotalonil, azoxystrobin, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, aplicados en dos dosis 100% de la aplicación comercial y 150%). Los resultados obtenidos en la fase de laboratorio mostraron que el testigo inoculado con oosporas tuvo el mayor crecimiento micelial de *Pythium* sp., 36,43 cm en diámetro, así mismo los tratamientos con fungicidas químicos presentaron un control del 100% ya que no hubo crecimiento de *Pythium* sp. En el invernadero, las plantas de crisantemo mostraron los mejores resultados cuando se aplicó *T. harzianum* en dosis de 150%, ya que se presentó tan solo un 9,33% de incidencia, mientras que referente a la severidad, el tratamiento más eficaz fue con *T. harzianum* en dosis comercial con 4,9%. El mejor comportamiento de las características agronómicas de las plantas de crisantemo se presentó con la aplicación de *T. harzianum* con dosis de 150%, ya que las plantas mostraron mayor altura, masa radicular fresca y seca, masa aérea fresca y seca, número de botones, diámetro floral y masa floral.

<sup>1</sup> Universidad de Tarapacá, Facultad de Educación, Iquique (Chile). ORCID Merchán-Gaitán, J.B.: 0000-0002-2753-0306

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Facultad de Agronomía, Departamento de Fitopatología, Lima (Perú). ORCID Aragón-Caballero, L.M.: 0000-0003-0312-5020

<sup>3</sup> Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Tunja (Colombia). ORCID Álvarez-Herrera, J.G.: 0000-0002-1737-6325

<sup>4</sup> Autor de correspondencia. [javier.alvarez@uptc.edu.co](mailto:javier.alvarez@uptc.edu.co)



**Palabras clave adicionales:** *Trichoderma harzianum*; *Bacillus subtilis*; pudrición radicular; fungicidas; calidad de flor; contrastes ortogonales.

## ABSTRACT

Damping off is caused by *Pythium* sp. in seedlings, which is the main cause of losses in chrysanthemum crops. This research aimed to evaluate the optimal dose of biocontrollers and chemical fungicides for *Pythium* sp. The application of the treatments was carried out both in a laboratory and on a greenhouse crop. A completely randomized design was used with 10 treatments (control, metalaxyl and chlorothalonil, azoxystrobin, *Trichoderma harzianum*, and *Bacillus subtilis*), applied at two doses: 100% and 150% of the commercial application. The results obtained in the laboratory phase showed that the inoculated control had the highest mycelial growth of *Pythium* sp., 36.43 cm in diameter. The treatments with chemical fungicides presented 100% control since there was no growth of *Pythium* sp. In the greenhouse, the chrysanthemum cultivation had the best results when *T. harzianum* was applied at a dose of 150% since only 9.33% incidence was observed. In terms of severity, the most effective treatment was the commercial dose of *T. harzianum*, with 4.9%. The best performance of the agronomic characteristics in the chrysanthemum plants was seen with the application of *T. harzianum* at a dose of 150% because the plants presented higher plant height, fresh radicular mass, dry root mass, fresh aerial mass, mass dry air, number of buttons, floral diameter and floral mass.

**Additional key words:** *Trichoderma harzianum*; *Bacillus subtilis*; root rot; fungicides; flower quality; orthogonal contrasts.

Fecha de recepción: 24-04-2018 Aprobado para publicación: 30-11-2018

## INTRODUCCIÓN

Uno de los cultivos que actualmente genera mayores divisas dentro de las exportaciones no tradicionales colombianas es la floricultura. En un período menor de 10 años, Colombia se ha convertido en el segundo exportador mundial (después de Holanda) de flores cortadas, con una participación del 10% sobre el total de las exportaciones mundiales. Del mismo modo, en Perú es un cultivo en auge y existen aproximadamente 2.000 productores dedicados a la siembra de flores en 971 ha. El uso de crisantemos como plantas decorativas en jardines e interiores ha tomado gran importancia en estos países, sin embargo, uno de los principales problemas en la producción de estas flores es el daño fitosanitario que ocasionan las enfermedades causadas por *Pythium* sp. las cuales afectan todas las etapas del ciclo de producción, ya que el patógeno es capaz de sobrevivir en agua, residuos de plantas y suelo.

Sin embargo, algunas especies de *Pythium* como *P. irregulare*, *P. intermedium* y *P. graminicola* tienen la capacidad de atacar plantas de crisantemo y pueden sobrevivir saprofiticamente sobre residuos de tejido

muerto vegetal y otras especies pueden ser patógenicas, causando pudriciones y finalmente la muerte de las plantas en diversos cultivos (León, 2017). De esta manera, es posible la introducción o el incremento de algunos microorganismos antagonistas, los cuales tienen la capacidad de inactivar los propágulos (oosporas y zoosporas) del patógeno, reducir su número o afectar el desarrollo de la enfermedad (Rinaudo *et al.*, 2010). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad de biocontroladores y fungicidas en el control de *Pythium* sp. en crisantemo (*Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitam., *syn. Chrysanthemum morifolium* Ramat.).

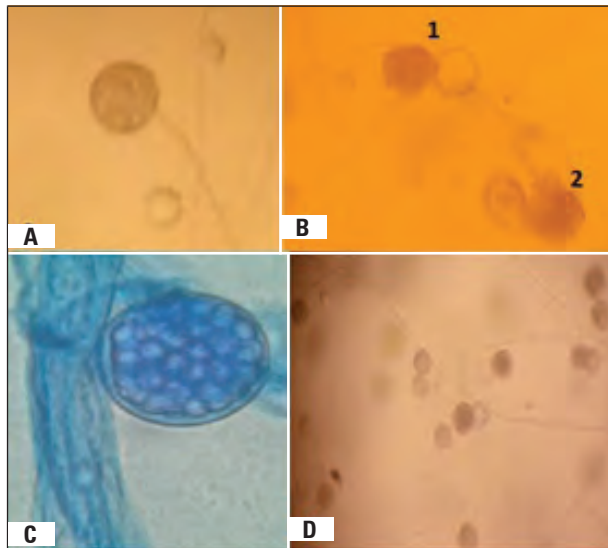
## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio *in vitro* y los análisis se realizaron en el laboratorio de fitopatología de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú).

**Identificación del *Pythium* sp.:** se colocaron 10 discos de 5 mm de radio que contenían micelio del patógeno

en 10 cajas Petri (un disco por caja) con una solución patrón de suelo diluido en agua destilada estéril en 10 g de suelo y se disolvió bajo condiciones de asepsia en 100 mL de agua destilada estéril, y a partir de la solución anterior se prepararon soluciones más diluidas de concentraciones hasta  $10^{-6}$  (solución suelo esterilizado), para inducir la formación de zoosporangios. Después de que se formaron los esporangios, se indujo la formación de zoosporas mediante tratamiento en frío, para ello las placas fueron ubicadas dentro de una nevera a una temperatura de 4°C durante una hora siguiendo la metodología descrita por Dhingra y Sinclair (1995). La identificación probable de la especie corresponde a *Pythium aphanidermatum* la cual se efectuó mediante la observación al microscopio óptico (40X) con tinción de azul de lactofenol; se determinó la morfología del micelio, tipo de esporangio, oospora, anteridio y zoospora, (Fig. 1) mediante el uso de la clave de Van der Plaats-Niterink (1981).

Se realizó el método de medio envenenado sugerido por Dhingra y Sinclair (1995) con los productos biológicos y químicos, se pesó cada producto de acuerdo a las dosis establecidas en los tratamientos (Tab. 1) para lo cual se añadió al medio harina de maíz Agar (CMA; CRITERIO™), una vez homogenizados, se realizó el servido del medio correspondiente, colocándose con ayuda de un sacabocado un disco de 5 mm



**Figura 1. Estructuras de *Pythium* posiblemente de la especie *aphanidermatum*. A. Oogonio. B1. Zoosporangio globoso y vacío con la vesícula que contiene zoosporas, B2. Liberación de zoosporas de la vesícula. C. Zoosporangio conteniendo la vesícula con diferentes zoosporas a 100X, D. Micelio y oosporas.**

de diámetro procedente de cada uno de los cultivos del fitopatógeno en el centro de la superficie de la caja Petri, la cual contenía 10 mL del medio. Las cajas sembradas tenían un tamaño de 10 cm de diámetro y fueron incubadas a 25°C por 4 d. El crecimiento micelial del *Pythium* sp. se midió a intervalos de 24 h, ajustándose a 90 cajas Petri utilizadas en las pruebas del medio envenenado.

El cultivo fue sembrado bajo condiciones controladas en el invernadero de estructura metálica y vidrio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, a una temperatura promedio de 22°C y una humedad de 75%. El material vegetal usado fue esquejes de crisantemo (*Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitam., syn. *Chrysanthemum morifolium* Ramat.) de 20 d de enraizados, variedad Anastasia.

Para inocular las plántulas de crisantemo en invernadero, se limpiaron y se embolsaron 10 g de trigo, luego se esterilizó en autoclaves a una temperatura de 121°C durante 30 min. Concluida la esterilización se dejó enfriar a temperatura ambiente en una cámara de flujo laminar, luego se extrajo desde una caja Petri varios trozos de 5 cm por 5 cm de CMA con micelio del seudohongo y se inoculó en cada bolsa, dejándose entre 10 a 15 d para que tuviera una colonización completa del fitopatógeno por el método sugerido por Drenth y Sendall (2001). Luego se inoculó 10 g de trigo, colonizado con *Pythium* sp., en el suelo de las macetas en hoyos a una profundidad de 10 cm para estar más cerca de la raíz y 5 cm lejos del tallo a los 40 días después de sembrado los esquejes de plantas de crisantemo.

El diseño experimental fue completamente al azar, con 10 tratamientos (Tab. 1) y cinco repeticiones. En la fase *in vitro* se omitió el tratamiento 1 (testigo). Cada repetición se hizo en dos placas, para un total de 90 placas. En la fase de cultivo en invernadero, se tuvieron 50 unidades experimentales (UE) y cada UE contó con tres plantas, para un total de 150.

Las variables de respuesta evaluadas en laboratorio fueron, incidencia de la enfermedad, la cual se evaluó todos los días, se observó si la planta mostraba síntomas de pudrición y ahogamiento por lo cual fue considerada como planta enferma. La evaluación se realizó de acuerdo con el número de plantas que mostraron los síntomas de la enfermedad en relación al número de plantas totales, expresadas en porcentaje; para la severidad se calculó el área afectada de cada raíz de acuerdo a la escala propuesta por Henfling

**Tabla 1. Tratamientos y dosis usados en el control de *Pythium* sp. en fase de laboratorio y en cultivo de crisantemo bajo invernadero.**

Tratamiento	Ingrediente activo (Nombre comercial)	Dosis (2,5 kg de suelo)/planta	Dosis comercial (%)
T1*	Testigo	Sin inóculo	0
T2	Testigo	Inoculado con <i>Pythium</i> (IP)	(10 g de inóculo /maceta)
T3	Metalaxil y Clorotalonil (Folio Gold®440 SC)	0,015 mL en 0,35 ML de agua + (IP)	100
T4	Metalaxil y Clorotalonil (Folio Gold®440 SC)	0,022 mL en 0,525 mL de agua + (IP)	150
T5	Azoxystrobin (Amistar® 50 WG)	0,023 g en 58,66 mL de agua + (IP)	100
T6	Azoxystrobin (Amistar® 50 WG)	0,0352 g en 117 mL de agua + (IP)	150
T7	<i>Trichoderma harzianum</i> (Tricho D® WP)	0,007 g en 134 mL de agua + (IP)	100 (1x10 <sup>8</sup> esporas/g)
T8	<i>Trichoderma harzianum</i> (Tricho D® WP)	0,01 g en 201 mL de agua + (IP)	150
T9	<i>Bacillus subtilis</i> Cepa AP-01 (Bio-Splent® 70 WP)	0,0088 g en 1,17 mL de agua + (IP)	100 (1x10 <sup>9</sup> UFC/g)
T10	<i>Bacillus subtilis</i> Cepa AP-01 (Bio-Splent® 70 WP)	0,0132 g en 1,755 mL de agua + (IP)	150

\*Este tratamiento no se realizó en la fase de laboratorio. UFC: unidades formadoras de colonia

(1982), modificada y adaptada para crisantemo (Tab. 2). El grado 0 equivale a una coloración clara de raíz, indicando que no hay presencia de pudrición, es decir una planta totalmente sana y el grado 6 a una planta con la raíz de coloración oscura, indicando presencia de pudrición en un 100%.

**Tabla 2. Escala para la evaluación de severidad en el sistema radicular en plantas de crisantemo.**

Grado	Síntomas en el sistema radicular (%)	Coloración
0	0	
1	1 – 20	
2	21 – 40	
3	41 – 60	
4	61 – 80	
5	81 – 99	
6	100	

La altura de las plantas de crisantemo se midió mediante el uso de una cinta métrica desde el cuello hasta el ápice terminal, después de la aplicación de los tratamientos una vez a la semana, durante 4 meses. La masa fresca y seca radicular y de la parte aérea se determinó mediante una balanza digital Henkel con precisión 0,001 g. También se contó el número de botones florales para estimar la producción de cada tallo

por UE. Se midió el diámetro de la flor con un calibrador vernier digital Mitutoyo Digimattic CD 6" CSX y se determinó la masa floral por planta al momento de la cosecha.

A los datos se les realizó un análisis de varianza (Anova), prueba de Tukey y luego una prueba de contrastes ortogonales (Tab. 3) con el fin de determinar las diferencias entre tratamientos a un nivel de confiabilidad del 95% ( $P \leq 0,05$ ), mediante el paquete estadístico SAS v.8e. (SAS Institute Inc., Cary, NC).

**Tabla 3. Evaluación de los contrastes ortogonales realizados en la fase de laboratorio y de invernadero.**

Agrupación	Comparaciones
1*	Con aplicación de control vs. Sin aplicación
2	Testigo sin <i>Pythium</i> sp. vs. Testigo con <i>Pythium</i> sp.
3*	Tratamientos químicos vs. Tratamientos biológicos
4	Metalaxil + clorotalonil vs. Azoxystrobin
5	Azoxystrobin dosis 100% vs. Azoxystrobin dosis 150%
6	Metalaxil + clorotalonil dosis 100% vs. Metalaxil + clorotalonil dosis 150%
7*	<i>Trichoderma harzianum</i> vs. <i>Bacillus subtilis</i>
8	<i>T. harzianum</i> dosis 100% vs. <i>T. harzianum</i> dosis 150%
9	<i>B. subtilis</i> dosis 100% vs. <i>B. subtilis</i> dosis 150%

\* Únicos contrastes realizados en la fase de laboratorio

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

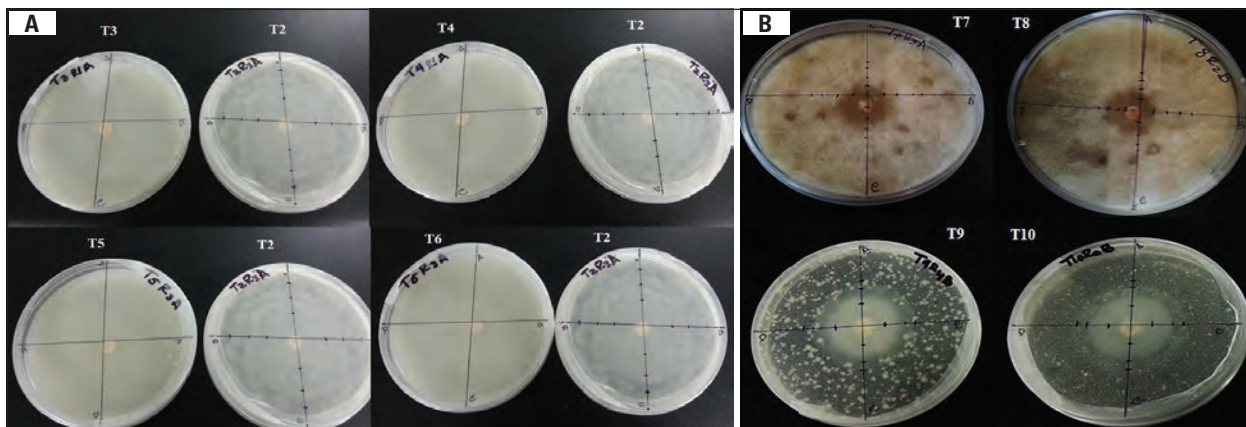
### Fase de laboratorio

Los datos obtenidos de la evaluación diaria del crecimiento micelial de *Pythium* en las cajas Petri con CMA (Fig. 2) más los productos biológicos y químicos sometidos al Anova en los días 1 y 2, con un coeficiente de variación de 5,1% y 12,0%, respectivamente, mostraron diferencias significativas en el crecimiento micelial de *Pythium* sp. Hubo mayor crecimiento en el testigo inoculado con 36,43 cm en promedio. El crecimiento rápido del micelio algodonoso aéreo de *Pythium* sp. en CMA probablemente fue debido a la alta capacidad de desarrollo de estructuras patogénicas de este pseudohongo que se han encontrado tanto en el suelo como en plantas de crisantemo (Mostowfizadeh-Ghalamfarsa y Banihashemi, 2005), esta capacidad está determinada por la disponibilidad de enzimas celulíticas y pectolíticas, las cuales se han encontrado en muchas especies (Van der Plaats-Niterink, 1981).

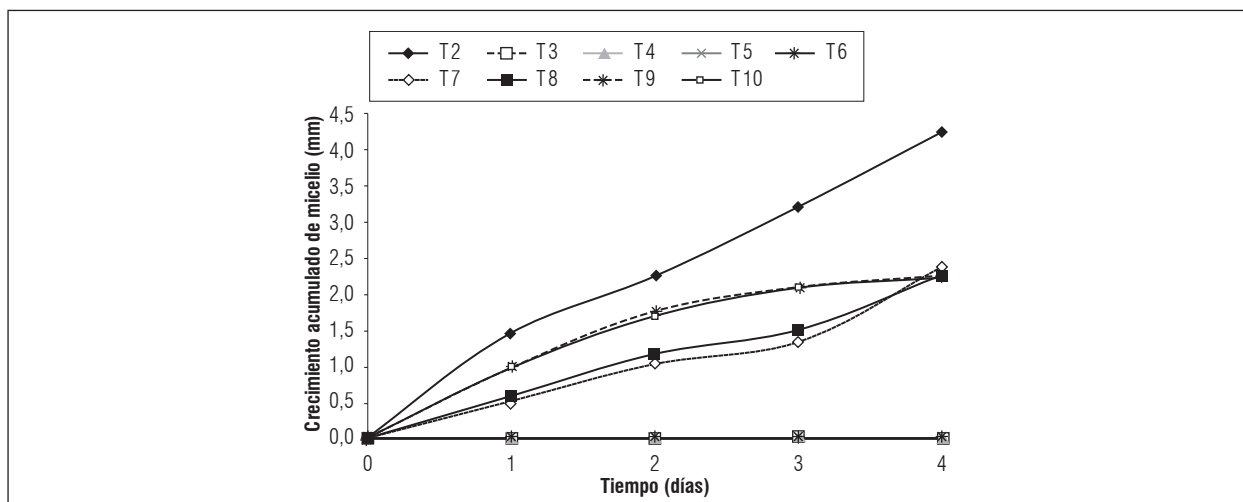
En el 3<sup>er</sup> y 4<sup>to</sup> día los análisis mostraron diferencias significativas y un coeficiente de variación de 12% y 14%, respectivamente, en el crecimiento micelial de *Pythium* sp. en el medio de cultivo. Hubo mayor crecimiento en el tratamiento con *T. harzianum* para las dosis 150%, seguido del testigo inoculado. Los tratamientos con fungicidas químicos en dosis 100% y 150%, presentaron una inhibición total del patógeno ya que no hubo crecimiento micelial de *Pythium* sp.

en la prueba *in vitro* (Fig. 3). Moorman *et al.* (2004) mencionan que la mezcla de metalaxil y clorotalonil mostró un excelente resultado debido al buen control del fungicida de contacto (clorotalonil) y a un probable efecto sinérgico derivado de su combinación con metalaxil (sistémico), siendo uno de los mejores en el control de Oomycetes como *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary y *Pythium* sp., ya que posee una acción antiesporulante, inhibiendo completamente el crecimiento micelial en plantas y, azoxystrobin es una estrobilurina de acción sistémica. Al respecto, Wang *et al.* (2016) reportaron que el efecto en medio de cultivo es debido al colapso del micelio promovido por la inhibición o interrupción de la esporulación en algunas etapas vitales del desarrollo de *Pythium* sp. También, se ha reportado actividad inhibitoria de azoxystrobin, ya que evita la germinación de urediosporas de *Puccinia hemerocallidis* Thüm., e inhibe el crecimiento micelial y la esporulación de *Botryosphaeria parva* Pennycook & Samuels y *Phomopsis* sp. (Everett *et al.*, 2005).

Sin embargo, en el 2<sup>do</sup> día se observó una disminución leve en el crecimiento (diámetro del micelio) en los tratamientos en donde se aplicó *B. subtilis*, ya que presentó una competencia directa por espacio y nutrientes (Fig. 3), la cual ha sido reportada por Ghasemi *et al.* (2010); mientras que, los tratamientos con aplicación de *T. harzianum* mostraron una disminución en la velocidad de crecimiento, probablemente debido a mecanismos de desplazamiento del antagonico hacia el fitopatogeno por antibiosis, parasitismo, competencia de espacio y nutrientes (Sid Ahmed *et al.*, 2003).



**Figura 2.** Inhibición del crecimiento micelial de *Pythium* sp. en medio CMA. A) Diferentes tratamientos químicos vs. testigo con *Pythium* sp. (T2): metalaxil + clorotalonil en dosis de 100% (T3), metalaxil + clorotalonil en dosis de 150% (T4), azoxystrobin en dosis de 100% (T5) y azoxystrobin en dosis de 150% (T6). B) Tratamientos biológicos: *T. harzianum* en dosis de 100% (T7), *T. harzianum* en dosis de 150% (T8), *B. subtilis* en dosis de 100% (T9) y *B. subtilis* dosis 150% (T10).



**Figura 3.** Crecimiento micelial de *Pythium* sp. en medio de CMA durante 4 días. T2: con *Pythium*, T3: metalaxil + clorotalonil en dosis de 100%, T4: metalaxil + clorotalonil en dosis de 150%, T5: azoxystrobin en dosis de 100%, T6: azoxystrobin en dosis de 150%, T7: *T. harzianum* en dosis de 100%, T8: *T. harzianum* en dosis de 150%, T9: *B. subtilis* en dosis de 100%, T10: *B. subtilis* en dosis de 150%.

Entre el día 2 y 3 hubo un aumento de crecimiento de *Pythium* en el testigo inoculado, mientras que disminuyó el crecimiento micelial en los tratamientos con *T. harzianum* y *B. subtilis* (Fig. 2).

El testigo inoculado con *Pythium* sp. mantuvo las más altas tasas de crecimiento del patógeno el día 4, mientras que los tratamientos con aplicaciones de *T. harzianum* en dosis de 100% y 150%, tuvieron un crecimiento significativo (Fig. 3). Sin embargo, 2 d después de haber terminado la medición del crecimiento micelial del patógeno se observó un crecimiento acelerado de *T. harzianum* en los tratamientos donde fue aplicado, hasta observarse el cubrimiento total de la superficie del medio contenido en las cajas de Petri, atribuido a la función de antibiosis que inhibe la actividad ribosomal de los fitopatógenos disminuyendo su reproducción por medio de la micotoxina trichodermin (Moo-Koh *et al.*, 2014).

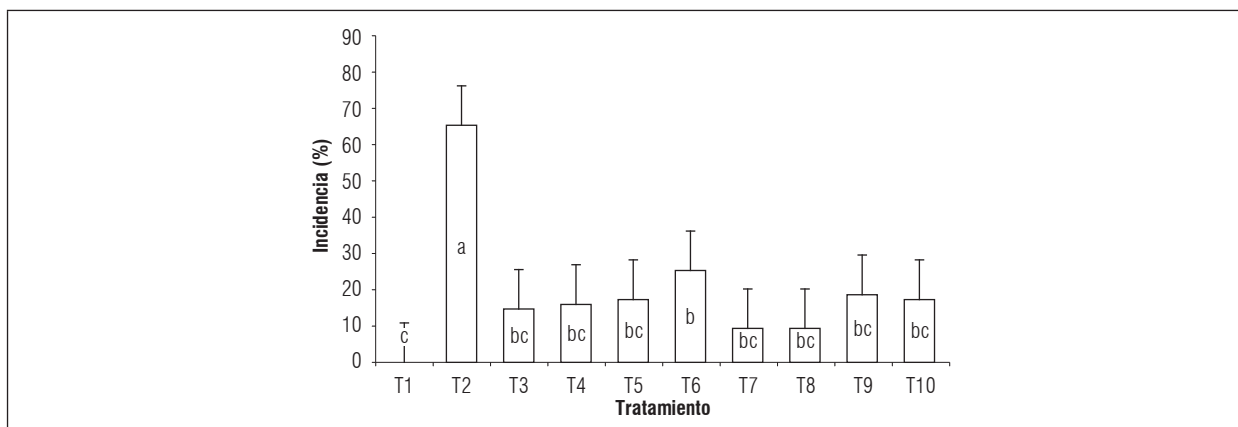
En la evaluación de los contrastes ortogonales para los días 1, 2 y 4 se observaron diferencias altamente significativas para las tres comparaciones realizadas (Tab. 3), el crecimiento micelial en los tratamientos que recibieron aplicación y los que no tuvieron aplicación mostró un promedio de 0,3234 y 1,095 cm, respectivamente, lo que significa que la aplicación de cualquier producto disminuyó el crecimiento del *Pythium* sp.; del mismo modo, al comparar los productos de síntesis química contra los biológicos, el mejor tratamiento fue el químico, ya que inhibió totalmente

el crecimiento del patógeno. Al comparar los tratamientos biológicos entre sí, el mejor efecto en el crecimiento de *Pythium* sp. fue con *T. harzianum* en dosis de 150%, debido a que mostró antibiosis, parasitismo y competencia por espacio en el medio de cultivo (Sid Ahmed *et al.*, 2003).

### Fase de invernadero

**Incidencia:** se encontró mayor incidencia de la enfermedad en las plantas inoculadas (66,6%), seguido del azoxystrobin en dosis de 150% (25,3%) mostrando un control bajo (Fig. 4); Sin embargo, la dosis de 100% tuvo un mayor control de los síntomas de la enfermedad (17,3%), lo anterior puede ocurrir debido a que las estrobilurinas tienden a tener un sitio de acción más específico y por lo tanto es más fácil que el patógeno se haga resistente en dosis muy altas, aun así Rebollar-Alviter *et al.* (2005) mencionan que los fungicidas a base de estrobilurinas están registrados para el control de varias enfermedades entre ellas las causadas por oomycetes en diferentes cultivos, sin embargo, *Pythium* sp. no está reportado en crisantemo.

Las dosis de *T. harzianum* presentaron efectividad alta con solo 9,33% de incidencia de la enfermedad (Fig. 4), evidenciando antagonismo a *Pythium* sp. en la raíz, lo que genera inducción de resistencia sistémica a la planta, mayor absorción y solubilidad



**Figura 4.** Incidencia del ahogamiento de plántulas de crisantemo causado por *Pythium* sp. T1: sin *Pythium*, T2: con *Pythium*, T3: metalaxil + clorotalonil en dosis de 100%, T4: metalaxil + clorotalonil en dosis de 150%, T5: azoxystrobin en dosis de 100%, T6: azoxystrobin en dosis de 150%, T7: *T. harzianum* en dosis de 100%, T8: *T. harzianum* en dosis de 150%, T9: *B. subtilis* en dosis de 100%, T10: *B. subtilis* en dosis de 150%. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Las barras sobre las columnas indican el error estándar ( $n=5$ ).

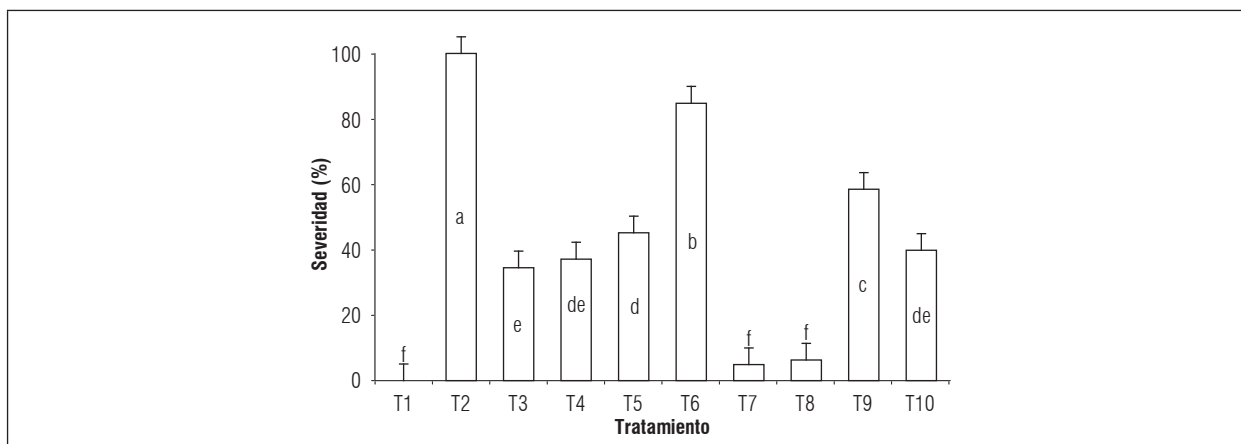
de nutrientes, desarrollo radicular y enraizamiento (Harman, 2006), lo que permitió obtener flores de corte de buena calidad, en cuanto al diámetro de flor abierta con un promedio de 82,6 mm y con una masa floral de 3,5 g. La mezcla metalaxil + clorotalonil presentó menor eficacia probablemente a la alta solubilidad y movilidad del producto en el suelo, lo cual favorece la lixiviación rápida del ingrediente y por ende presente bajas concentraciones durante el período crítico de ocurrencia de la enfermedad, lo que limita la protección requerida (50 d después de la inoculación del fitopatógeno) (Rebollar-Alviter *et al.*, 2005).

El Anova mostró diferencias significativas para la incidencia, lo que indica que los tratamientos usados controlaron en diferente grado la enfermedad. Sin embargo, los tratamientos con *T. harzianum* tuvieron mejor respuesta en comparación con azoxystrobin, lo cual se atribuye a la habilidad que tiene *T. harzianum* para colonizar las raíces y crecer con mayor facilidad en el suelo, mientras que el fungicida se lixivia con el riego (Durman *et al.*, 2003). Además, se ha reportado que *T. harzianum* es capaz de producir sideróforos que intervienen en el proceso de oxidación, solubilización, quelatación y reducción de Fe,  $Fe^{3+}$  y  $Cu^{2+}$ , elementos importantes en el desarrollo del *Pythium* sp. (Cano, 2011). Se observaron diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos con la evaluación de contrastes ortogonales, mostrando, como era de esperarse, menor incidencia de la enfermedad en los tratamientos con aplicación;

esto indica que es necesario el uso de algún tipo de control, ya que *Pythium* sp. coloniza las raíces de las plantas causando la disminución de la calidad en los tallos y flores, y finalmente pérdida total de las plantas de crisantemo (Xue *et al.*, 2015).

**Severidad:** Se observó que las dosis de 100% y 150% de *T. harzianum* tuvieron un control estadísticamente significativo en la reducción de la severidad de la enfermedad, expresado en menor número de plantas enfermas (Fig. 5). Las plantas del testigo inoculadas con *Pythium* sp. tuvieron una severidad del 100% (Fig. 5), lo cual causó la muerte de todas las plantas. No obstante, el desarrollo de las distintas especies de *Pythium* sp. puede variar de unas zonas a otras, debido a la capacidad de adaptación del microorganismo a diversas condiciones climáticas (Pérez *et al.*, 2011). A diferencia de *T. harzianum*, azoxystrobin en dosis de 150% obtuvo un control reducido de la enfermedad, con una severidad final 84,8%.

El Anova de la severidad presentó diferencias significativas, esto indica que los tratamientos aplicados tuvieron efecto en el control de la enfermedad. Al observar las raíces de las plantas con el inóculo de *P. aphanidermatum*, éstas mostraron una coloración café oscura a negro, con lesiones de pudrición húmeda y un área radicular reducida, mientras que las raíces inoculadas con *T. harzianum* en dosis 150% mostraron mayor desarrollo radicular con coloración clara y sin pudrición, atribuida a la estimulación que produce *Trichoderma* en la aceleración del desarrollo



**Figura 5.** Severidad del ahogamiento de plántulas de crisantemo causado por *Pythium* sp. T1: sin *Pythium*, T2: con *Pythium*, T3: metalaxil + clorotalonil en dosis de 100%, T4: metalaxil + clorotalonil en dosis de 150%, T5: azoxystrobin en dosis de 100%, T6: azoxystrobin en dosis de 150%, T7: *T. harzianum* en dosis de 100%, T8: *T. harzianum* en dosis de 150%, T9: *B. subtilis* en dosis de 100%, T10: *B. subtilis* en dosis de 150%. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Las barras sobre las columnas indican el error estándar ( $n=5$ ).

del sistema radicular que posibilita la tolerancia de la planta a diferentes fitopatógenos (Harman, 2006). La evaluación de los contrastes mostró diferencias estadísticas altamente significativas para la severidad de la enfermedad en la mayoría de los tratamientos.

**Características agronómicas:** respecto a la altura de las plantas, el Anova mostró diferencias significativas entre tratamientos, donde *T. harzianum* en dosis de 150% mostró el mejor desarrollo con 69 cm de longitud de vara promedio (Fig. 6A), probablemente debido a la capacidad de *Trichoderma* de producir sustancias estimuladoras al crecimiento vegetal (Harman, 2006).

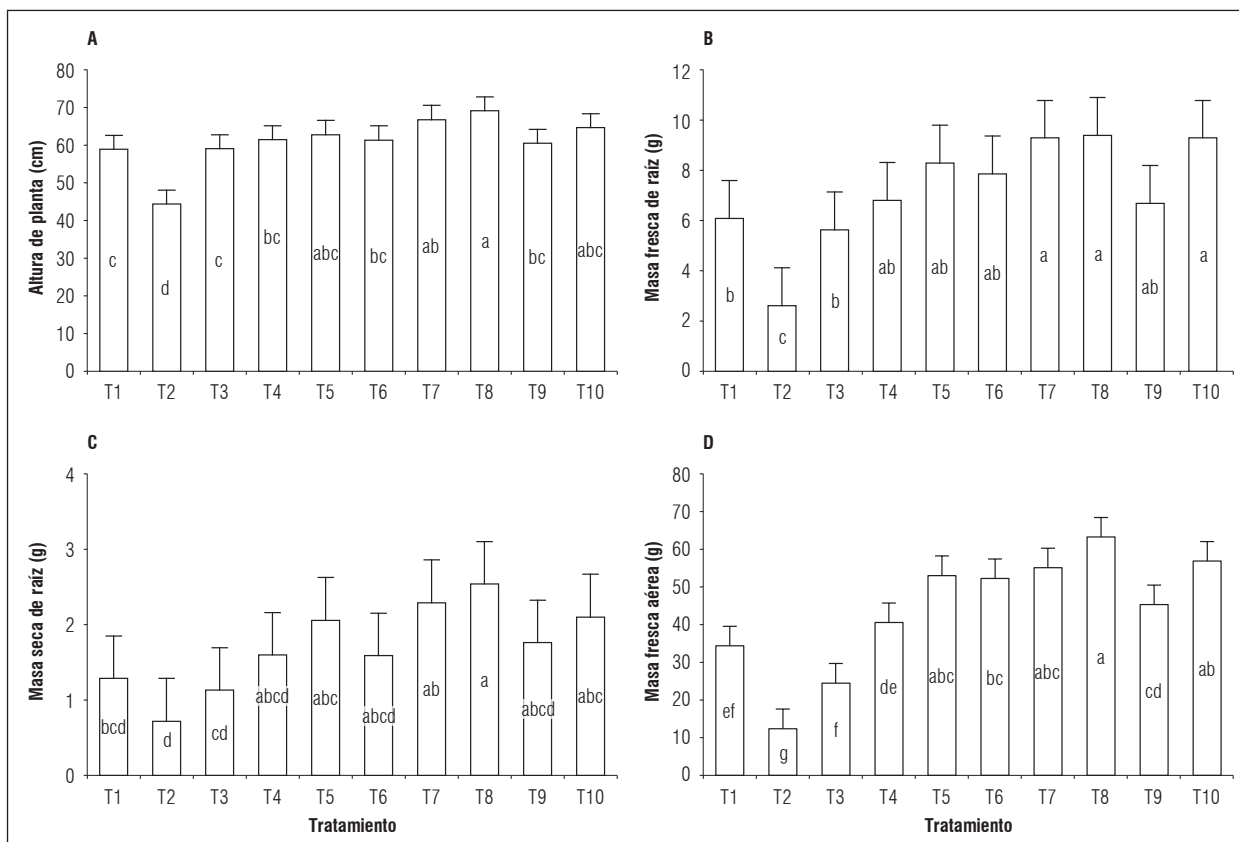
La masa fresca de raíces presentó diferencias significativas entre tratamientos, obteniendo 9,39 g para *T. harzianum* en dosis 150% (Fig. 6B). Este beneficio de *Trichoderma* sobre la masa radicular se debe a su desarrollo en modo de cobertura, produciendo sustancias estimuladoras del crecimiento, las cuales aceleran el crecimiento de las partes jóvenes de las raíces y activan la división celular (Bae y Knudsen, 2005).

El Anova para la masa seca de raíces mostró diferencias significativas. El tratamiento *T. harzianum* dosis 150% produjo la mayor masa (2,54 g, Fig. 6C), lo que resalta el efecto de este biocontrolador sobre el desarrollo de las raíces, al propiciar mayor acumulación de biomasa seca como lo reporta Ghorbanpoura *et al.* (2018).

En cuanto a la masa fresca aérea no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas. El tratamiento *T. harzianum* dosis 150% presentó los mayores valores (63,3 g, Fig. 6D), lo cual concuerda con los resultados obtenidos en masa radicular fresca y seca, que permite inferir un mayor desarrollo de raíces se obtendrá mejor crecimiento de la parte aérea de las plantas, principalmente en el transporte de nutrientes, además, *T. harzianum* produce niveles endógenos de giberelinas y citoquininas, las cuales promueven el crecimiento longitudinal de los tallos y modifican el crecimiento de las plantas (Harman, 2006).

Sobre la masa seca aérea, el tratamiento *T. harzianum* dosis 150% mostró diferencias significativas respecto a los demás tratamientos (28,8 g, Fig. 7A), lo cual demuestra la importancia de *Trichoderma* como biocontrolador de fitopatógenos y promotor de crecimiento al producir fitohormonas que inducen la producción de brotes en la parte aérea de las plantas de crisantemo (Cubillos-Hinojosa *et al.*, 2009), y por consiguiente, mayor masa fresca aérea.

Los contrastes ortogonales revelaron diferencias altamente significativas entre las comparaciones para las variables altura de las plantas, masa fresca y seca de raíces y parte aérea, lo que permite apreciar la importancia de la aplicación de algún tratamiento para controlar la enfermedad (Tab. 4).



**Figura 6.** A) altura, B) masa fresca de raíz, C) masa seca de raíz, y D) masa fresca aérea de crisantemo con tratamientos a *Pythium* sp. T1: sin *Pythium*, T2: con *Pythium*, T3: metalaxil + clorotalonil dosis 100%, T4: metalaxil + clorotalonil dosis 150%, T5: azoxystrobin dosis 100%, T6: azoxystrobin dosis 150%, T7: *T. harzianum* dosis 100%, T8: *T. harzianum* dosis 150%, T9: *B. subtilis* dosis 100%, T10: *B. subtilis* dosis 150%. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Las barras sobre las columnas indican error estándar ( $n=5$ ).

**Tabla 4.** Valores de probabilidad del Anova para los contrastes ortogonales en tratamientos a *Pythium* sp. en crisantemo.

Comparaciones	AP	MFR	MFS	MFA	MSA
Con aplicación de control vs. Sin aplicación	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Testigo sin <i>Pythium</i> sp. vs. Testigo con <i>Pythium</i> sp.	<0,0001	0,0004	0,1010	<0,0001	0,0777
Tratamientos químicos vs. Tratamientos biológicos	0,0007	0,0016	0,0014	<0,0001	<0,0001
Metalaxil + clorotalonil vs. Azoxystrobin	0,2454	0,0055	0,0607	<0,0001	0,3900
Azoxystrobin dosis 100% vs. Azoxystrobin dosis 150%	0,5147	0,6216	0,1703	0,7969	0,4370
Metalaxil + clorotalonil dosis 100% vs. Metalaxil + clorotalonil dosis 150%	0,3019	0,1952	0,1702	<0,0001	0,0318
<i>Trichoderma harzianum</i> vs. <i>Bacillus subtilis</i>	0,0015	0,0393	0,0502	0,0007	<0,0001
<i>T. harzianum</i> dosis 100% vs. <i>T. harzianum</i> dosis 150%	0,3047	0,9024	0,4696	0,0124	0,0027
<i>B. subtilis</i> dosis 100% vs. <i>B. subtilis</i> dosis 150%	0,0722	0,0062	0,3207	0,0006	0,0033

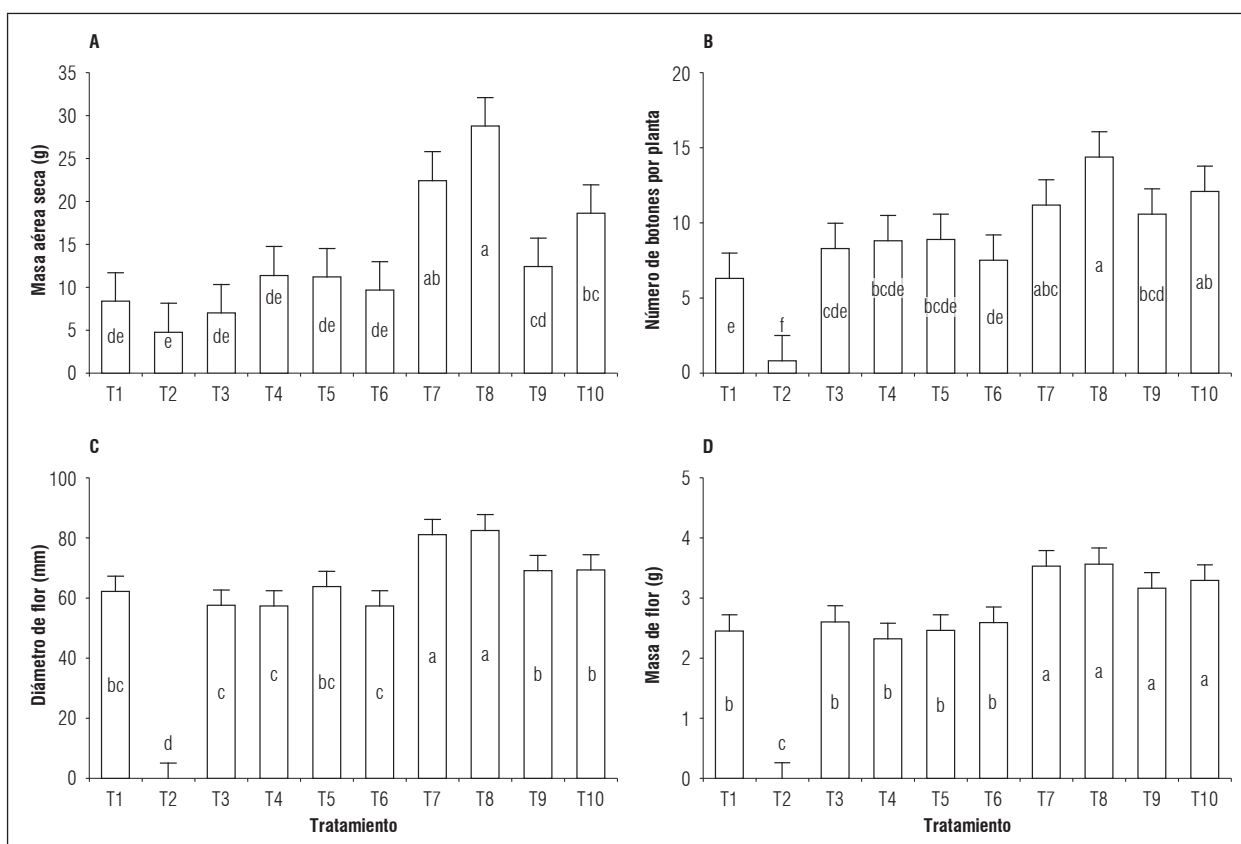
AP: altura de la planta; MFR: masa fresca de raíces; MFS: masa seca de raíces; MFA: masa fresca aérea; y MSA: masa seca aérea. Valores de probabilidad menores a 0,05 indican diferencias significativas, valores de probabilidad menores 0,01 indican diferencias altamente significativas.



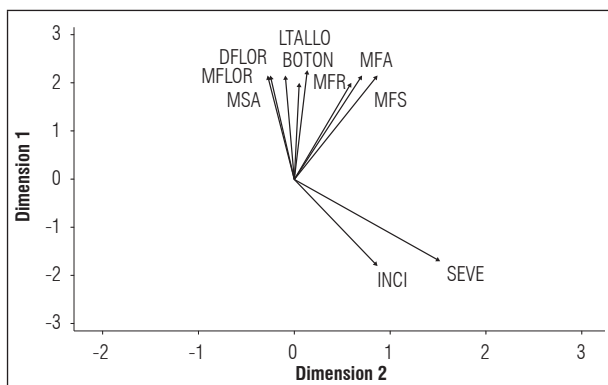
El tratamiento *T. harzianum* dosis 150% presentó el mayor rendimiento para el número de botones florales, diámetro y masa floral con promedio de 14,4 botones florales, 82,6 mm de diámetro y 3,5 g de masa floral (Fig. 7B, 7C y 7D). La aplicación de *T. harzianum* mostró los mejores resultados sobre dichas variables debido a que este hongo, estimula la producción de citoquininas, las cuales promueven la división y diferenciación celular, mientras que las giberelinas promueven el crecimiento y desarrollo floral (Cubillos-Hinojosa *et al.*, 2009). La evaluación estadística de contrastes ortogonales reveló diferencias estadísticas altamente significativas para las variables número de botones florales, diámetro y masa floral para las combinaciones: con aplicación y sin aplicación de algún control, testigo sin y con *Pythium* sp., control químico y biológico y para los tratamientos *T. harzianum* y *B. subtilis*. Se destacan

los resultados con *T. harzianum* en la promoción del crecimiento y desarrollo del cultivo de crisantemo por la producción de metabolitos que estimulan los procesos de desarrollo vegetal (Harman, 2006), entre ellos, la formación del botón floral y la apertura del mismo, razón por la cual se encontraron tallos con mayor diámetro y masa de flor.

La correlación de variables mostró proporcionalidad directa entre incidencia y severidad indicando que a mayor incidencia más severidad de la enfermedad (Fig. 8). Además, una relación inversa entre incidencia y severidad en comparación con las variables agronómicas: altura de planta (longitud de tallo), masa fresca y seca de raíz y parte aérea, número de botones florales, diámetro y masa de flor, lo cual permite inferir que la mayor presencia de la enfermedad afecta directamente la calidad de la flor.



**Figura 7. Evaluación de A. masa seca aérea; B. número de botones; C. diámetro de flor, masa de flor en plantas de crisantemo. T1: Sin *Pythium*, T2: con *Pythium*, T3: Metalaxil + Clorotalonil en dosis de 100%, T4: Metalaxil + Clorotalonil en dosis de 150%, T5: Azoxystrobin en dosis de 100%, T6: Azoxystrobin en dosis de 150%, T7: *T. harzianum* en dosis de 100%, T8: *T. harzianum* en dosis de 150%, T9: *B. subtilis* en dosis de 100%, T10: *B. subtilis* en dosis de 150%. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Las barras verticales indican el error estándar ( $n=5$ ).**



**Figura 8. Correlación de variables en plantas de crisantemo con tratamientos a *Pythium* sp.** MFR: masa fresca de raíces; MFS: masa seca de raíces; MFA: masa fresca aérea; y MSA: masa seca aérea; INCI: incidencia; SEVE: severidad. LTALLO: longitud del tallo floral; BOTON: número de botones florales; DFLOR: diámetro de flor; MFLOR: masa de flores.

## CONCLUSIONES

La dosis 0,01 g/201 mL de *T. harzianum* fue la más efectiva en evaluaciones de laboratorio en comparación con *B. subtilis*. La dosis *T. harzianum* 150% tuvo el mejor control sobre *Pythium* sp. en plantas de crisantemo bajo condiciones de invernadero. La dosis de 0,015 mL/0,33 mL de metalaxil + clorotalonil fue más efectiva en comparación con las dosis de 0,023 g/59 mL y 0,0352 g/117 mL de azoxystrobin. El mayor control de *Pythium* sp. se obtuvo con *T. harzianum* en dosis de 150% y mostró los mejores resultados entre tratamientos y variables evaluados.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bae, Y.S. y G. Knudsen. 2005. Soil microbial biomass influence on growth and biocontrol efficacy of *Trichoderma harzianum*. *Biol. Control* 32, 236-242. Doi: 10.1016/j.biocontrol.2004.10.001

Cano, M.A. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 14(2), 15-31.

Cubillos-Hinojosa, J., N. Valero y L. Mejía. 2009. *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento vegetal del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). *Agron. Colomb.* 27(1), 81-86.

Dhingra, O.D. y B. Sinclair. 1995. *Basic plant pathology methods*. CRC Press, Cleveland, OH. pp. 31-380.

Durman, S., A. Menéndez y A. Godeas. 2003. Evaluación de *Trichoderma* spp. como antagonista de *Rhizoctonia solani* "in vitro" y como biocontrolador del damping off de plantas de tomate en invernadero. *Rev. Argent. Microb.* 31(1), 13-18.

Everett, K.R., S.G. Owen y J.G. Cutting. 2005. Testing efficacy of fungicides against post-harvest pathogens of avocado (*Persea americana* cv. Hass). *New Z. J. Plant Prot.* 58, 89-95.

Ghasemi, S., G. Ahmadian, N. Jelodar, H. Rahimian, S. Ghandili, A. Dehestani y P. Shariati. 2010. Antifungal chitinases from *Bacillus pumilus* SG2: preliminary report. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 26, 1437-1443. Doi: 10.1515/biolog-2015-0112

Ghorbanpoura, M., M. Omidvarib, P. Abbaszadeh-Daha-jic, R. Omidvard y K. Karimane. 2018. Mechanisms underlying the protective effects of beneficial fungi against plant diseases. *Biol. Control* 117, 147-157. Doi: 10.1016/j.biocontrol.2017.11.006

Harman, G. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 96(2), 190-194. Doi: 10.1094/PHYTO-96-0190

Henfling, J.W. 1982. Field screening procedures to evaluate resistance to late blight. *International Potato Center (CIP)*, Lima.

León, J. 2017. Minagri busca promover producción y comercialización de flores. En: *Agraria.pe*, <http://www.agraria.pe/noticias/minagri-busca-promover-produccion-y-comercializacion-13923>; consultado: noviembre de 2017.

Moo-Koh, F., C. Alejo, A. Reyes-Ramírez, M. Tun-Suarez, R. Sandoval-Luna y A. Ramirez-Pool. 2014. Actividad *in vitro* del extracto acuoso *Bonella flammea* contra hongos fitopatógenos. *Agrociencia* 48, 833-845.

Moorman, G., S. Kang, D. Geiser y S. Kim. 2004. Identification and characterization of *Pythium* species associated with greenhouse floral crops in Pennsylvania. *Plant Dis.* 86, 1227-1231. Doi: 10.1094/PDIS.2002.86.11.1227

Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R. y Z. Banihashemi. 2005. Identification of soil *Pythium* species in farms province of Iran. *Iranian J. Sci. Technol. Trans. A* 29(A1), 79-87.

Pérez, A., J. Rojas y D. Montes. 2011. Hongos formadores de micorrizas arbusculares, una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en El Caribe colombiano. *Rev. Colomb. Cienc. Animal* 3(2), 366-385.

Rebollar-Alviter, A., L.V. Madden y M.A. Ellis. 2005. Efficacy of azoxystrobin, pyraclostrobin, potassium phosphite

- and mefenoxam for control of strawberry leather rot caused by *Phytophthora cactorum*. Plant Health Prog. 12, 67-68. Doi: 10.1094/PHP-2005-0107-01-RS
- Rinaudo, V., P. Barberi, M. Giovannetti y M. Van Der Heijden. 2010. Mycorrhizal fungi suppress aggressive agricultural. Weeds 333, 7-20. Doi: 10.1007/s11104-009-0202-z
- Sid Ahmed, A., M. Ezziyyani, C. Pérez-Sánchez y M.E Candela. 2003. Effect of chitin on biological control activity of *Bacillus* spp. and *Trichoderma harzianum* against root rot disease in pepper (*Capsicum annuum*) plants. Eur. J. Plant Pathol. 109, 418-426.
- Van der Plaats-Niterink, A. 1981. Monograph of the genus *Pythium*. Stud. Mycol. 21, 7-198.
- Wang, H., Y. Huang, J. Wang, X. Chen, K. Wei, M. Wang y S. Shang. 2016. Activities of azoxystrobin and difenoconazole against *Alternaria Alternata* and their control efficacy. Crop Prot. 90, 54-58. Doi: 10.1016/j.cropro.2016.08.022
- Xue, J., X. Chen, W. Jiang, F. Liu y H. Li. 2016. Rapid and sensitive analysis of nine fungicide residues in chrysanthemum by matrix extraction-vortex-assisted dispersive liquid-liquid microextraction. J. Chromatogr. B. Analyt Technol. Biomed. Life Sci. 975, 9-17. Doi: 10.1016/j.jchromb.2014.10.029

# Efecto de la disminución de N total y aumento de $\text{NH}_4^+$ en la fórmula de fertirriego en el cultivo de clavel

Effect of decreasing total N and increasing  $\text{NH}_4^+$  in the fertigation formula of carnation crop



ADRIANA DEL P. BARACALDO<sup>1</sup>  
MANFRED C. DÍAZ<sup>1</sup>  
VÍCTOR J. FLÓREZ<sup>1, 3</sup>  
CARLOS A. GONZÁLEZ<sup>2</sup>

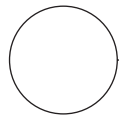
**Plantas de clavel estándar, variedad Don Pedro.**

Foto: M.C. Díaz

## RESUMEN

Una alternativa a la lixiviación de nitrógeno en el cultivo de flores de corte es la optimización de la fórmula de fertirriego. Con el objetivo de estudiar la reducción de nitrógeno y el aumento de la proporción de amonio en la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ , se evaluaron en condiciones de invernadero dos concentraciones de nitrógeno total (200-140  $\text{mg L}^{-1}$  en fase vegetativa y 160-112  $\text{mg L}^{-1}$  en fase productiva) y tres relaciones de  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  (5:95, 15:85 y 25:75) en clavel estándar cv. Don Pedro sembrado en sustrato. Se determinaron en tres momentos de cultivo los contenidos elementales del tejido vegetal, el pH y la concentración de nitrato en los lixiviados. Se observó mayores concentraciones de Zn y Cu en el tejido vegetal con la disminución de N total; así mismo, se obtuvieron incrementos de N y Zn y disminución de Mg con el incremento  $\text{NH}_4^+$ , que, a su vez, disminuyó el pH en el sustrato. La disminución de N total no afectó significativamente el contenido de N en el tejido de la planta, pero si el contenido de  $\text{NO}_3^-$  y N total en el lixiviado.

**Palabras clave adicionales:** *Dianthus caryophyllus* L.; flor de corte; cultivo sin suelo; relación amonio:nitrato; lixiviado.



<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Bogotá (Colombia). ORCID Baracaldo, A.P.: 0000-0001-7947-3510; ORCID Díaz, M.C.: 0000-0002-1767-3039; ORCID Flórez, V.J.: 0000-0002-3081-2400

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Bogotá (Colombia). ORCID González, C.A.: 0000-0002-2920-8425

<sup>3</sup> Autor para correspondencia. [vjflorezr@unal.edu.co](mailto:vjflorezr@unal.edu.co)

## ABSTRACT

An alternative to nitrogen leaching in the cultivation of cut flowers is the optimization of the fertigation formula. In order to study the reduction of total nitrogen and the increase in the proportion of ammonium in the  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  ratio, two concentrations of total nitrogen were evaluated under greenhouse conditions (200-140  $\text{mg L}^{-1}$  in the vegetative phase and 160-112  $\text{mg L}^{-1}$  in the productive phase), along with three  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  ratios (5:95, 15:85 and 25:75) in standard carnation cv. Don Pedro grown on substrate. The elementary contents of the plant tissue, the pH and the nitrate concentration in the leachate were determined at three times during the cultivation. Higher concentrations of Zn and Cu were observed in the plant tissue with the decrease in the total N; likewise, increases of N and Zn and a decrease of Mg were obtained with the increase in  $\text{NH}_4^+$ , which in turn decreased the pH in the substrate. The decrease in the total N did not significantly affect the content of N in the plant tissue, but did significantly affect the content of  $\text{NO}_3^-$  and total N in the leachate.

**Additional key words:** *Dianthus caryophyllus* L.; cut flower; soilless crop system; ammonium:nitrate ratio; leachate.

Fecha de recepción: 05-06-2018 Aprobado para publicación: 30-11-2018

## INTRODUCCIÓN

La agricultura requiere del uso intensivo de fertilizantes nitrogenados: nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ). Su aplicación a base de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  genera problemas ambientales como eutrofización de reservorios de agua, contaminación de acuíferos y polución atmosférica. Dicha problemática es un asunto serio de reconocimiento mundial, de preocupación pública y económica (Esteban *et al.*, 2016). Entre las estrategias de los programas del manejo de la fertilización se debe considerar el acervo del  $\text{NH}_4^+$  recientemente fijado para reducir sus pérdidas en el suelo e incrementar el uso eficiente del N (Nieder *et al.*, 2011).

Las principales fuentes de nitrógeno tomadas por las raíces de las plantas son  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ . Dependiendo de la especie vegetal, etapa de desarrollo y órgano, el contenido de N necesario para el crecimiento óptimo varía entre 1 y 5% de la masa seca de las plantas puesto que constituye proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fitohormonas y metabolitos secundarios. La asimilación de estos iones tiene diferentes costos potenciales con respecto a energía y agua, siendo el  $\text{NH}_4^+$  la fuente menos costosa, mientras que el  $\text{NO}_3^-$  debe ser reducido a  $\text{NH}_4^+$  para ser asimilado por la planta; usando el equivalente de 8 a 12 moles de ATP para cada mol de  $\text{NO}_3^-$  reducido. La asimilación de  $\text{NH}_4^+$  requiere de cinco ATPs por cada mol (Hawkesford *et al.*, 2012).

El desempeño de las plantas es óptimo cuando las dos formas principales de N se suministran en una

relación particular. La mejor relación a aplicar varía con factores como etapa fenológica (Cui *et al.*, 2017) y temperatura (Liu *et al.*, 2017). Un desbalance en la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  puede afectar la solubilidad y disponibilidad de otros nutrientes esenciales para las plantas, debido a cambios en el pH del entorno radical (Helali *et al.*, 2010). La toxicidad (sensibilidad) y tolerancia a  $\text{NH}_4^+$  en plantas desde la hipótesis clásica hasta la más reciente es ampliamente abordada por Esteban *et al.* (2016), para quienes los cultivos de papa o remolacha azucarera en general son más sensibles a  $\text{NH}_4^+$  que sus respectivos parientes silvestres; sin embargo, arroz, arándanos y cebolla se han adaptado a altas concentraciones y raramente alcanzan umbral de toxicidad por  $\text{NH}_4^+$ . Esta relación también está asociada con susceptibilidad o tolerancia a plagas y enfermedades, conforme Žanić *et al.* (2011), para quienes con mayor concentración de N y alta proporción de  $\text{NO}_3^-$  se aumenta la severidad de la infestación con mosca blanca en el estrato medio de plantas de tomate. Asimismo, dependiendo de la especie, dicha relación afecta indicadores del desarrollo y la nutrición mineral de las plantas. Según González *et al.* (2009), la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  0:100 en cebollín favoreció el área foliar y la producción de biomasa; la 20:80 en albahaca incrementó el rendimiento; y en eneldo no se observó diferencias en altura de planta, área foliar y biomasa total en las relaciones estudiadas. Mientras que en tomate la relación  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  70:30 redujo la concentración de Ca foliar e incrementó la de P, también redujo algunos indicadores de crecimiento sin afectar la productividad, viabilizando el uso de la

fuente amoniacal (Terraza *et al.*, 2012). En lechuga se absorbe preferencialmente más  $\text{NH}_4^+$  que  $\text{NO}_3^-$ ; e incrementos de hasta 30% del N total estimulan el crecimiento, probablemente como consecuencia del aumento en la absorción de P, resultante de un mejor control del pH en la zona radical. Los contenidos foliares de P, Mn, Zn y Cu aumentaron en función del incremento de la fuente amoniacal (Savvas *et al.*, 2006).

Vélez (2012) en un sistema de cultivo en sustrato para clavel estándar cv. Delphi sometido a tres porcentajes de recirculación de drenajes reportó valores entre 70 y 510  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  en el lixiviado, por encima del máximo permitido por la Organización Mundial de la Salud (50  $\text{mg L}^{-1}$ ) (WHO, 2011) y por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente Norteamérica (10  $\text{mg L}^{-1}$ ) (EPA, 2009). Y, aunque en el tratamiento con menos nitrógeno en la fórmula de fertirriego utilizada en miniclavel cv. Rony, Casas (2015) reportó una reducción en la concentración de nitrato en el lixiviado, está aún fue superior a 100  $\text{mg L}^{-1}$ , por encima del máximo permitido para aguas superficiales que se destinaran a tratamiento y luego consumo humano, según el Decreto 1594 de 1984 (concentración máxima de 10  $\text{mg L}^{-1}$ ) (OAB, 2019).

Colombia presenta alrededor de 1.120 ha sembradas de clavel (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015) que ha venido implementado el sistema de cultivo en sustrato, con un consumo de 150 a 220  $\text{mg L}^{-1}$  de N en la fórmula de fertirriego, en 1  $\text{m}^3$  de agua por cama por semana. El sistema genera una solución salina en el lixiviado, que corresponde entre 20 y 50% del volumen de agua aplicado por cama (Lorenzo *et al.*, 1993). Por lo tanto, este sistema genera impactos ambientales negativos derivados del alto consumo de agua y del vertimiento de sales fertilizantes al medio ambiente. El potencial impacto ambiental en el agroecosistema de la Sabana de Bogotá aún no ha sido dimensionado.

Los esfuerzos por remediar esta situación teniendo en cuenta que la dinámica de la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  es compleja, dado que la asimilación de  $\text{NH}_4^+$  por la planta es menos costosa en términos energéticos (Hawkesford *et al.*, 2012), en condiciones aeróbicas se nitrifica (Coskun *et al.*, 2017), es retenido en función de la capacidad de intercambio catiónico del sustrato (Nieder *et al.*, 2011), la pérdida de  $\text{NO}_3^-$  por lixiviación representan una amenaza ambiental y a la salud humana (Cameron *et al.*, 2013), las relaciones  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  afectan la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo o sustrato (Helali *et al.*,

2010), y el contenido de otros nutrientes en el tejido y los componentes de la producción (González *et al.*, 2009). Por tanto, la disminución en la concentración del N total busca optimizar la fórmula de fertirriego y el aumento de la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  pueden proveer información acerca de una mejor utilización y optimización el uso del N, de manera que se pueda afectar los contenidos de sales en el lixiviado, a fin de mitigar el impacto ambiental.

Es por esto, el objetivo del presente ensayo fue estudiar el efecto de la disminución de N y el aumento de la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  en la solución de fertirriego utilizada para clavel (*Dianthus caryophyllus* L.), sobre el contenido de elementos en el tejido vegetal, el sustrato y el lixiviado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, ubicado en Mosquera (Cundinamarca) a 4°42' N y 74°12' W, 2.540 msnm, 12,4°C de temperatura promedio anual, humedad relativa entre 76 y 89% y precipitación promedio anual de 1.124 mm (Ordoñez y Bolívar, 2014). Durante el estudio el promedio de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero fueron de 17,5°C y 76%, respectivamente.

Para el ensayo se utilizó un invernadero tradicional de estructura metálica tipo flexon (Acuña y Ortiz, 2004), con ventilación lateral y cenital pasivas, en el cual se acondicionaron dos naves, de 9×70 m (630  $\text{m}^2$ ). Se utilizaron seis camas de madera de 7,0 x 0,7 m levantadas a 0,4 m del suelo. Tuvieron doble contenedor de 0,25×0,2 m y al final de la pendiente se ubicó un tanque recolector de lixiviado. Se sembraron esquejes con raíz de clavel estándar (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Don Pedro a densidad 15,5 plantas/ $\text{m}^2$  en un sistema abierto de fertirriego. El sustrato consistió en la mezcla 50% cascarilla de arroz cruda (*in natura*), 15% cascarilla de arroz tostada, 25% de cascarilla de arroz tostada reutilizada y 10% compost, obtenido de los residuos de cultivo de rosa y clavel (v/v/v/v). La CE y el pH de la mezcla osciló entre 0,5 y 1,0  $\text{dS m}^{-1}$  y entre 6,8 y 7,0, respectivamente. El manejo agronómico del cultivo se hizo conforme a lo descrito en Flórez *et al.* (2006).

Se establecieron seis tratamientos correspondientes a modificaciones en el contenido de N de la fórmula

convencional aplicada comercialmente al cultivo de clavel (200-160 mg L<sup>-1</sup> de N total para las fases vegetativa y productiva del cultivo, respectivamente, manteniendo una relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 15:85). En esta fórmula el N total se redujo en 30% y la relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se disminuyó o aumento en 10% (Tab. 1). En las soluciones de fertirriego la CE se mantuvo entre 1,5 y 2,5 y el pH entre 5,5 y 6,0; las concentraciones de los demás elementos (mg L<sup>-1</sup>) en las fases vegetativa y reproductiva fueron: P, 30; K, 150; Ca, 120; Mg, 40; Fe, 3; Cu, 1; Zn, 0,5; B, 1; Mo, 0,1; S osciló entre 2 y 116 mg L<sup>-1</sup> en razón al balance estequiométrico de la fórmula para el ajuste de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. El cálculo de las soluciones nutritivas contempló los aportes de agua (CE = 0,6 y pH = 7,0) y los contenidos de Mn en el sustrato a base de cascarilla de arroz tostada (Martínez y Roca, 2011).

La determinación de la variable masa seca se registró en tres muestreos de carácter destructivo de la planta a las 16, 21 y 26 semanas después de siembra (SDS). En estas semanas se tomaron tres muestras de sustrato y una de lixiviado por tratamiento. La muestra de sustrato consistió en 1 kg aproximadamente por unidad experimental y 1 L aproximadamente de lixiviado en el canal de la cama por tratamiento. Se transportaron en condiciones refrigeradas. En tejido vegetal y sustrato se determinaron los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn y B de acuerdo con la metodología descrita por Carrillo *et al.* (1994); así como el pH del sustrato. En el lixiviado se determinó NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, pH y CE de acuerdo con Rice *et al.* (1967). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia. El balance de nitrógeno fue calculado teniendo en cuenta el contenido de N en la

fórmula de fertirriego, volumen total de lixiviado y la masa seca del último muestreo.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado en arreglo factorial con dos niveles de nitrógeno total y tres relaciones NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Tab. 1). Los seis tratamientos tuvieron tres réplicas y la unidad experimental consistió en 2 m de cama con 46 plantas. El análisis inferencial se realizó por medio de análisis de varianza (Anova) y comparación múltiple de Tukey, con nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . Se verificó normalidad y homogeneidad de varianza en los residuales por medio de las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente, para validar el modelo ajustado. Todos los análisis fueron realizados con el *software* estadístico SAS v. 9.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contenido de nutrientes en el tejido vegetal

#### Disminución de nitrógeno total

Las concentraciones de N total en la fórmula de fertirriego evaluadas no presentaron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn y B en el tejido de la planta (datos no mostrados). Sin embargo, se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en algunos estadios fenológicos para N, Cu y Zn (Tab. 2).

El muestreo a las 21 SDS, las plantas del tratamiento con menor concentración de N (140-112N) muestran un contenido significativamente menor de N con respecto al tratamiento con mayor concentración (200-160N) (Tab. 2); de manera contrastante se encontró

**Tabla 1. Concentraciones y relaciones NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de nitrógeno evaluadas en la fórmula de fertirriego utilizada en el cultivo de clavel cv. Don Pedro sembrado en sustrato.**

Tratamientos	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fase vegetativa			Fase productiva			
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N total	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N total	
	%	(mg L <sup>-1</sup> )						
5% N-NH <sub>4</sub>	5:95	10	190	200	8	152	160	
15% N-NH <sub>4</sub>	15:85	30	170		24	136		
25% N-NH <sub>4</sub>	25:75	50	150		40	120		
30% menos N	5% N-NH <sub>4</sub>	5:95	7	133	140	5,6	106,4	112
	15% N-NH <sub>4</sub>	15:85	21	119		16,8	95,2	
	25% N-NH <sub>4</sub>	25:75	35	105		28	84	

un contenido significativamente mayor de Cu en 140-112N (Tab. 2). Con lo cual, se visualiza una posible relación inversa entre N y Cu. También se constató una concentración significativamente mayor de Zn en el tratamiento 140-112N, en comparación con el tratamiento 200-160N (Tab. 2). Reportes sobre el tema donde se evalúan diferentes dosis de NPK en clavel cv. Master, por ejemplo, la dosis más baja de fertilización (75 mg L<sup>-1</sup> de NPK), Singh *et al.* (2015) reportaron el menor porcentaje de N en el tejido foliar (1,8%); la aplicación de la dosis más alta de fertilización, El-Naggar (2009) encontró mayor contenido de N foliar en clavel cv. Red Sim. La relación N:Cu descrita en el presente estudio fue abordada por Broadley *et al.* (2012), donde concentraciones altas de N promueven la deficiencia de Cu. Navarro y Navarro

(2003) afirman que en pastos la adición de dosis crecientes de fertilizantes nitrogenados en suelos con deficiencia de Cu origina descensos en la concentración de Cu; sin embargo, al adicionar Cu al suelo, incluso en presencia de fertilizantes nitrogenados, se incrementa el contenido de Cu en la planta. Asimismo, de acuerdo con Broadley *et al.* (2012), en condiciones de alto suministro de N, el contenido de Cu de las raíces se incrementa proporcionalmente a su concentración externa, aunque se inhibe drásticamente su transporte a la parte aérea.

Para el caso de Zn, cantidades elevadas de compuestos nitrogenados influye en el movimiento del elemento en el suelo; también puede provocar deficiencia de Zn a causa de la cinética de absorción propia de los dos

**Tabla 2. Contenidos de N, Cu, Zn y Mg en el tejido vegetal de plantas completas de clavel cv. Don Pedro, con disminución del N total e incrementos en el componente de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la fórmula de fertirriego.**

Tratamiento	Semana después de siembra			
	16	21	26	
N* (mg L <sup>-1</sup> )	N (%)			
	200 - 160	2,80 a	1,89 a	2,32 a
	140 - 112	2,92 a	1,17 b	2,74 a
	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )			
	200 - 160	7,99 a	7,91 a	6,41 a
	140 - 112	8,03 a	9,15 b	7,12 a
	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )			
	200 - 160	60,97 a	76,75 a	51,68 a
140 - 112	72,93 b	72,32 a	60,46 a	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (%)	N (%)			
	5	2,69 a	1,60 a	2,29 a
	15	2,94 b	1,50 a	2,62 b
	25	2,95 b	1,48 a	2,67 b
	Mg (%)			
	5	0,40 a	0,37 a	0,30 a
	15	0,35 b	0,30 b	0,28 a
	25	0,34 b	0,31 b	0,33 a
	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )			
	5	67,18 a	61,02 a	56,57 a
	15	59,15 a	68,72 a	55,80 a
	25	74,52 a	93,86 b	55,84 a

Promedios seguidos por la misma letra en la columna, indican una diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

\* Concentraciones de N total (mg L<sup>-1</sup>) para las fases vegetativa y productiva del cultivo, respectivamente.



elementos (Navarro y Navarro, 2003). Sin embargo, en semillas de canola Gao y Ma (2015) observaron que la concentración de Zn disminuyó con el menor suministro de N e incrementó con altos niveles de N. Rehman *et al.* (2018) indican que la aplicación de N aumenta la concentración y absorción de Zn en semillas de cereales; aunque, Kumar *et al.* (1985) encontraron efecto sinérgico en plantas de mijo perla entre las aplicaciones de N sobre las concentraciones de Zn en hojas y tallos, y antagónico en raíz.

### Aumento de nitrógeno amoniacal

El aumento de  $\text{N-NH}_4^+$  en la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  de la fórmula de fertirriego no presentó diferencias estadísticamente significativas en los contenidos de P, K, Ca, Cu, Fe, Mn y B en el tejido de la planta (datos no mostrados). Sin embargo, en los contenidos de N, Mg y Zn se evidencian diferencias estadísticamente significativas en algunos estadios fenológicos evaluados (Tab. 2).

En las 16 y 26 SDS las plantas con más contenido de  $\text{NH}_4$ , 15 y 25%, respectivamente, de manera consecuente presentaron porcentajes significativamente mayores de N en el tejido de la planta (Tab. 2). Asimismo, en la 21 SDS, las plantas sometidas a mayor porcentaje de  $\text{NH}_4^+$  (25%) presentaron contenidos significativamente mayores de Zn, con respecto a los tratamientos con 5 y 15% de  $\text{NH}_4^+$  (Tab. 2). Contrario a lo visto con Mg a las 16 y 21 SDS, cuando con el menor porcentaje de  $\text{NH}_4^+$  (5%) se observaron los mayores contenidos del ion (Tab. 2).

En estudios con adición de  $\text{NH}_4^+$  en las soluciones nutritivas formuladas con  $\text{NO}_3^-$ , Lorenzo *et al.* (2000) encontraron en rosa bajo hidroponía una mayor tasa de absorción de N durante la elongación del tallo y comportamiento similar en la absorción de K, mientras que la concentración de P aumenta solo en las raíces de las plantas. Choi *et al.* (2011) también encontraron que al aumentar la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  (65:35 y 100:0) se presentaron mayores porcentajes de N total en el tejido de las plantas de fresa, en comparación con la solución de menor proporción de  $\text{NH}_4^+$ . Por otra parte, Abasi *et al.* (2016) evaluaron el efecto de cinco relaciones  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  (0; 0,038; 0,074; 0,11 y 0,14) en tulipán, y contrario a lo encontrado en el presente estudio, las plantas con mayor proporción de  $\text{NH}_4^+$  (0,14) presentaron concentraciones significativamente más bajas de N en los bulbos de las plantas (0,84%); los autores afirman que las plantas fertirrigadas con  $\text{NO}_3^-$  generalmente tienen una concentración alta de

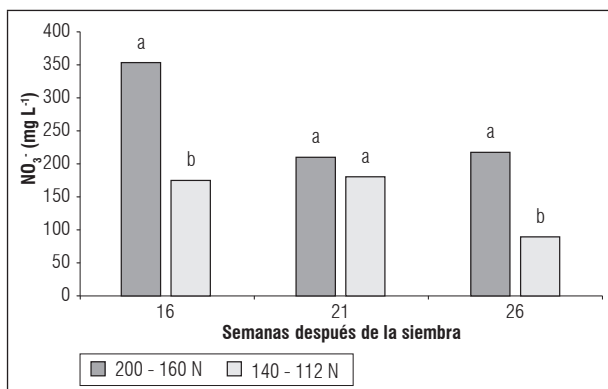
N en comparación con las fertirrigadas con  $\text{NH}_4^+$ . Sin embargo, Mengel y Kirkby (2001) señalan que las plantas fertilizadas con  $\text{NH}_4^+$  tienen una mayor concentración de N en los tejidos de la parte aérea.

A mayores concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva se disminuye la absorción de cationes como K, Ca y Mg. Con la relación  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  de 70:30 la solución nutritiva para tomate, Terraza *et al.* (2012) encontraron 0,59% de Mg foliar, significativamente menor que en los tratamientos con relaciones 100:0 y 85:15, con 1,07 y 1,05%, respectivamente, de Mg foliar. Para Abasi *et al.* (2016) las concentraciones de N en bulbo y de Ca, Mg y K en la parte aérea del tulipán se vieron significativamente afectadas por la fuente de N. En general, en las plantas fertilizadas con  $\text{NH}_4^+$  se observaron concentraciones más bajas de los cuatro elementos, con 0,84, 1,10, 0,80 y 0,53%, respectivamente. En la mayoría de los casos, el ajuste osmótico en plantas fertilizadas con  $\text{NH}_4^+$  se afecta negativamente debido a la reducida absorción de tales cationes (Guo *et al.*, 2007).

Savvas *et al.* (2006) en lechuga hidropónica con recirculación encontraron que las concentraciones de K, Ca, Mg y Fe en el tejido foliar no se vieron afectadas, mientras que P, Mn, Zn y Cu mejoraron al aumentar la proporción de  $\text{NH}_4^+$ . En suelos neutros o alcalinos la acidificación de la rizosfera con la aplicación de amonio puede mejorar la movilización de fosfatos de calcio poco solubles y en consecuencia aumentar la absorción de P; asimismo aumenta la absorción de micronutrientes como B, Fe, Mn y Zn (Neumann y Römheld, 2012); para Alloway (2008) dicho efecto acidificante marcado aumenta la disponibilidad de Zn. Por lo tanto, el efecto del aumento en la proporción de  $\text{NH}_4^+$  sobre el ion Zn puede atribuirse al impacto del  $\text{NH}_4^+$  sobre el pH de la rizosfera (Tab. 2 y Fig. 2).

### Contenido de $\text{NO}_3^-$ en lixiviados

El  $\text{NO}_3^-$  en el lixiviado no presentó diferencia significativa con los aumentos de  $\text{NH}_4^+$  (datos no mostrados) pero sí con disminución de nitrógeno total. A las 16 y 26 SDS el contenido de  $\text{NO}_3^-$  en el tratamiento 140-112 N fue significativamente menor en comparación con 200-160 N, alcanzando 49,5 y 41,1% menos  $\text{NO}_3^-$  en el lixiviado, respectivamente en cada muestreo (Fig. 1). No se presentó diferencia significativa a la 21 SDS, probablemente debido al cambio de fórmula entre la fase vegetativa y productiva.



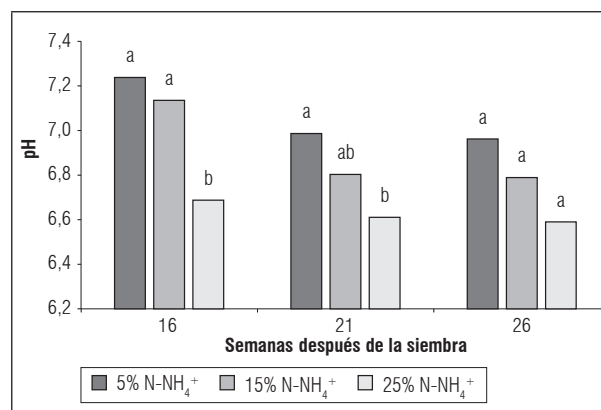
**Figura 1. Valores promedio del contenido de nitrato en el lixiviado de un sistema de cultivo sin suelo con plantas de clavel cv. Don Pedro con disminución del N total en la fórmula de fertirriego. Análisis de forma independiente del porcentaje de  $\text{NH}_4^+$ . Promedios con letras distintas indican una diferencia significativa con la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).**

Al respecto, Thompson *et al.* (2013) encontraron que mayores aplicaciones de N en plantas de tomate, entre 463 a 479 kg ha<sup>-1</sup> de N, el porcentaje de lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  aumento de 31 a 37%, respectivamente; demostrando que al reducir la concentración del N en función del aplicado vs. absorbido se disminuye considerablemente la pérdida de  $\text{NO}_3^-$  por lixiviación. De forma similar, Gheysari *et al.* (2009) encontraron que la mayor lixiviación de N durante el ciclo de cultivo en maíz coincide con la mayor aplicación de riego y dosis altas de N. El mismo patrón fue observado por Liang *et al.* (2011) en avena, donde la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el lixiviado se incrementó de 11,3 a 17,2 mg L<sup>-1</sup> con el aumento dosis de N. Otros factores como la fuente del fertilizante, forma y momento de aplicación pueden influir en la lixiviación (Broschat, 1995). La magnitud de la pérdida de iones por lixiviación es proporcional a la concentración del elemento en la solución del suelo y a la cantidad de agua drenada (Ghiberto *et al.*, 2009).

Hong *et al.* (2014) mostraron que la producción de tomate en sistemas intensivos pueden llevar lixiviar cantidades de N cercanos a 788,6 kg ha<sup>-1</sup> en todo el ciclo, unos 65,7 kg ha<sup>-1</sup> por d. Bar-Yosef *et al.* (2009) mencionan observaciones semejantes en cuanto a la forma soluble de N en el lixiviado, aunque se aplicaran diferentes dosis y modos de fertilización; mientras Thompson *et al.* (2013), indican que la alta eficiencia en el uso de N es resultado de una concentración relativamente baja de N en el lixiviado.

## pH en el sustrato

La reducción de pH en el sustrato fue estadísticamente significativa a las 16 y 21 SDS con el incremento de  $\text{NH}_4^+$  (Fig. 2). En geranio, petunia e *Impatiens*, Dickson *et al.* (2016) observaron que dichos cambios varían con la especie y la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  aplicada. La solución 0%  $\text{NH}_4^+$  mostró una reacción básica en todas las especies, con valores mayores en petunia en comparación con las otras dos especies; la solución 10%  $\text{NH}_4^+$ , mostró una reacción neutra en geranio e *Impatiens* y básica en petunia. Finalmente la solución 20%  $\text{NH}_4^+$ , en geranio e *Impatiens* presentaron una reacción ácida y en petunia sin diferencia al pH neutro. De manera similar, ensayos en *Ozothamnus diosmifolius* (Silber, 2009) indican que el aumento en la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , por vías N total y relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ , resultan en una marcada disminución de pH, entre 4 y 5, con la concentración 150 N total y relación 3:1. A pesar de la toxicidad provocada por las altas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  en la solución del suelo que disminuye el pH (Silber, 2009; Esteban *et al.*, 2016), como en el presente estudio se utilizó un sustrato con tendencia a valores de pH altos (pH ~7) (Vélez *et al.*, 2014), la reducción de pH en el sustrato por aplicación de  $\text{NH}_4^+$  habría generado un efecto benéfico al cultivo, con valores alcanzados en los tratamientos con mayor porcentaje de amonio próximos a 6,6, lo cual es descrito ampliamente en la literatura (Taiz y Zeiger, 2002; Neumann y Römheld, 2012), la franja de pH donde se aumenta la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes.



**Figura 2. Cambios de pH en el sustrato por incremento de  $\text{NH}_4^+$  en el fertirriego de clavel cv. Don Pedro. Análisis independiente del nitrógeno total. Promedios con letras distintas indican una diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).**

## Balance de nitrógeno

El contenido de N en el tejido vegetal no presentó diferencia significativa entre tratamientos mientras que el contenido de N lixiviado fue significativamente mayor en el tratamiento con la dosis alta de N (200-160N) (Tab. 3). Lo anterior evidencia una posible sobrefertilización nitrogenada en razón que a pesar de disminuir la concentración del N aplicado no se presenta un menor contenido de N en el tejido vegetal; observándose además pérdida de N en el lixiviado. Al contrario, Cabrera (2003) determinó en *Ilex* y *Lagerstroemia*, especies ornamentales leñosas, una relación directa entre la concentración de N aplicado y el porcentaje de este ion en el tejido foliar; sin embargo, las pérdidas de N por lixiviación cambiaron de 17,4% con la concentración más baja de N (15 mg L<sup>-1</sup>) a 52% con las concentraciones mayores (210 y 300 mg L<sup>-1</sup>), resultados similares a los encontrados en el presente estudio.

**Tabla 3. Contenido de nitrógeno en tejido y lixiviado para clavel cv. Don Pedro sometido a una disminución del 30% del N total en la fórmula de fertirriego.**

Nitrógeno	200 - 160N*	140 - 112N*
	(kg ha <sup>-1</sup> )	
Fertilización	1.932	1.551
Tejido vegetal	218,6 a	209,5 a
Lixiviado	1.381,9 a	740,1 b

\*Concentración de N total (mg L<sup>-1</sup>) en la fórmula de fertirriego para las fases vegetativa y productiva del cultivo.

Promedios con letras distintas en la fila, indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

## CONCLUSIONES

La reducción de nitrógeno total e incremento de la relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> modificó los contenidos de nutrientes en el tejido vegetal de clavel. Con el menor contenido de N total en la fórmula de fertirriego se aumentaron significativamente los contenidos de Cu y Zn. El incremento de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> elevó significativamente los contenidos de N y Zn, y redujo Mg; también disminuyó significativamente el pH del sustrato.

La reducción de N total al 30% disminuye significativamente la pérdida de N por lixiviación a la semana 16 (49,5% <NO<sub>3</sub>) y 26 (41,1% <NO<sub>3</sub>) después de la siembra.

Los contenidos de N en el tejido de clavel no se vieron afectados significativamente por la reducción de N total, pero se logra una disminución significativa en la pérdida de N por lixiviación resultando en mayor eficiencia en el uso de nitrógeno.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores - Asocolflores, el Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana - Ceniflores, la Gobernación de Cundinamarca y a la Universidad Nacional de Colombia, entidades cofinanciadoras y ejecutoras del proyecto "Fortalecimiento de la competitividad del sector floricultor colombiano mediante el uso de ciencia, tecnología e innovación aplicadas en Cundinamarca", en el cual se desarrolló la presente investigación. A la empresa Brenntag Colombia S.A. por el suministro de las soluciones nutritivas.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloque en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

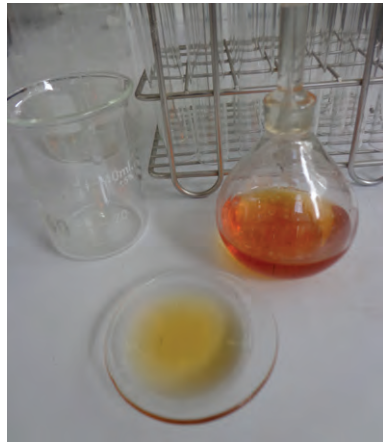
- Abasi, H., M. Babalar, H. Lessani y R. Naderi. 2016. Effects of nitrogen form of nutrient solution on uptake and concentration macro element and morphological trait in hydroponic tulip. *J. Plant Nutr.* 39(12), 1745-1751. Doi: 10.1080/01904167.2016.1201110
- Acuña C., J.F. y D.M. Ortiz P. 2004. Estructuras de invernadero: la experiencia colombiana. pp. 83-107. En: Acuña C., J.F., D.L. Valera M. y J.C. Avendaño (eds.) Invernaderos: la experiencia iberoamericana. Programa Cyted, Almería, España.
- Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. 2a ed. IZA; IFA, Paris.
- Bar-Yosef, B., N.S. Mattson y H.J. Lieth. 2009. Effects of NH<sub>4</sub>:NO<sub>3</sub>:urea ratio on cut roses yield, leaf nutrients content and proton efflux by roots in closed hydroponic system. *Sci. Hortic.* 122(4), 610-619. Doi: 10.1016/j.scienta.2009.06.019
- Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, Z. Rengel y F. Zhao. 2012. Function of nutrients: micronutrients. pp. 191-248. En: Marschner, P. (ed.). Mineral nutrition of higher plants. 3a ed. Elsevier, Amsterdam. Doi: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8
- Broschat, T.K. 1995. Nitrate, phosphate, and potassium leaching from container-grown plants fertilized by

- several methods. *HortScience* 30(1), 74-77. Doi: 10.21273/HORTSCI.30.1.74
- Cabrera, R.I. 2003. Nitrogen balance for two container-grown woody ornamental plants. *Sci. Hortic.* 97(3-4), 297-308. Doi: 10.1016/S0304-4238(02)00151-6
- Cameron, K.C., H.J. Di y J.L. Moir. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Ann. Appl. Biol.* 162(2), 145-173. Doi: 10.1111/aab.12014
- Carrillo, I.F., B. Mejía y H.F. Franco. 1994. Manual de laboratorio para análisis foliares. Cenicafe, Chinchiná, Colombia.
- Casas O., N.R. 2015. Evaluación de la modificación del contenido de nitrógeno en una fórmula de fertirriego usada en el cultivo de miniclavell variedad Rony cultivado en sustrato. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- CCB, Cámara de Comercio de Bogotá. 2015. Manual flores y follajes: programa de apoyo agrícola y agroindustrial. Vicepresidencia de Fortalecimiento Empresarial, Bogotá.
- Choi, J.M., A. Latigui y C.W. Lee. 2011. Growth and nutrient uptake responses of 'Seolhyang' strawberry to various ratios of ammonium to nitrate nitrogen in nutrient solution culture using inert media. *Afr. J. Biotechnol.* 10(59), 12567-12574. Doi: 10.5897/AJB11.1104
- Coskun, D., D.T. Britto, W. Shi y H.J. Kronzucker. 2017. How plant root exudates shape the nitrogen cycle. *Trends Plant Sci.* 22(08), 661-673. Doi: 10.1016/j.tplants.2017.05.004
- Cui, J., C. Yu, N. Qiao, X. Xu, Y. Tian y H. Ouyang. 2017. Plant preference for  $\text{NH}_4^+$  versus  $\text{NO}_3^-$  at different growth stages in an alpine agroecosystem. *Field Crop Res.* 201(3), 192-199. Doi: 10.1016/j.fcr.2016.11.009
- Dickson, R.W., P.R. Fisher, W.R. Argo, D.J. Jacques, J.B. Sartain, L.E. Trenholm y T.H. Yeager. 2016. Solution ammonium: nitrate ratio and cation/anion uptake affect acidity or basicity with floriculture species in hydroponics. *Sci. Hortic.* 200(2016), 36-44. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.12.034
- El-Naggar, A.H. 2009. Response of *Dianthus caryophyllus* L. plants to foliar nutrition. *World J. Agric. Sci.* 5(5), 622-630.
- Esteban, R., I. Ariz, C. Cruz y J.F. Moran. 2016. Review: mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. *Plant Sci.* 248(2016), 92-101. Doi: 10.1016/j.plantsci.2016.04.008
- Flórez R., V.J., R. Parra R., M. Rodríguez S., D.E. Nieto C. 2006. Características y fundamentos del proyecto "Producción más limpia de rosa y clavel con dos técnicas de cultivo sin suelo en la Sabana de Bogotá". pp. 3-40. En: Flórez R., V.J., A. de la C. Fernández M., D. Miranda L., B. Chaves C. y J.M. Guzmán P. (eds.). Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gao, Y.M. y B.L. Ma. 2015. Nitrogen, phosphorus, and zinc supply on seed and metal accumulation in canola grain. *J. Plant Nutr.* 38(3), 473-483. Doi: 10.1080/01904167.2014.963121
- Gheysari, M., S.M. Mirlatifi, M. Homae, M.E. Asadi y G. Hoogenboom. 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agric. Water Manag.* 96(6), 946-954. Doi: 10.1016/j.agwat.2009.01.005
- Ghiberto, P.J., P.L. Libardi, A.S. Brito y P.C.O. Trivelin. 2009. Leaching of nutrients from a sugarcane crop growing on an ultisol in Brazil. *Agric. Water Manag.* 96(10), 1443-1448. Doi: 10.1016/j.agwat.2009.04.020
- González G., J.L., M. de las N. Rodríguez M., P. Sánchez G. y E. Araceli G. 2009. Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agric. Téc. Méx.* 35(1), 5-11.
- Guo, S., Y. Zhou, Q. Shen y F. Zhang. 2007. Effect of ammonium and nitrate nutrition on some physiological processes in higher plants - growth, photosynthesis, photorespiration, and water relations. *Plant Biol.* 9(1), 21-29. Doi: 10.1055/s-2006-924541
- Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, I. Møller y P. White. 2012. Functions of macronutrients. pp. 135-189. En: Marschner, P. (ed.). Mineral nutrition of higher plants. 3a ed. Elsevier, Amsterdam. Doi: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6
- Helali, S.M., H. Nebli, R. Kaddour, H. Mahmoudi, M. Lachaâl y Z. Ouerghi. 2010. Influence of nitrate-ammonium ratio on growth and nutrition of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Soil* 336(1), 65-74. Doi: 10.1007/s11104-010-0445-8
- Hong, E.M., J.Y. Choi, W.H. Nam, M.S. Kang y J.R. Jang. 2014. Monitoring nutrient accumulation and leaching in plastic greenhouse cultivation. *Agric. Water Manag.* 146, 11-23. Doi: 10.1016/j.agwat.2014.07.016
- Kumar, V., V.S. Ahlawat y R.S. Antil. 1985. Interactions of nitrogen and zinc in pearl millet: 1. Effect of nitrogen and zinc levels on dry matter yield and concentration and uptake of nitrogen and zinc in pearl millet. *Soil Sci* 139, 351-356. Doi: 10.1097/00010694-198504000-00009
- Liang, X.Q., L. Xu, H. Li, M.M. He, Y.C. Qian, J. Liu, Z.Y. Nie, Y.S. Ye e Y. Chen. 2011. Influence of N fertilization rates, rainfall, and temperature on nitrate leaching from a rainfed winter wheat field in Taihu watershed. *Phys. Chem. Earth.* 36(9-11), 395-400. Doi: 10.1016/j.pce.2010.03.017
- Liu, G., Q. Du y J. Li. 2017. Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism of tomato seedlings. *Sci. Hortic.* 214(1), 41-50. Doi: 10.1016/j.scienta.2016.09.006
- Lorenzo, H., M.C. Cid, J.M. Siverio y M. Caballero. 2000. Influence of additional ammonium supply on some

- nutritional aspects in hydroponic rose plants. *J. Agric. Sci.* 134(4), 421-425. Doi: 10.1017/S0021859699007728
- Lorenzo, P., E. Medrano y M. García. 1993. Irrigation management in perlite. *Acta Hort.* 335, 429-434. Doi: 10.17660/ActaHortic.1993.335.52
- Martínez, P.-F. y D. Roca. 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo: materiales, propiedades y manejo. pp. 37-78. En: Flórez R., V.J. (ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Mengel, K. y E.A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5a ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda.
- Navarro, S. y G. Navarro. 2003. Química agrícola. 2a ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Neumann, G. y V. Römheld. 2012. Rhizosphere chemistry in relation to plant nutrition. pp. 347-368. En: Marschner, P. (ed.). Mineral nutrition of higher plants. 3a ed. Elsevier, Amsterdam. Doi: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00014-5
- Nieder, R., D.K. Benbi y H.W. Scherer. 2011. Fixation and defixation of ammonium in soils: a review. *Biol. Fertil. Soils* 47, 1-14. Doi: 10.1007/s00374-010-0506-4
- OAB, Observatorio Ambiental de Bogotá. 2019. Documentos e investigación: Decreto 1594 de 1984: En: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-lacomunidad//decreto-1594-de-1984>; consultado: mayo de 2018.
- Ordoñez D., N. y A. Bolívar G. 2014. Levantamiento agrológico del Centro Agropecuario Marengo (CAM). Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá.
- Rehman, A., M. Farooq, L. Ozturk, M. Asif y K.H.M. Siddique. 2018. Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. *Plant Soil* 422(1-2), 283-315. Doi: 10.1007/s11104-017-3507-3
- Rice, E.W., R.B. Baird, A.D. Eaton y L.S. Clesceri. 1967. Standard methods for the examination of water and wastewater. 12a ed. American Public Health Association; American Water Works Association, Washington DC.
- Savvas, D., H.C. Passam, C. Olympios, E. Nasi, E. Moustaka, N. Mantzos y P. Barouchas. 2006. Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system. *HortScience* 41(7), 1667-1673. Doi: 10.21273/HORTSCI.41.7.1667
- Silber, A. 2009. Impact of solution-NH<sub>4</sub> concentrations on soilless-grown plants: benefits and constraints. *Acta Hort.* 819, 373-380. Doi: 10.17660/ActaHortic.2009.819.45
- Singh, A., N. Laishram, Y.C. Gupta, B.P. Sharma, B.S. Dilla y S.K. Bhardwaj. 2015. Influence of NPK fertigation and foliar application on flower quality, media physico-chemical properties and foliar nutrient content in carnation (*Dianthus caryophyllus*) cv. Master. *Indian J. Agric. Sci.* 85(11), 1461-1465.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2002. Plant physiology. 3a ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, USA.
- Terraza, S.P., P.L. Murrieta, M.V. Romero y S.H. Verdugo. 2012. Plant growth and tomato yield at several nitrate/ammonium ratios and bicarbonate concentrations. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(2), 143-153.
- Thompson, R.B., M. Gallardo, J.S. Rodríguez, J.A. Sánchez y J.J. Magán. 2013. Effect of N uptake concentration on nitrate leaching from tomato grown in free-draining soilless culture under Mediterranean conditions. *Sci. Hort.* 150, 387-398. Doi: 10.1016/j.scienta.2012.11.018
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. 2009. National primary drinking water regulations. EPA 816-F-09-004. Washington, DC.
- Vélez C., N.A. 2012. Comportamiento de macronutrientes en un sistema de cultivo sin suelo para clavel estándar cv. Delphi con recirculación de drenajes en la sabana de Bogotá. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Vélez C., N.A., V.J. Flórez R. y A.F. Flórez R. 2014. Comportamiento de variables químicas en un sistema de cultivo sin suelo para clavel en la Sabana de Bogotá. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 67(2), 7281-7290. Doi: 10.15446/rfnam.v67n2.44170
- WHO, World Health Organization. 2011. Guidelines for drinking-water quality. 4a ed. Geneva, Suiza.
- Žanić, K., G. Dumičić, M. Škaljac, S.G. Ban y B. Urlić. 2011. The effects of nitrogen rate and the ratio of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:NH<sub>4</sub><sup>+</sup> on *Bemisia tabaci* populations in hydroponic tomato crops. *Crop Prot.* 30(2), 228-233. Doi: 10.1016/j.cropro.2010.11.004

# Actividad biocida del aceite esencial de *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae) sobre *Rhizoctonia solani*: *in vitro*

## Biocidal activity of *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae) essential oil on *Rhizoctonia solani*: *in vitro*



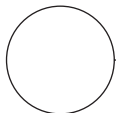
DAVID ÁLVAREZ-SÁNCHEZ<sup>1, 3</sup>  
ANDRÉS HURTADO-BENAVIDES<sup>2</sup>  
DIANA CHAVES-MORILLO<sup>2</sup>  
DANITA ANDRADE-DÍAZ<sup>1</sup>

**Aceite de *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae).**

Foto: D. Álvarez-Sánchez

### RESUMEN

*Rhizoctonia solani* es un hongo que afecta la producción de tubérculos y vigor de las plantas de papa *Solanum tuberosum* L. Las consecuencias ambientales que genera su control han impulsado la búsqueda de alternativas menos contaminantes, en donde los aceites esenciales tienen gran potencial. El arbusto silvestre *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae) ha sido estudiado por sus propiedades fungicidas en su extracto esencial, por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar la actividad biocida del aceite esencial de *L. origanoides* sobre *R. solani* en condiciones *in vitro*. La extracción del aceite se realizó mediante arrastre con vapor. La composición química se determinó por cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) y la actividad biocida del aceite se evaluó mediante la técnica de dilución en medio de cultivo, complementando los resultados con la técnica de bioautografía, la cual permitió identificar al timol como el compuesto mayoritario del aceite (60,7%) y responsable de la inhibición del hongo. La concentración  $110 \mu\text{L mL}^{-1}$  limitó el crecimiento de *R. solani* al afectar sus estructuras, con ello se demostró el efecto biocida del aceite esencial y el potencial agente antifúngico natural.



**Palabras clave adicionales:** orégano; timol; *Solanum tuberosum*; cromatografía en capa fina.

<sup>1</sup> Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto (Colombia). ORCID Álvarez-Sánchez, D.: 0000-0003-3563-2529; ORCID Andrade-Díaz, D.: 0000-0001-7579-4739

<sup>2</sup> Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Pasto (Colombia). ORCID Hurtado-Benavides, A.: 0000-0002-8898-8804; ORCID Chaves-Morillo, D.: 0000-0002-5524-274X

<sup>3</sup> Autor para correspondencia. daealvarezsa@unal.edu.co

## ABSTRACT

*Rhizoctonia solani* is a fungus that affects the production of tubers and vigor of potato plants, *Solanum tuberosum* L. The environmental consequences generated by its control have driven the search for less contaminating alternatives, and essential oils have great potential. The wild shrub *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae) has been studied because of its attractive fungicidal properties in its essential extracts; therefore, the objective of this research was to evaluate the biocidal activity of *L. origanoides* essential oil on *R. solani*, *in vitro*. The oil extraction was carried out with steam dragging, the chemical composition was determined with Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), and, finally, the biocidal activity of the oil was evaluated with the dilution technique in the culture medium, which was complemented with the bioautography technique, which identified thymol as the major compound of the oil (60.7%), responsible for the fungus inhibition. The concentration  $110 \mu\text{L mL}^{-1}$  limited the growth of *R. solani* by affecting the structures, thereby demonstrating the biocidal effect of this essential oil and its potential antifungal agent.

**Additional key words:** oregano; thymol; *Solanum tuberosum*; thin-layer chromatography.

Fecha de recepción: 06-03-2018 Aprobado para publicación: 30-11-2018

## INTRODUCCIÓN

El hongo basidiomiceto *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn es el fitopatógeno causante de “Rizoctoniasis”, enfermedad que afecta el cultivo de papa y otras solanáceas. La infección del cultivo a menudo presenta fases iniciales de crecimiento y ejerce efectos negativos sobre el desarrollo normal de plantas y tubérculos, lo cual genera pérdidas entre el 10 y 60% del rendimiento esperado con disminución en la calidad del producto final (Medeiros *et al.*, 2014; Kankam *et al.*, 2016).

La diseminación y establecimiento de esta enfermedad está asociada al aumento de la humedad relativa, uso de tubérculos contaminados, escasa rotación de lotes, entre otros factores, lo cual representa un peligro latente para la mayoría de las zonas productoras, donde la aplicación de pesticidas de síntesis química se convierte en la opción más recurrente para el manejo de *R. solani* en Colombia.

Sin embargo, el uso indiscriminado de este tipo de productos puede generar externalidades negativas, como cepas del patógeno resistente a los fungicidas, contaminación ambiental, elevados costos de producción y residualidad de agroquímicos en los alimentos. Por ello, este fenómeno no solo constituye un problema ambiental sino de salud pública (Arango *et al.*, 2014; Villa *et al.*, 2015; Álvarez *et al.*, 2016).

El actual interés por procesos amigables con el ambiente, agricultura sustentable y productos orgánicos,

es cada vez mayor, debido a esto, la búsqueda de alternativas para el manejo de enfermedades y plagas en los cultivos ha centrado su atención en sustancias provenientes de fuentes naturales que presenten propiedades bioactivas.

En este contexto, los extractos vegetales y aceites esenciales de plantas aromáticas han sido objeto de estudio por la presencia de compuestos con actividad antimicrobiana. Adicionalmente, estos productos naturales son biodegradables y su toxicidad es baja o inexistente, por lo cual han llegado a constituirse en una opción promisoriosa para la sustitución de pesticidas sintéticos (Medeiros *et al.*, 2014).

*Lippia origanoides* H.B.K. es una planta aromática conocida como “orégano silvestre” y en Colombia se encuentra entre los 500 y 800 msnm en ambientes secos; sus hojas han sido empleadas con fines etnobotánicos como condimento o remedio para desordenes gastrointestinales, antiséptico y tratamiento para enfermedades respiratorias (Ramírez *et al.*, 2009; Medeiros *et al.*, 2014; Ospina *et al.*, 2016). De ahí, que el aceite esencial de *L. origanoides* ha sido estudiado por su riqueza fitoquímica, entre sus constituyentes mayoritarios se encuentran fenoles como carvacrol y timol a los cuales se les atribuye su actividad antioxidante, antifúngica y antibacteriana (Arango *et al.*, 2014).

Diferentes estudios han demostrado las propiedades biocidas de *L. origanoides* en la agricultura, como

Taborda *et al.* (2015) que evaluaron el efecto fungicida de extractos etanólicos de *L. origanoides* sobre *Botrytis cinerea* Pers. con altos porcentajes de control. Por su parte, Arango *et al.* (2014) evaluaron la actividad *in vitro* del aceite esencial de orégano silvestre sobre *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, obteniendo que una concentración de  $150 \mu\text{g mL}^{-1}$  del aceite inhibió el crecimiento del patógeno. Álvarez *et al.* (2016) también determinaron el efecto biocida del aceite esencial sobre *P. infestans* y *Alternaria solani* Sorauer, en dicho estudio se evidenció el efecto del aceite sobre las estructuras reproductivas de los dos patógenos aislados de papa y se estableció que una concentración de  $300 \mu\text{L mL}^{-1}$  causa la inhibición micelial.

Los anteriores reportes bibliográficos de orégano silvestre sugieren el alto potencial en el desarrollo de tecnologías que permitan generar alternativas sostenibles para la agricultura, un campo que actualmente se encuentra en crecimiento. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad biocida del aceite esencial de *L. origanoides* sobre *R. solani* a nivel *in vitro*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Obtención de orégano.** Se colectaron hojas de *Lippia origanoides* H.B.K. (en floración), obtenidas de la zona del Alto Patía, vereda Alto de Mayo del municipio de Taminango (Nariño)  $01^{\circ}41'25,25''\text{N}$  y  $77^{\circ}19'25,5''\text{O}$  a 639 msnm y un Bosque seco tropical (bsT). El material vegetal cosechado fue dispuesto bajo sombra por un periodo de reposo de dos días ( $24^{\circ}\text{C}$ ). Adicionalmente se envió un ejemplar con estructuras reproductivas al herbario de la Universidad de Nariño como material de referencia con el No. 45202.

**Extracción.** El aceite esencial se extrajo en la planta piloto de la Universidad de Nariño en un equipo de arrastre con vapor, para este proceso se utilizó vapor saturado a presión atmosférica de 3,7 psi, densidad del lecho de  $80 \text{ g L}^{-1}$  con un tiempo de extracción de 2 h (Arango *et al.*, 2012). La mezcla de aceite esencial-agua se separó por decantación, el volumen de aceite extraído se registró para evaluar el rendimiento.

**Perfil cromatográfico del aceite esencial.** Se realizó mediante cromatografía de gas acoplada a espectrometría de masas (Shimadzu GCMS-QP-20105, Kioto, Japón), según la metodología descrita por Barbosa *et al.* (2006) con modificaciones.

Para la separación de los componentes del aceite esencial, se utilizó la columna DB-5 de J&W Scientific (Folsom, CA) con 30 m de largo, 0,25 mm de diámetro, espesor película de  $0,25 \mu\text{m}$ , y Helio WAP como gas de arrastre. Las condiciones de preparación del cromatógrafo de gases fueron: presión interna de la columna de 56,7 kPa, relación de división 1:30, el flujo de gas en la columna  $1,0 \text{ mL min}^{-1}$ , temperatura del inyector  $250^{\circ}\text{C}$ , temperatura del detector o interfaz (GC-MS)  $280^{\circ}\text{C}$ . La temperatura inicial de la columna  $45^{\circ}\text{C}$  (5 min), seguido de un incremento de  $4^{\circ}\text{C min}^{-1}$  hasta  $150^{\circ}\text{C}$ , y punto de equilibrio durante 30 min (2 min), con una temperatura final de  $250^{\circ}\text{C}$  a razón de  $5^{\circ}\text{C min}^{-1}$ . El espectrómetro de masas fue programado para realizar lecturas en un rango de 30 a 400 Da, en intervalos de 0,5 s y energía de ionización 70 eV.

Se inyectó en el GC  $1,0 \mu\text{L}$  de aceite esencial bajo una dilución al 30% en diclorometano (HPLC). La identificación de los componentes se realizó por comparación de sus espectros de masas con los disponibles en las bases de datos de espectroteca y también por índices de Kovats (IK).

**Aislamiento de *R. solani*.** A partir de cultivos comerciales de papa se colectaron aislamientos de *R. solani* en medio PDA. La identificación de este microorganismo se realizó con base en las características morfológicas.

**Actividad biocida.** La respuesta de sensibilidad *in vitro* de *R. solani* se determinó mediante la técnica de dilución en medio de cultivo usada por Álvarez *et al.* (2016) Se incorporó aceite esencial y tween 20 en una relación 1:1 (v/v) al medio de cultivo PDA previamente esterilizado, el emulsificante se escogió debido a que estudios previos no mostraron actividad inhibitoria sobre el blanco biológico. Se sembró un disco de micelio de 1,1 cm de diámetro obtenido con sacabocado de aislamientos puros del fitopatógeno sembrados 8 d antes del ensayo.

Se establecieron tres ensayos para determinar la concentración mínima de aceite esencial que inhibe el crecimiento de *R. solani*. Diluciones del ensayo 1: 10, 100, 1.000, 10.000 y  $100.000 \mu\text{L mL}^{-1}$ ; ensayo 2: 80, 85, 90, 95 y  $100 \mu\text{L mL}^{-1}$  y ensayo 3: 100, 110, 120, 130 y  $140 \mu\text{L mL}^{-1}$ . En cada ensayo se utilizó un diseño experimental completamente al azar con quince repeticiones. La unidad experimental correspondió a una caja de Petri. Los tratamientos correspondieron a las concentraciones definidas en cada ensayo y comparadas con el testigo absoluto que no fue enmendado.



Se midió el crecimiento micelial mediante Tpsdig2 cada 48 h hasta completar las 192 h. Se utilizó la temperatura 20°C para la incubación. El cálculo del porcentaje de inhibición (*PH*) se describe como:

$$PH = \frac{DCC - DCT}{DCC} \times 100 \quad (1)$$

donde *DCC* corresponde al diámetro de la colonia control, *DCT* diámetro de la colonia tratada (Nguyen *et al.*, 2009; Álvarez *et al.*, 2016). Los valores porcentuales se transformaron con la relación *arcseno*( $\sqrt{PH/100}$ ) y se evaluaron mediante análisis de varianza con prueba de comparación de medias de Tukey ( $P=0,05$ ).

Para el cálculo de la concentración efectiva cincuenta ( $CE_{50}$ ), se utilizó un análisis de regresión lineal simple, tomando el porcentaje de inhibición *PH* como variable dependiente y los valores transformados con logaritmo natural de la concentración del aceite como variable independiente. Se calcularon los coeficientes de regresión, intercepción de la recta, coeficiente de determinación y el error estándar de la estimación, a partir del modelo se estimó la concentración que inhibe al 50%.

Finalmente, después de un periodo de evaluación de 192 h se definió la concentración mínima inhibitoria (*MCI*) la cual fue la proporción más baja de aceite esencial que inhibió el crecimiento visible del fitopatógeno.

**Análisis morfométrico *R. solani*.** Con el fin de evaluar las posibles modificaciones en la forma del micelio de *R. solani*, se usó el valor  $CE_{50}$  determinado previamente para enmendar el medio de cultivo en comparación a un testigo sin aceite esencial. Los medios con el fitopatógeno se incubaron durante 192 h (20°C). Al cabo de este periodo, se montaron láminas de observación con azul de lactofenol como agente de tinción y seguimiento fotográfico al microscopio óptico (40X) para el registro.

Usando el programa informático ImageJ se estimó el contorno, diámetro y longitud de las hifas de *R. solani*. Con los puntos del contorno se realizó un análisis morfométrico con Series de Fourier Elípticas, tomando veinte mediciones por placa para generar el ajuste (Álvarez *et al.*, 2016), a partir de los coeficientes del análisis elíptico se desarrolló un análisis multivariado para comparar el efecto del aceite esencial mediante el índice de Shapiro Wilk's (Álvarez *et al.*, 2016; Medeiros *et al.*, 2016).

Todos los análisis estadísticos se desarrollaron con ayuda del programa informático Statgraphics Centurion XVI.

**Identificación de la fracción activa del aceite.** Para el fraccionamiento del aceite esencial se utilizó la metodología de cromatografía en capa fina reportada por Moreira *et al.* (2011), con modificaciones propuestas para esta investigación. Se aplicó 0,75  $\mu$ L de aceite esencial de *L. origanoides* en una placa preparativa [2,5  $\times$  6 cm, con fase estacionaria sílica-gel (60G F254)], para su separación se utilizaron los solventes Tolueno:Acetato de etilo, en una relación 9:1 (v/v) como fase móvil. Se usó paralelamente a la inyección del aceite los estándares comerciales timol y carvacrol de la marca Sigma-Aldrich.

Las fracciones fueron identificadas mediante constantes *Rf* (*Ratio of front*), que expresan la posición de cada compuesto sobre la placa cromatográfica como la fracción decimal, a través de la ecuación:

$$Rf = \frac{L1}{L2} \quad (2)$$

donde *L1* es la distancia recorrida por la muestra desde el punto de aplicación hasta el frente del solvente y *L2* la distancia del frente del solvente (Nguyen *et al.*, 2009).

La fracción activa del aceite esencial se determinó mediante bioautografía, para ello se usó el sistema cromatográfico descrito anteriormente, el cual fue secado por 10 min para completar la eliminación de los solventes. Seguidamente se dispuso la placa en la caja Petri y se cubrió con una capa fina de medio de cultivo para lo cual se empleó un *spray* de vidrio diseñado para esta investigación (Nguyen *et al.*, 2009; Plodpai *et al.*, 2013).

Para la inoculación de *R. solani* se ubicaron discos de agar de 1,1 cm de diámetro dispuestos a 20 mm de la placa cromatográfica y se incubó a 20°C por un periodo de 144 h, el montaje se repitió 20 veces.

La región donde el patógeno no se desarrolló fue atribuida a la fracción activa del aceite esencial. Esta fracción fue aislada de la placa cromatográfica mediante raspado con espátula y lavado con diclorometano grado HPLC. La solución obtenida fue dispuesta en tubos Eppendorf sometidos a centrifugación 5.000 rpm, el sobrenadante se identificó mediante GC-MS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Perfil cromatográfico de aceite esencial

Los rendimientos de extracción de aceite esencial alcanzaron  $2,67 \pm 0,05\%$ . Se identificaron nueve compuestos con una proporción relativa superior a 1% los cuales representaron el 92,65% del aceite (Tab. 1). Estos compuestos hacen parte del grupo de los terpenos, los cuales son producto de la biosíntesis del metabolismo secundario de *L. origanoides*, sintetizados a partir de la ruta del ácido mevalónico en el citosol de la célula, o mediante la ruta del metileritritol fosfato en los cloroplastos para dar origen a la unión de isopreno (compuestos 5 átomos de carbono) (Dewick, 2002).

El compuesto mayoritario del aceite esencial fue timol en 60,7%, además se destacaron por su relativa abundancia p-cimeno,  $\gamma$ -terpineno y mirceno (Tab. 1). Con referencia a las proporciones encontradas, fue posible clasificar la muestra de orégano silvestre procedente de la zona del Alto Patía, identificada con el código TEA-001 (N°45202), como quimiotipo timol entre las tres clasificaciones reportadas para *L. origanoides* (Stashenko *et al.*, 2010; Vicuña *et al.*, 2010).

**Tabla 1. Compuestos mayoritarios identificados en el aceite esencial de *L. origanoides* por GC-MS.**

No.	IR	Identificación	Cantidad relativa (%)
1	990	Mirceno	5,70
2	1.015	$\alpha$ -Terpineno	2,12
3	1.024	$\rho$ -Cimeno	8,85
4	1.028	Limoneno	1,13
5	1.058	$\gamma$ -Terpineno	6,30
6	1.304	Timol	60,7
7	1.308	Carvacrol	0,15
8	1.424	$\beta$ -Cariofileno	5,13
9	1.458	$\alpha$ -Humuleno	2,70

IR: índice de retención de Kovats en columna DB-5 (J&W).

El timol se referencia en distintos estudios como parte mayoritaria del aceite esencial de orégano silvestre en proporciones que varían entre 29,6 y 66%, atribuidas a las condiciones climáticas, altitud, época de cosecha, estado de crecimiento de la planta, así como el método y las condiciones de extracción del aceite esencial (Vicuña *et al.*, 2010; Arango *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2013; Ospina *et al.*, 2016).

Además, la proporción de timol encontrada se referencia como una de las mayores a nivel experimental, solamente superada por el ecotipo COL519799 colectado por Ramírez *et al.* (2009) en Bucaramanga (Santander, Colombia) con un porcentaje relativo del 66%. Por tanto, se demuestra con los registros el potencial del orégano silvestre para la obtención de timol como compuesto secundario a nivel industrial, más aún cuando este arbusto es endémico de la ecoregión del Alto Patía.

### Actividad biocida del aceite esencial

Se presentó sensibilidad de *R. solani* frente al aceite esencial de orégano silvestre a nivel *in vitro*; demostrado por el comportamiento en el porcentaje de inhibición (PH) del fitopatógeno y la diferencia estadística estimada (Tab. 2).

**Tabla 2. Porcentaje de inhibición (PH) de *R. solani* frente al aceite esencial de *L. origanoides* a nivel *in vitro*.**

Ensayo	Concentración ( $\mu\text{L mL}^{-1}$ )	Porcentaje de inhibición de <i>R. solani</i> (%)
Ensayo 1	10	3,40 a
	100	82,8 e
	1.000	100 f
	10.000	100 f
	100.000	100 f
Ensayo 2	80	24,16 b
	85	49,30 c
	90	51,32 cd
	95	59,57 d
	100	81,00 e
Ensayo 3	100	82,50 e
	110	100 f
	120	100 f
	130	100 f
	140	100 f

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

El resultado de los ensayos permitió calcular el modelo de regresión  $y = 453,37x - 830,63$  con coeficiente de determinación  $R^2 = 0,976$  estableciendo la concentración  $CE_{50}$  en  $88,94 \mu\text{L mL}^{-1}$ . Por otro lado, al finalizar las 192 h el tercer ensayo se determinó que la concentración de aceite esencial  $110 \mu\text{L mL}^{-1}$  fue causante de

la inhibición de *R. solani* y por tanto se reporta como la concentración mínima inhibitoria (MCI).

Otros aceites esenciales también han sido evaluados sobre *R. Solani* sin encontrar los niveles de inhibición obtenidos con aceite de orégano silvestre. Por ejemplo, Khaledi *et al.* (2015) encontraron MCI de 850  $\mu\text{L mL}^{-1}$  con aceite de *Mentha piperita* L. y 1.200  $\mu\text{L mL}^{-1}$  con aceite *Bunium persicum* B.Fedtsch. Igualmente, Seema y Devaki (2010) determinan MCI de 1.000  $\mu\text{L mL}^{-1}$  con el aceite de *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry.

Además, *L. origanoides* tiene reportes biocidas sobre microorganismos de interés agronómico como *P. infestans* (Arango *et al.*, 2014; Álvarez *et al.*, 2016), *A. solani* (Álvarez *et al.*, 2016), *B. cinerea* (Taborda *et al.*, 2015), *Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh. (Bittara *et al.*, 2009), *Fusarium oxysporum* Schldt. (Tangarife *et al.*, 2012) y *Bipolaris maydis* (Y. Nisik. & C. Miyake) Shoemaker (Rodríguez y Sanabria, 2005), quienes reportan altos niveles de inhibición micelial en pruebas *in vitro* con reducción en la incidencia y severidad de la enfermedad *in vivo*. También estos autores coinciden en indicar la presencia de compuestos fenólicos y terpenos en los extractos etanólicos del aceite esencial de *L. origanoides* explicando la alta actividad biocida sobre los organismos probados.

### Análisis morfométrico de *R. solani*

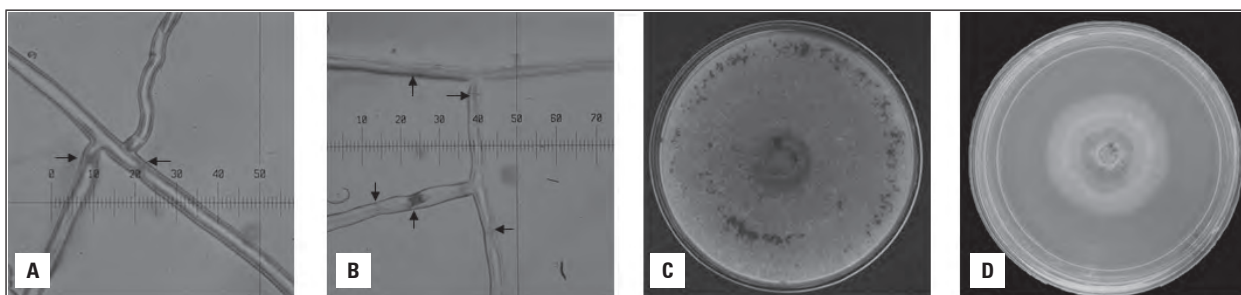
Se observaron cambios degenerativos en las hifas sometidas a la acción biocida del aceite de *L. origanoides* en comparación con el control, a lo cual Marei *et al.* (2012) indican que las características lipofílicas por contacto de los aceites esenciales le permiten entrar al citoplasma de los microorganismos y causar alteraciones morfológicas.

Se encontraron diferencia significativa ( $P \leq 0,05$ ) en el diámetro de estructuras hifales entre los tratamientos. Se registraron diámetros de 3,12  $\mu\text{m}$  en las hifas sometidas al aceite y 4,30  $\mu\text{m}$  en el testigo. Por el contrario, la longitud del cuerpo del hongo (hifa) para los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas ( $P=0,36$ ), aun cuando la longitud de la hifa de *R. solani* sometida al aceite esencial presentó entre 4,47 y 5,50  $\mu\text{m}$  respecto al control que alcanzó 5,79  $\mu\text{m}$ .

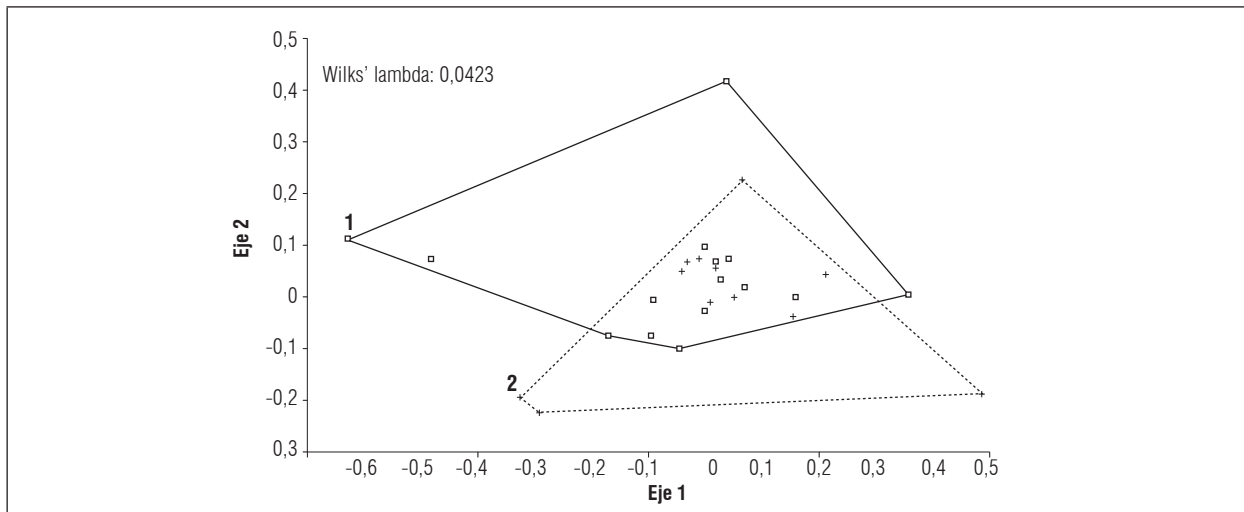
Se destaca a nivel microscópico que las hifas del hongo en el medio control presentaron un menor número de septos (Fig. 1A), contrario a lo observado en el tratamiento suplementado con aceite esencial en el cual se registraron hasta tres veces más divisiones de la estructura (Fig. 1B). No fue posible establecer en otra investigación un comportamiento similar en la morfología de *R. solani*, sin embargo, teniendo en cuenta la sensibilidad que mostró el microorganismo se sospecha que esto se deba a una respuesta de defensa.

Para el análisis de contorno, el índice de Shapiro Wilk's mostró diferencias altamente significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre los tratamientos, con ello se puede concluir que el aceite reduce el área y vigor del cuerpo del microorganismo. Resultados similares fueron reportados por Nguyen *et al.* (2009), Amini *et al.* (2012) y Plodpai *et al.* (2013) al exponer *R. solani* a diferentes concentraciones de aceites esenciales, presentando cambios morfológicos en las hifas de este microorganismo, además de ruptura de la membrana plasmática y destrucción mitocondrial.

Los resultados encontrados en la afección sobre la morfología del fitopatógeno fue irreversible, a diferencia de los reportes de Nguyen *et al.* (2009), quienes indican que bajas concentraciones de productos botánicos evaluados pueden causar efectos reversibles sobre el microorganismo.



**Figura 1.** Diferencias macroscópica y microscópica de *R. solani* a las 192 h de crecimiento, medio de cultivo PDA suplementado con aceite esencial de *L. origanoides*. A y C = tratamiento control; B y D = concentración CE<sub>50</sub> (88,94  $\mu\text{L mL}^{-1}$ ).



**Figura 2.** Análisis morfométrico del contorno de las hifas de *R. solani* sometidas al aceite esencial de *L. origanoides*. Tratamiento control (1) y tratamiento con aceite (2).

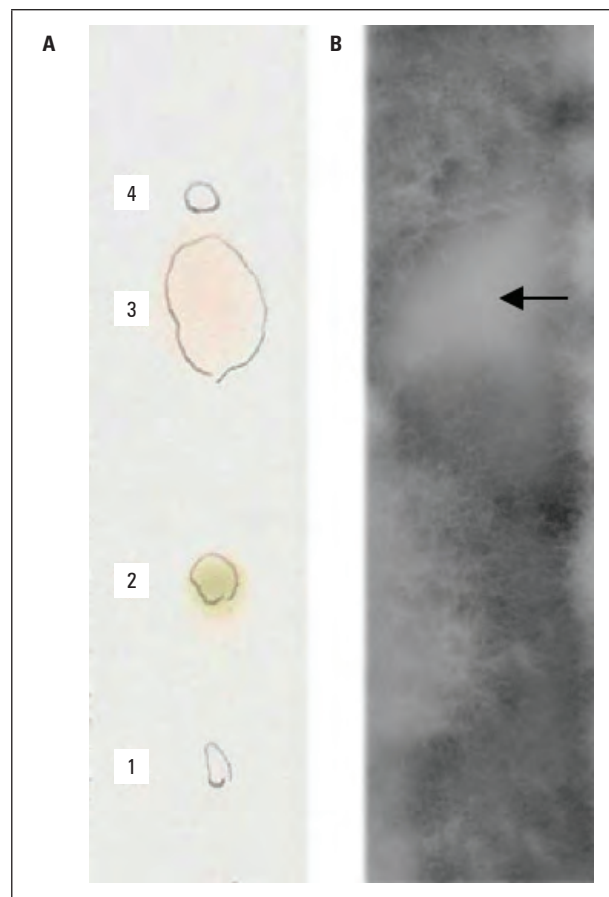
A nivel macroscópico la inhibición en el crecimiento de *R. solani*, también presentó reducción en el volumen micelial y ausencia de esclerocios respecto al control (Fig. 1C). Se ha sugerido que los aceites esenciales interfieren especialmente sobre la producción enzimática de los microorganismos, afectando los procesos constitutivos y metabólicos. Para el caso de *R. solani*, Abd-El-Khair y El-Gamal (2011) proponen que la capacidad de colonización y reproducción del fitopatógeno se ve afectada por la disminución de celulasas y pectinasas.

### Fracción activa del aceite esencial de *L. origanoides*

La separación del aceite esencial de *L. origanoides* en los folios cromatográficos permitió la visualización de cuatro fracciones identificables mediante luz ultravioleta ( $\lambda = 254 \text{ nm}$ ) con valores de relación de frentes  $R_f$  para la fracción 1 de 0,14; fracción 2 de 0,33; fracción 3 de 0,60 y fracción 4 de 0,74 (Fig. 3A).

Después de inocular el microorganismo sobre la placa cromatográfica se evidenció la restricción del desarrollo en la tercera fracción ( $R_f=0,60$ ), lo cual se le atribuye a la acción biocida mediante esta técnica (Fig. 3B). Una vez determinado esto, se procedió a identificar la fracción a través de GC-MS y la comparación del recorrido con el patrón químico, dando como resultado que el compuesto detectado fue timol.

El mecanismo de acción del timol en la actualidad no se encuentra dilucidado totalmente, sin embargo



**Figura 3.** Fracción activa del aceite esencial de *L. origanoides*. (A) fraccionamiento del aceite esencial mediante Cromatografía en Capa Fina, (B) fracción activa para *R. solani*.

autores como Marei *et al.* (2012) y Souza *et al.* (2013) han indicado que este afecta el intercambio de compuestos en la membrana citoplasmática de los microorganismos, lo cual interfiere en procesos de transducción de señales que afectan la función de algunas proteínas a nivel sistémico. Los resultados encontrados por los anteriores autores también indican que el timol causa cambios en la estructura y adhesión celular, plasticidad del cuerpo y modificación del pH que originó un cambio en el contenido iónico de la estructura.

Los daños ocasionados del timol a estos microorganismos está dirigido al citoplasma provocando cambios en la organización general y pérdida de la integridad del sistema estructural (membranas), lo que contribuye a la muerte de los blancos biológicos (Hoyos *et al.*, 2012), como se evidenció en esta investigación.

Con la información obtenida es posible proyectar el desarrollo de un bioinsumo que pueda integrarse en los planes de manejo fitosanitario del cultivo de papa, otorgando una nueva estrategia que reduzca el uso de pesticidas sintéticos en la agricultura.

## CONCLUSIONES

El aceite esencial de *Lippia origanoides* en condiciones *in vitro* presentó actividad biocida sobre *Rhizoctonia solani*, la concentración 110  $\mu\text{L}\cdot\text{mL}^{-1}$  causó la inhibición en el desarrollo del fitopatógeno evidenciando el potencial como agente antifúngico natural.

La técnica de bioautografía permitió determinar que el timol, componente mayoritario del aceite esencial de *L. origanoides* (60,7%) confiere las características biocidas.

El análisis morfométrico determinó que existen alteraciones en la estructura micelial de *R. solani* a causa del aceite esencial de *L. origanoides* disminuyendo el diámetro micelial y el área de contorno.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloque en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-El-Khair, H. y N. El-Gamal. 2011. Effects of aqueous extracts of some plant species against *Fusarium solani* and *Rhizoctonia solani* in *Phaseolus vulgaris* plants. Arch. Phytopathol. Plant Prot. 44(1), 1-16. Doi: 10.1080/03235400802678436
- Álvarez, D., A. Hurtado y J. Acosta. 2016. Aceite esencial de *Lippia origanoides* como posible producto biorracional en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). Vitae 23(1), 526-530.
- Amini, M., N. Safaie, M. Salmano y M. Shams. 2012. Antifungal activity of three medicinal plant essential oils against some phytopathogenic fungi. Trakia J. Sci. 10(1), 1-8.
- Arango, O., F. Bolaños, O. Villota, A. Hurtado y I. Toro. 2012. Optimization of yield and thymol content of wild oregano essential oil obtained by steam distillation process. Biotechnol. Sect. Agropecu. Agroind. 10(2), 217-226.
- Arango, O., A. Hurtado, D. Pantoja y L. Santacruz. 2014. Actividad inhibitoria del aceite esencial de *Lippia origanoides* H.B.K sobre el crecimiento de *Phytophthora infestans*. Acta Agron. 64(2), 116-124. Doi: 10.15446/acag.v64n2.42964
- Barbosa, F., L. Barbosa, E. Melo, F. Botelho y R. Santos. 2006. Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor e a composição química do óleo essencial de *Lippia alba* (Mill) N. E. Brown. Química Nova 29(6), 1221-1225. Doi: 10.1590/S0100-40422006000600014
- Bittara, F., D. Rodríguez, M. Sanabria, J. Monroy y J. Rodríguez. 2009. Evaluación de fungicidas y productos vegetales en el combate de la sarna polvorienta de la papa. Interciencia 34(4), 265-269.
- Dewick, P. 2002. The biosynthesis of C5-C25 terpenoid compounds. Natural Prod. Rep. 19(1), 181-222. Doi: 10.1039/b002685i
- Hoyos, J., E. Alves, L. Rozwalka, E. Souza y W. Zeviani. 2012. Antifungal activity and ultrastructural alterations in *Pseudocercospora griseola* treated with essential oils. Ciênc. Agrotecnol. 36(3), 270-284. Doi: 10.1590/S1413-70542012000300002
- Kankam, F., H. Qiu, L. Pu, H. Long, C. Zhang, J. He y H. Zhang. 2016. Isolation, purification and characterization of phytotoxins Produced by *Rhizoctonia solani* AG-3, the cause agent of potato stem canker. Am. J. Potato Res. 93(4), 321-330. Doi: 10.1007/s12230-016-9506-8
- Khaledi, N., P. Taheri y S. Tarighi. 2015. Antifungal activity of various essential oils against *Rhizoctonia solani* and *Macrophomina phaseolina* as major bean pathogens. J. Appl. Microbiol. 118(3), 704-717. Doi: 10.1111/jam.12730

- Marei, G., M. Abdel y S. Abdelgaleil. 2012. Comparative antifungal activities and biochemical effects of monoterpenes on plant pathogenic fungi. *Pestic. Biochem. Physiol.* 103(1), 56-61. Doi: 10.1016/j.pestbp.2012.03.004
- Medeiros, F., F. Gouveia, H. Bizzo, R. Vieira y C. Del Mezzi. 2016. Fungicidal activity of essential oils from Brazilian Cerrado species against wood decay fungi. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 114(2016), 87-93. Doi: 10.1016/j.ibiod.2016.06.003
- Medeiros, H., I. de Lima, K. Nunes, L. Osorio, R. de Almeida, B. dos Santos, H. Melo, A. Lira, M. Freire, A. Lopes y J. Dantas. 2014. Effect of *Lippia origanoides* H.B.K. essential oil in the resistance to aminoglycosides in methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. *Eur. J. Integr. Med.* 6(5), 560-564. Doi: 10.1016/j.eujim.2014.03.011
- Moreira, M., G. Newandram, O. Dev, C. Manrangon, R. Coura y V. Moreira. 2011. Composition, antifungal activity and main fungitoxic components of the essential oil of *Mentha piperita* L. *J. Food Saf.* 32(1), 29-36. Doi: 10.1111/j.1745-4565.2011.00341.x
- Nguyen, V., D. Nguyen, D. Seo, R. Park y W. Jung. 2009. Antimycotic activities of Cinnamon-derived compounds against *Rhizoctonia solani* *in vitro*. *BioControl* 54(5), 697-707. Doi: 10.1007/s10526-009-9220-2
- Ospina, J., C. Grande, J. Menjivar y M. Sanchez. 2016. Relación entre índice de refracción y la concentración de Timol en aceites esenciales de *Lippia origanoides* Kunth. *Chil. J. Agric. Anim. Sci. ex Agro-Ciencia* 32(2), 127-133.
- Plodpai, P., S. Chuenchitt, V. Petcharat, S. Chakthong y S. Voravuthikunchai. 2013. Anti-*Rhizoctonia solani* activity by *Desmos chinensis* extracts and its mechanism of action. *Crop Prot.* 43(1), 65-71. Doi: 10.1016/j.cropro.2012.09.004
- Ramírez, L., J. Isaza, L. Veloza, E. Stashenko y D. Marín. 2009. Actividad antibacteriana de aceites esenciales de *Lippia origanoides* de diferentes orígenes de Colombia. *Ciencia* 17(4), 313-321.
- Rodríguez, D. y M. Sanabria. 2005. Efecto del extracto de tres plantas silvestres sobre la *Rhizoctoniasis*, la mancha sureña del maíz y los patógenos que las causan. *Inter ciencia* 30(12), 739-744.
- Seema, M. y N. Devaki. 2010. Effect of some essential oils on *Rhizoctonia solani* Kuhn infecting flue-cured virginia tobacco. *J. Biopestic.* 3(3), 563-566.
- Souza, E., C. Oliveira, T. Stamford, M. Conceição y N. Gomes. 2013. Influence of carvacrol and thymol on the physiological attributes, enterotoxin production and surface characteristics of *Staphylococcus aureus* strains isolated from foods. *Braz. J. Microbiol.* 44(1), 29-35. Doi: 10.1590/S1517-83822013005000001
- Stashenko, E., J. Martínez, C. Ruíz, G. Arias, C. Durán, W. Salgar y M. Cala. 2010. *Lippia origanoides* chemotype differentiation based on essential oil GC-MS and principal component analysis. *J. Sep. Sci.* 33(1), 93-103. Doi: 10.1002/jssc.200900452
- Taborda, L., M. Sánchez, R. Bonilla y C. Huertas. 2015. Efecto fungistático de extractos y aceites esenciales de *Lippia origanoides* HBK y *Thymus vulgaris* L. como alternativas de manejo de *Botrytis cinerea* en fresa. *Acta Agron.* 64(1), 93-99. Doi: 10.15446/acag.v64n1.35773
- Tangarife, V., V. Roa, L. Betancur, D. Durán, E. Stashenko y A. Mesa. 2012. Antifungal activity of Verbenaceae and Labiatae families essential oils. *Pharmacology online* 1(1), 43-55.
- Vicuña, G., E. Stashenko y J. Fuentes. 2010. Chemical composition of the *Lippia origanoides* essential oils and their antigenotoxicity against bleomycin-induced DNA damage. *Fitoterapia* 81(5), 343-349. Doi: 10.1016/j.fitote.2009.10.008
- Villa, A., R. Pérez, H. Morales, M. Basurto, J. Soto y E. Martínez. 2015. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agron.* 64(2), 194-205. Doi: 10.15446/acag.v64n2.43358

## NOTA CIENTÍFICA

# Germinación y emergencia de lechuga a temperaturas elevadas

## Germination and emergence of lettuce at elevated temperatures



HOZANO DE SOUZA LEMOS NETO<sup>1, 2\*</sup>  
MARCELO DE ALMEIDA GUIMARÃES<sup>1</sup>  
BRUNO DO NASCIMENTO SILVA<sup>1</sup>  
CARIS DOS SANTOS VIANA<sup>1</sup>  
SEBASTIÃO MEDEIROS FILHO<sup>1</sup>

**Plántulas de lechuga en vivero.**

Foto: H.S. Lemos Neto

### RESUMEN

La germinación de lechuga presenta alta sensibilidad a condiciones ambientales, principalmente a temperaturas elevadas. Con el objetivo de evaluar el rendimiento germinativo y la emergencia de siete cultivares de lechuga a temperaturas elevadas, se evaluaron en cámara de crecimiento y vivero. En cámara de crecimiento se utilizó un diseño completo al azar con arreglo factorial 7×6 entre cultivares (Red Salad Bowl, Salad Bowl Green, Marianne, Elba, Mimosa Green Salad Bowl, Crespa Lollo Bionda y Crespa para Verão) y temperatura diurna (15, 20, 25, 30, 35 y 40°C) con cuatro repeticiones. La evaluación en vivero de los cultivares empleó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones de 50 semillas. Los cultivares Red Salad Bowl, Salad Bowl Green y Crespa Lollo Bionda presentaron los mayores valores de germinación y emergencia en ambos experimentos, alcanzando 81% de la germinación en las temperaturas 25, 30 y 35°C. 'Red Salad Bowl' y 'Salad Bowl Green' alcanzaron emergencia de 70% y 'Crespa Lollo Bionda' superior al 50% mientras que los demás cultivares estuvieron por debajo de 22%. 'Red Salad Bowl', 'Salad Bowl Green' y 'Crespa Lollo Bionda' presentan elevada germinación y emergencia en temperaturas altas.

**Palabras clave adicionales:** *Lactuca sativa* L.; selección de cultivares; clima tropical; termo-inhibición.

<sup>1</sup> Universidad Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Fortaleza (Brasil). ORCID Lemos Neto, H.S.: 0000-0002-3446-380X; ORCID Guimarães, M.A.: 0000-0002-5329-022X; ORCID Silva, B.N.: 0000-0001-7847-7165; ORCID Viana, C.S.: 0000-0001-7860-9965; ORCID Medeiros Filho, S.: 0000-0002-6783-059X

<sup>2</sup> Autor para correspondencia. hozanoneto@hotmail.com

\* Este trabajo hace parte de la disertación del primer autor.



## ABSTRACT

Lettuce seeds have high sensitivity to the environmental conditions in which they are germinated, especially at elevated temperatures. The aim of this study was to evaluate the germination performance and emergence of seven lettuce cultivars at a high temperature, these were evaluated in growth chamber and nursery. In growth chamber was conducted in a completely randomized design (CRD) with a full  $7 \times 6$  factorial (cultivars: Red Salad Bowl, Salad Bowl Green, Marianne, Elba, Mimosa Green Salad Bowl, Crespa Lollo Bionda and Crespa para Verão; daytime temperature: 15, 20, 25, 30, 35 and 40°C) with four replicates. In nursery was also conducted in a CRD with four replicates of 50 seeds each. In both experiments, the cultivars Red Salad Bowl, Salad Bowl Green and Crespa Lollo Bionda presented the higher levels of germination and emergence. For germination, these cultivars showed results greater than 81% at temperatures of 25, 30 and 35°C. For emergence, Red Salad Bowl and Salad Bowl Green had an average of 70%, and Crespa Lollo Bionda had 50%, higher than the other cultivars, which had values below 22%. 'Red Salad Bowl', 'Green Salad Bowl' and 'Crespa Lollo Bionda' had high germination and emergence of seeds at high temperatures.

**Additional key words:** *Lactuca sativa* L.; cultivar selection; tropical climate; thermoinhibition.

Fecha de recepción: 08-02-2018 Aprobado para publicación: 30-11-2018

## INTRODUCCIÓN

La lechuga se encuentra dentro de las hortalizas más importantes cultivadas a nivel mundial. En regiones tropicales, su cultivo se realiza durante todo el año. A pesar de eso, una de las grandes dificultades encontradas en el cultivo de esta hortaliza, tiene que ver con la germinación de semillas, que son sensibles a condiciones ambientales, principalmente la temperatura y humedad (Nascimento y Pereira, 2007). La germinación en temperaturas elevadas dificulta el establecimiento de plántulas, retrasa la producción, aumenta la exposición a condiciones adversas, reduce la productividad, y en consecuencia, perjuicio al productor (Bufalo *et al.*, 2012; Nascimento *et al.*, 2012).

La temperatura óptima para la germinación de semillas de lechuga es 20°C (MAPA, 2009). Temperaturas superior a 30°C no presentan germinación en la mayoría de cultivares o el proceso germinativo es retardado (Nascimento y Pereira, 2007), muy común en condiciones tropicales. Por lo tanto, dependiendo del lugar y la época de siembra, la germinación puede ser errática o nula, comprometiendo el *stand* de plántulas al momento de la siembra (Nascimento y Pereira, 2007).

El adormecimiento secundario es el evento en el cual el embrión en estado viable de germinación, ante su exposición a algún factor edafoclimático adverso entra en estado durmiente, siendo la temperatura uno de los factores que ejerce mayor influencia.

Según Nascimento y Pereira (2007), la dormancia de semillas de lechuga está asociada al genotipo, desencadenado tardía o prematuramente según el cultivar. De esta forma, estudios que identifiquen cultivares con germinación homogénea a temperatura elevada, es la alternativa para el cultivo de lechuga en regiones cálidas.

Cuando las semillas son sometidas a temperatura elevada durante la imbibición, desencadena internamente procesos fisiológicos conocidos como termoinhibición y termodormancia (Nascimento *et al.*, 2012). En el primer caso, sólo es una inhibición temporal, y una vez que la temperatura vuelve a ser favorable, la germinación ocurrirá. En el segundo caso se presenta la inhibición completa, en el momento que la temperatura vuelve a ser favorable no sucederá la germinación. Posiblemente ocasionado al endurecimiento del endosperma que restringe la protrusión de la radícula (Kozarewa *et al.*, 2006; Nascimento *et al.*, 2012).

En regiones tropicales cálidas, se presentan temperaturas elevadas durante todo el año, además de los bajos porcentajes de germinación que presenta la lechuga, también se reduce la velocidad. De esta forma, se hace necesario la búsqueda de cultivares tolerantes a temperaturas altas evitando la dependencia de zonas productoras que pueden ocasionar sobre costo o restringir su disponibilidad. Basado en lo expuesto, el objetivo del trabajo fue evaluar el desempeño



germinativo y la emergencia de siete cultivares de lechuga en condiciones de temperatura elevada.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron experimentos en cámaras de germinación en el Laboratorio de Análisis de Semillas (LAS) para junio de 2014 y en vivero para julio de este año, ambos lugares del Departamento de Fitotecnia del Centro de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Ceará (Campus Prisco Bezerra-Pici, Fortaleza-CE). Coordenadas geográficas 3°44' S, 38°33' W a 14 msnm.

La clasificación climática Aw "tropical lluvioso" según Köppen. La precipitación media anual 1.338 mm, humedad relativa 80%, temperaturas medias mínimas y máximas 23 y 30°C, respectivamente, y media anual 27°C.

Se utilizaron los cultivares de lechuga crespa hoja suelta: Red Salad Bowl (Sakama); Salad Bowl Green (Sakama); Marianne (Horticeres); Elba (Top Seed Garden); Mimosa Green Salad Bowl (Feltrin); Cresta Lollo Bionda (Sakama) y Crespa para Verano (Top Seed Garden). Estos cultivares son populares en el mercado brasileño por la resistencia a plagas, enfermedades y manejo poscosecha, además de su cultivo en condiciones tropicales con elevada temperatura.

El diseño experimental en cámara de crecimiento fue un diseño completamente azar con arreglo factorial 7×6 con cuatro repeticiones de 50 semillas. El primer factor correspondió a los siete cultivares de lechuga descritos anteriormente. El segundo factor las temperaturas diurnas 15, 20, 25, 30, 35 y 40°C para un total de 42 tratamientos.

El establecimiento de la temperatura óptima para germinación fue 20°C (MAPA, 2009) a partir de esta, se establecieron rangos de temperaturas con el propósito de encontrar cultivares que germinaran a temperatura elevada. Se evaluaron las siguientes variables:

**Germinación (G).** Las semillas fueron distribuidas uniformemente sobre dos hojas de papel filtro, humedecidas con agua destilada, en proporción 2,5 veces la masa del papel seco dentro de cajas Petri 8×1,5 cm. Se empleó un régimen alterno de luz y oscuridad de 12 h y temperatura constante de 25°C. Las temperaturas diurnas de evaluación correspondieron a 15, 20, 25, 30, 35 y 40°C utilizando cámaras de germinación tipo

*biochemical oxygen demand* (BOD) durante 7 d (MAPA, 2009). La presencia de raíz primaria se consideró como germinadas (Oliveira y Gomes Filho, 2009).

**Primer conteo de germinación (PCG).** Al cuarto día se determinó el porcentaje promedio de germinación (MAPA, 2009) con el criterio de raíz primaria (Oliveira y Gomes Filho, 2009).

**Índice de velocidad de germinación (IVG).** Diariamente y la misma hora se contabilizó el número de semillas que presentaron raíz primaria mayor de 2 mm. Los cálculos siguieron la metodología descrita por Maguire (1962).

En vivero se empleó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones de 50 semillas. Los cultivares fueron sembrados en bandejas de polietileno expandido con 200 celdas; el cubrimiento de la polisombra fue del 30% y el riego dos veces al día por microaspersión. La temperatura máxima y mínima al interior del vivero fueron 23 y 30°C. El sustrato contenía una proporción de abono orgánico y vermiculita 9:1 (v/v). Se empleó vermiculita estéril y abono orgánico con degradación aeróbica a alta temperatura. La composición nutricional del abono orgánico: 4,40 g kg<sup>-1</sup> de N; 983, 1400 y 22,00 mg dm<sup>-3</sup> de P, K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup>, respectivamente; 11,20; 10,80 y 23,42 cmolc dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y CIC, respectivamente; pH en H<sub>2</sub>O 7,40 y CE 1,0 dS m<sup>-1</sup>. Se evaluaron las siguientes variables:

**Emergencia (E).** A los 10 días después de la siembra (DAS), se contabilizaron las plántulas emergidas cuando se presentó uniformidad del *stand* del tratamiento.

**Índice de velocidad de emergencia (IVE).** Determinado como el número de plántulas emergidas cada día hasta el décimo día, siendo la metodología descrita por Maguire (1962).

Se realizó un análisis de varianza de los resultados, la prueba de comparación Scott-Knott para el factor cultivar del experimento en cámara de crecimiento y un análisis de regresión para temperaturas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el experimento de cámara de crecimiento presentó interacción entre factores, cultivar y temperatura ( $P < 0,01$ ), para las variables evaluadas (Tab. 1). Estos

resultados indican respuesta diferencial entre cultivares ante la temperatura evaluada.

Se destacan las interacciones significativas de los cultivares 'Red Salad Bowl' y 'Crespa Lollo Bionda' a temperaturas 25 y 30°C, además 'Salad Bowl Green' a 15; 20; 25 y 35°C en la variable PCG (Tab. 2).

Se observaron los valores más altos de germinación (G) en 'Red Salad Bowl' a 15, 20, 25, 30 y 35°C; en 'Salad Bowl Green' a 15, 20, 25, 35 y 40°C y en 'Crespa Lollo Bionda' a 25 y 30°C (Tab. 2). De igual manera, para el índice de velocidad de germinación (IVG) en 'Red Salad Bowl' a 15, 25 y 30°C y 'Salad Bowl Green' a 15, 20, 25 y 35°C con los mayores promedios.

**Tabla 1. Análisis de varianza del primer conteo de germinación (PCG), germinación (G) e índice de velocidad de germinación (IVG) para cultivares de lechuga sometidas a temperaturas elevadas.**

FV	GL	PCG (%)	G (%)	IVG
Cultivar (C)	6	2336,21**	934,76**	537,24**
Temperatura (T)	5	1650,03**	1474,95**	248,12**
(C * T)	30	156,07**	92,16**	30,63**
Residuo	126	-	-	-
CV (%)		7,54	8,22	18,24

FV: fuente de variación; GL: grado de libertad; CV: coeficiente de variación; \*\* significancia al 1%.

**Tabla 2. Primer conteo de germinación (PCG), germinación e índice de velocidad de germinación (IVG) para cultivares de lechuga sometidos a diferentes temperaturas.**

Cultivares	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
<b>Primer conteo de germinación (%)</b>						
Red Salad Bowl (C1)	92 b	95 b	95 a	91 a	87 b	1 b
Salad Bowl Green (C2)	99 a	98 a	92 a	81 b	94 a	7 a
Marianne (C3)	17 e	18 d	19 d	10 f	4 e	0 b
Elba (C4)	21 e	23 d	23 d	15 e	6 e	0 b
Mimosa Green Salad Bowl (C5)	62 c	71 c	62 b	41 d	14 d	0 b
Crespa Lollo Bionda (C6)	42 d	92 b	90 a	92 a	71 c	2 d
Crespa para Verano (C7)	12 f	21 d	52 c	54 c	0 f	0 b
<b>Germinación (%)</b>						
Red Salad Bowl (C1)	96 a	95 a	95 a	91 a	90 a	5 b
Salad Bowl Green (C2)	99 a	99 a	93 a	81 b	94 a	10 a
Marianne (C3)	38 d	42 e	43 c	15 f	9 e	2 b
Elba (C4)	46 c	44 e	40 c	25 e	19 d	0 b
Mimosa Green Salad Bowl (C5)	81 b	91 b	76 b	49 d	31 c	1 b
Crespa Lollo Bionda (C6)	44 c	77 c	92 a	93 a	85 b	2 b
Crespa para Verano (C7)	46 c	52 d	71 b	68 c	0 f	0 b
<b>Índice de velocidad de germinación (IVG)</b>						
Red Salad Bowl (C1)	29,7 a	42,9 b	42,5 a	40,8 a	39,5 b	0,5 a
Salad Bowl Green (C2)	27,5 a	47,9 a	44,5 a	35,3 b	43,5 a	1,6 a
Marianne (C3)	4,7 c	5,8 e	6,1 d	2,4 f	1,3 d	0,2 a
Elba (C4)	5,4 c	6,3 e	5,3 d	4,1 f	2,1 d	0,0 a
Mimosa Green Salad Bowl (C5)	14,2 b	16,7 d	15,9 c	8,2 e	3,8 d	0,2 a
Crespa Lollo Bionda (C6)	8,6 c	30,1 c	29,3 b	25,4 c	14,1 c	0,3 a
Crespa para Verano (C7)	4,5 c	5,7 e	13,1 c	14,7 d	0,0 d	0,0 a

Promedios con letras distintas en la misma columna, indican una diferencia significativa según la prueba Scott-Knott ( $P \leq 0,01$ ).

Además, es de gran importancia encontrar germinación de los cultivares Red Salad Bowl y Salad Bowl Green hasta los 35°C, así como 'Mimosa Green Salad Bowl' hasta 20°C, y 'Crespa Lollo Bionda' entre 25 y 35°C, que a su vez, alcanzaron porcentajes de PCG y G de 93, 93, 86 y 90%, respectivamente. Los anteriores resultados son superiores al estándar establecido por la norma de comercialización de semillas de lechuga del 80% (MAPA, 2009).

Los mejores valores del IVG los presentaron cultivares Red Salad Bowl y Salad Bowl Green entre las temperaturas 20 y 35°C y 'Crespa Lollo Bionda' entre 20 y 30° con promedios de 41,4; 42,8 y 28,3, respectivamente.

Todos los cultivares presentaron valores bajos en el PCG, G y IVG cuando la temperatura se encontró a 40°C y en 'Marianne', 'Elba', 'Mimosa Green Salad' y 'Crespa para Verano' se presentó la reducción a temperaturas de 30 y 35°C. Las condiciones de temperaturas elevadas superiores a 35°C se observó reducción y/o inhibición de la germinación en la mayoría de los cultivares (Bufalo *et al.*, 2012; Nascimento *et al.*, 2012; Catão *et al.*, 2014).

Según los reportes de Argyris *et al.* (2011) y Deng y Song (2012) que evaluaron semillas de lechuga en condiciones de temperatura elevada (27 a 33°C, 25 a 35°C, respectivamente), mencionan el desencadenamiento interno de la dormancia secundaria reflejado en el bajo porcentaje de germinación.

Para Nascimento y Pereira (2007), la dormancia de semillas de lechuga está asociada al genotipo, desencadenado tardía o prematuramente según el cultivar.

En la semilla, el embrión está totalmente envuelto por el endosperma constituido por capas de dos a cuatro células que puede retardar o impedir la germinación de las semillas, actuando así, como barrera física que impide la emisión de la radícula, especialmente en condiciones desfavorables como la temperatura alta (Kozarewa *et al.*, 2006; Nascimento *et al.*, 2012).

Cuando las semillas pierden el poder germinativo, es decir, no ocurre la protrusión de la radícula, se requiere el debilitamiento del endosperma que generalmente está constituido por enzimas tipo endo- $\beta$ -mananasa (Nascimento *et al.*, 2004).

Por lo general, los cultivares que presentan germinación satisfactoria en altas temperaturas presentan actividad alta de la endo- $\beta$ -mananasa y son considerados

termotolerantes (Nascimento *et al.*, 2004), pero la evaluación enzimática no fue determinada en este estudio.

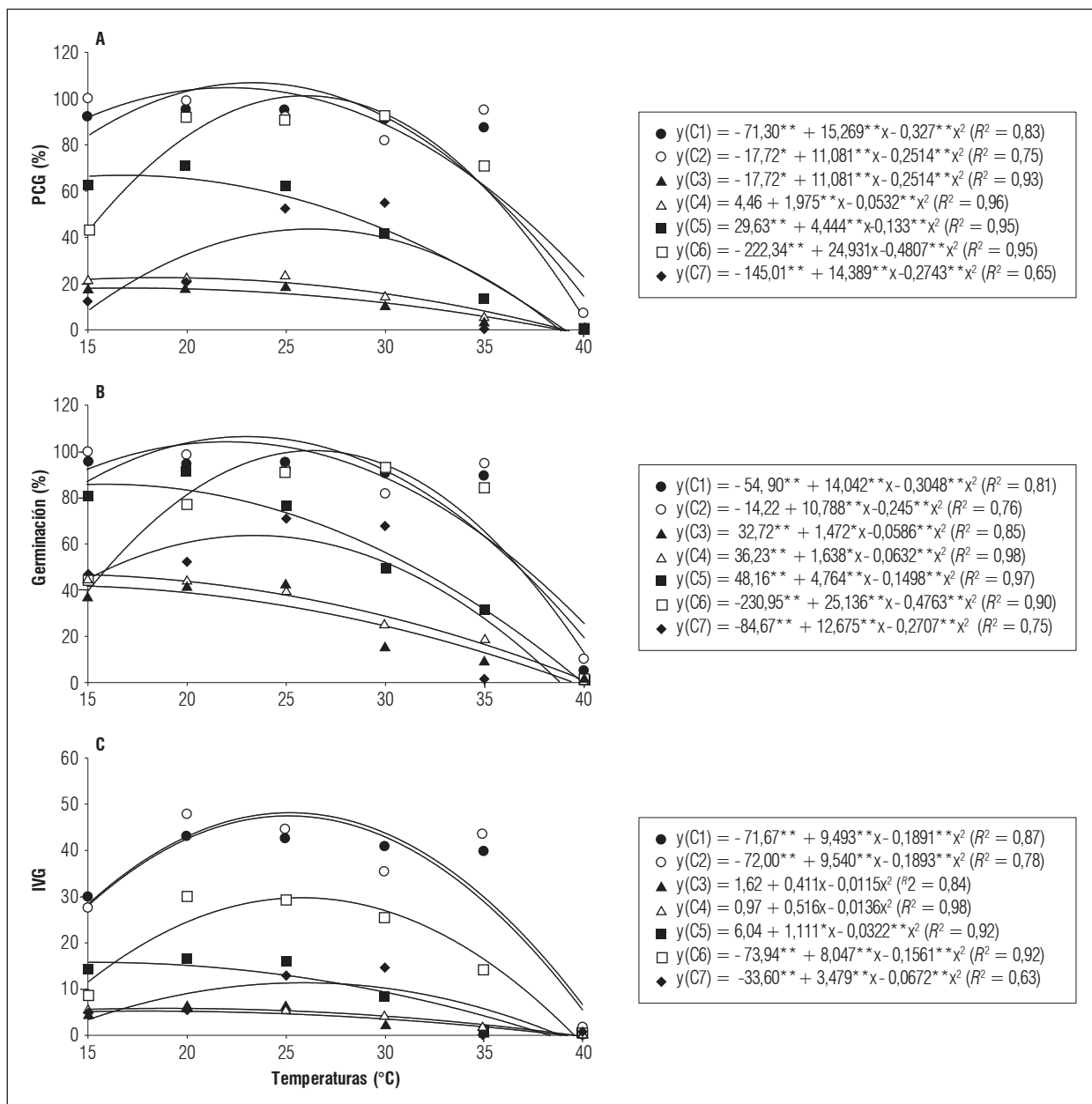
En este sentido, 'Red Salad Bowl', 'Salad Bowl Green' y 'Crespa Lollo Bionda' presentaron altos porcentajes de PCG, G y IVG a temperaturas superiores a 30°C, indicando capacidad adaptativa a condiciones de temperatura elevada, al menos en estadios iniciales de desarrollo de la plántula. De esta manera, para conocer la termotolerancia de las semillas evaluadas requiere ensayos en campo y determinación de la actividad endo- $\beta$ -mananasa.

Ante la capacidad adaptativa que llegaría a tener los cultivares Red Salad Bowl, Salad Bowl Green y Crespa Lollo Bionda en climas tropicales de temperatura elevada (baja altitud y latitud), permite aumentar la probabilidad de supervivencia en comparación a 'Elba' y 'Crespa para Verano' que presentaron limitados y estrechos rangos de temperatura para la germinación.

Con el fin de determinación la mayor temperatura posible con los mejores promedios de G y IVG de los cultivares, se ajustaron modelos de regresión polinomial cuadrática (Fig. 1). Los rangos de temperaturas para la germinación en 'Salad Green Bowl' y 'Red Salad Bowl' se determinaron entre 18,3-27,9 y 17,7-26,3°C, respectivamente, y 23,4°C en 'Crespa para Verano' (Fig. 1B), todos ellos con temperaturas de 25,2; 25,1 y 25,9°C, respectivamente, para el IVG (Fig. 1C). Para 'Mimosa Green Salad Bowl' y 'Crespa Lollo Bionda' se observaron temperaturas de germinación entre 26,4 y 31,8°C y del IVG de 17,3 y 25,7°C, respectivamente.

Con excepción a los cultivares Crespa Lollo Bionda y Crespa para Verano que presentaron diferencias en las temperaturas óptimas para alcanzar el máximo IVG y G, los demás cultivares presentaron alto IVG a mayor temperatura como lo menciona MAPA (2009). De igual forma Nascimento *et al.* (2011), indican que las temperaturas bajas tienden a causar menores efectos sobre el porcentaje de germinación, sin embargo, son capaces de proporcionar un proceso de germinación más lento y desuniforme perjudicial en el establecimiento del cultivo.

La reducción acentuada de la G e IVG en temperaturas de 30 y 35°C, pueden relacionarse con la inactivación de las enzimas en el proceso germinativo, ocasionando adormecimiento de la semilla en los casos que depende del genotipo y del nivel de temperatura sometido.



**Figura 1. Germinación de semillas para cultivares de lechuga sometidas a diferentes temperaturas. A, primer conteo de germinación (PCG); B, germinación y C, índice de velocidad de germinación (IVG). C1, 'Red Salad Bowl'; C2, 'Salad Bowl Green'; C3, 'Marianne'; C4, 'Elba'; C5, 'Mimosa Green Salad Bowl'; C6, 'Crespa Lollo Bionda' y C7, 'Crespa para Verano'. \*\* y \* significancia a 1% y 5% por la prueba t de Student.**

En condiciones de vivero, los cultivares presentaron diferencias en el porcentaje de emergencia (E) e índice de velocidad de emergencia (IVE) de las plántulas (Tab. 3). 'Red Salad Bowl' y 'Salad Bowl Green' presentaron las mejores respuestas a la E e IVE. El cultivar Crespa Lollo Bionda también presentó altos resultados.

El rápido establecimiento del cultivo tiene una gran ventaja al productor, al evitar que las semillas no estén expuestas a factores edafoclimáticos adversos durante la emergencia. Este vigor trae otros beneficios en el manejo del cultivo en las etapas iniciales (Marcos-Filho y Kikuti, 2008), principalmente en la uniformidad y momentos de las prácticas culturales. Esto es

de gran importancia, ya que el potencial fisiológico presentado por 'Red Salad Bowl', 'Salad Bowl Green' y 'Crespa Lollo Bionda' permiten la producción de lechuga en lugares cálidos de baja altitud y latitud como en el trópico.

**Tabla 3. Emergencia (E) e índice de velocidad de emergencia (IVE) para cultivares de lechuga en condiciones de vivero en zona cálida.**

Cultivares	E (%)	IVE
Red Salad Bowl	71 a	44,89 a
Salad Bowl Green	69 a	48,07 a
Marianne	21 c	10,89 c
Elba	15 c	5,59 c
Mimosa Green Salad Bowl	19 c	7,16 c
Crespa Lollo Bionda	50 b	21,96 b
Crespa para Verão	1 d	0,66 c
F (Cultivar)	58,08**	52,61**
CV (%)	21,06	26,79

Promedios con letras distintas en la columna, indican una diferencia estadística significativa según la prueba de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). \*\* significancia 1%; CV: coeficiente de variación.

Se encontró germinación y emergencia de lechuga a temperaturas elevadas de 35°C, este hecho es importante para climas cálidos donde se registran dichos promedios en temperaturas altas. De esta forma, la selección del cultivar dependería de la temporada del año.

## CONCLUSIÓN

La temperatura tiene una marcada influencia diferencial sobre la germinación de cultivares de lechuga.

Los cultivares Red Salad Bowl y Salad Bowl Green presentaron los mejores niveles de germinación (> 80%) a temperaturas entre 15 y 35°C. La emergencia promedio en campo de 70%.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) y la Fundación Cearense de Apoyo al Desarrollo Científico y Tecnológico (FUNCAP) por la concesión de becas a los involucrados en el trabajo.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores,

quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloque en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argyris, J., M.J. Truco, O. Ochoa, L. Mchale, P. Dahal, A. Van Deynze, R.W. Michelmore y K.J.A. Bradford. 2011. A gene encoding an abscisic acid biosynthetic enzyme (LsNCED4) collocates with the high temperature germination locus Htg6.1 in lettuce (*Lactuca sp.*). *Theor. Appl. Genet.* 122(1), 95-108. Doi: 10.1007/s00122-010-1425-3
- Bufalo, J., A.C.E. Amaro, H.S. Araújo, J.M. Corsato, E.O. Ono, G. Ferreira y J.D. Rodrigues. 2012. Períodos de estratificación na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa L.*) sob diferentes condições de luz e temperatura. *Rev. Sem. Ciên. Agrar.* 33(3), 93-940. Doi: 10.5433/1679-0359.2012v33n3p931
- Catão, H.C.R.M., L.A.A. Gomes, H.O. Santos, R.M. Guimaraes, P.H.F. Fonseca y F. Caixeta. 2014. Aspectos fisiológicos e bioquímicos da germinação de sementes de alface em diferentes temperaturas. *Pesq. Agropec. Bras.* 49(4), 316-322. Doi: 10.1590/S0100-204X2014000400010
- Deng, Z. y S. Song. 2012. Sodium nitroprusside, ferricyanide, nitrite and nitrate decrease the thermo-dormancy of lettuce seed germination in a nitric oxide-dependent manner in light. *South Afr. J. Bot.* 78(1), 139-146. Doi: 10.1016/j.sajb.2011.06.009
- Kozarewa, I., D.J. Cantliffe, R.T. Nagata y P.J. Stoffella. 2006. High maturation temperature of lettuce seeds during development increased ethylene production and germination at elevated temperatures. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 131(4), 564-570. Doi: 10.21273/JASHS.131.4.564
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2(1), 176-177. Doi: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Brasil. 2009. Regras para análise de sementes. Brasília.
- Marcos-Filho, J. y J.A.D. Kikuti. 2008. Condicionamento fisiológico de sementes de couve-flor e desempenho das plantas em campo. *Rev. Hortc. Bras.* 26(1), 165-169. Doi: 10.1590/S0102-05362008000200007
- Nascimento, W.M., D.J. Cantliffe y D.J. Huber. 2004. Ethylene evolution and endo- $\beta$ -mannanase activity during lettuce seed germination at high temperature. *Sci. Agríc.* 61(2), 156-163. Doi: 10.1590/S0103-90162004000200006

- Nascimento, W.M. y R.S. Pereira. 2007. Testes para avaliação do potencial fisiológico de sementes de alface e sua relação com a germinação sob temperaturas adversas. *Rev. Bras. Sementes* 29(3), 175-179. Doi: 10.1590/S0101-31222007000300021
- Nascimento, W.M., D.C.F.S. Dias y P.P. Silva. 2011. Qualidade da semente e estabelecimento de plantas de hortaliças no campo. pp. 79-106. En: Nascimento, W.M. (ed.). *Hortaliças: tecnologia de produção de sementes*. Embrapa Hortaliças, Brasília.
- Nascimento, W.M., M.D. Croda y A.C.A. Lopes. 2012. Produção de sementes, qualidade fisiológica e identificação de genótipos de alface termotolerantes. *Rev. Bras. Sementes* 34(3), 510-517. Doi: 10.1590/S0101-31222012000300020
- Oliveira, A.B. y E. Gomes Filho. 2009. Germinação e vigor de sementes de sorgo forrageiro sob estresse hídrico e salino. *Rev. Bras. Sementes* 31(3), 48-56. Doi: 10.1590/S0101-31222009000300005

## POLÍTICA EDITORIAL

La *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* es el órgano oficial científico de la Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas (SCCH) (adscrita a la International Society for Horticultural Science, ISHS), de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y de la Facultad de Ciencias Agrarias y del Medio Ambiente de la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS), con frecuencia cuatrimestral en el territorio nacional. Constituye una publicación abierta a la discusión y difusión de trabajos técnico-científicos en el área de las ciencias agrícolas, con énfasis en horticultura (frutales, hortalizas, ornamentales, hierbas aromáticas y medicinales, viveros), propuestos por autores nacionales e internacionales. Busca divulgar trabajos inéditos desarrollados por investigadores de diversas universidades y centros de investigación del país, y difundir y someter a discusión los avances científicos que se producen, con el fin de contribuir a la consolidación de una comunidad académica congregada en torno a las disciplinas afines a la horticultura. La revista está dirigida a investigadores de las ciencias hortícolas, extensionistas y a todos aquellos profesionales afines que desarrollan la ciencia y aplican la tecnología para beneficio de la productividad del campo y de los productores hortícolas.

Los artículos originales e inéditos deben presentarse según las normas establecidas en las instrucciones para los autores. El Comité Editorial se reserva el derecho de aceptar o no las contribuciones que se hagan a la revista. Los manuscritos se enviarán a dos pares evaluadores expertos en el área específica del conocimiento, quienes decidirán si el artículo tiene el nivel científico necesario para publicarse. Si se llega a presentar alguna diferencia de conceptos en cuanto a la aprobación para publicación, el artículo será enviado a un tercer par, quien entregará la decisión final. Si el artículo se acepta para publicación, el autor debe realizar las correcciones sugeridas en el tiempo indicado por el editor.

Los artículos publicados en la revista serán enviados en medio magnético a las diferentes bases de datos y sistemas de indexación, para la divulgación de su contenido y se podrán consultar a través de internet. Después de la publicación, se enviará un archivo en pdf, sin costo adicional, al autor correspondiente.

Los editores de la *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* están comprometidos con la comunidad científica en garantizar la ética y calidad de los artículos publicados. La revista tiene como referencia el código de conducta y buenas prácticas editoriales para editores de revistas científicas que define el Comité de Ética de Publicaciones (COPE, Committee on Publication Ethics). Al mismo tiempo, garantiza una adecuada respuesta a las necesidades de los lectores y autores, asegurando la calidad de lo publicado, protegiendo y respetando el contenido de los artículos así como la integridad de los mismos. El Comité Editorial publicará las correcciones, aclaraciones, retracciones y disculpas cuando sea necesario.

El *copyright* de los artículos e ilustraciones publicados en la *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* llegan a ser propiedad de la revista. Los editores autorizan la reproducción y citación del contenido de la publicación, siempre y cuando se registre de forma explícita el nombre de la revista, nombre(s) del (de los) autor(es), año, título del artículo, volumen, número y página del artículo consultado. Se requiere el permiso de los editores para reproducir más que un resumen corto del texto o de reproducir figuras en otras publicaciones. Instrucciones para los autores.

## INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Los autores de los artículos a someter a la *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* tienen que ser conscientes y evitar la mala conducta científica relacionada con: fraude científico en la totalidad o parte de los datos del estudio y la falsificación y manipulación de datos; falta de ética por autoría ficticia o regalada e intercambio de coautorías, la publicación duplicada de una parte del artículo como de su totalidad y el autoplagio con la repetición de texto ya publicados de su propia autoría. Además, la omisión de citas, copia de citas sin consulta y el exceso de autocitas, entre otros. Los autores tienen los siguientes derechos: la evaluación de los artículos será justa e imparcial y la revisión se hará en un tiempo razonable, habrá respeto en la correspondencia enviada y las solicitudes de cambios y correcciones serán explícitas según los conceptos de los evaluadores; se mantendrá la inalterabilidad en el original.

Los artículos puestos a consideración del Comité Editorial de la *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* deben ser inéditos; en consecuencia, aquellos manuscritos que hayan sido publicados en otras revistas o publicaciones técnico-científicas no serán aceptados. Para ello se utilizará *software* especializado en la identificación.

La *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* acepta artículos originales de los siguientes tipos, en concordancia con lo requerido por el programa Publindex de Colciencias:

- **Artículo de investigación científica y tecnológica:** documento que presenta de manera detallada los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada tiene cuatro partes esenciales: introducción, metodología (materiales y métodos), resultados y discusión, y conclusiones. Como mínimo un 18% de la extensión total del artículo debe corresponder a la literatura citada. Y un 60% de las citas debe provenir de artículos publicados en los últimos 10 años.
- **Artículo de reflexión:** documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa y crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales. Es indispensable que tenga una introducción de contexto con un objetivo claro sobre el artículo y un desarrollo temático que presente a los lectores una visión de conjunto y actualizada del tema, además de una propuesta o hipótesis cuyo desarrollo discursivo se nutra de referencias bibliográficas reconocidas (no son admisibles artículos sin referencias). Es importante que estas piezas tengan subtítulos sugerentes y pertinentes.
- **Artículo de revisión:** documento sobre un tema de actualidad, escrito, por lo general, para un público bien informado. Es resultado de una investigación en la que se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicados o no, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y tendencia de desarrollo; se caracteriza por presentar un soporte bibliográfico cuidadoso no menor a 50 referencias.
- **Nota científica:** documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.

### Formato y organización del texto

La extensión del artículo de investigación no debe exceder las 5.200 palabras (incluidas referencias y tablas), excepto el artículo de revisión, que puede contener hasta 6.500 palabras; tamaño carta, escritas a doble espaciado, letra o fuente Times New Roman con tamaño de 12 puntos, márgenes de 3 cm en la parte superior, 2 cm en la inferior y 2,5 cm en las márgenes derecha e izquierda. Las tablas y figuras (gráficos, dibujos, esquemas, diagramas de flujo, fotos y mapas) deben presentarse cuando sean citadas en el texto y con numeración consecutiva (Tabla 1 ... Tabla n. Figura 1 ... Figura n; etc.). Los textos y tablas deben presentarse en el procesador de palabra MS-Word®; las gráficas y los diagramas de frecuencia (barras y tortas) originales deben suministrarse en archivos editables como MS-Excel®; otras figuras, como fotografías sobre papel y dibujos, se pueden enviar en formato digital TIF (o JPEG), preferiblemente con una resolución de 600 × 600 dpi (mínimo 300 dpi). Como norma general, las tablas y figuras solo se aceptan en blanco y negro. El artículo en su versión



.doc o .docx debe ser enviado a través del Portal de Revistas UPTC, [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias\\_hortícolas](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas), junto con los demás anexos y una imagen representativa del manuscrito como portada (preferiblemente inédita).

### Idiomas, unidades y estilo

A partir de 2019 el idioma oficial de la revista es el inglés. Se puede usar el estilo británico o americano pero manteniendo el mismo durante todo el artículo. Debe utilizarse exclusivamente el Sistema Métrico Decimal (SI). Todas las abreviaturas diferentes al SI se deben explicar cuando se usan por primera vez en el texto. El estilo del texto debe ser impersonal y tiempo gramatical pasado para la introducción, procedimientos y resultados.

### Título y autores

Es obligatorio la traducción del título al español. Cuando se incluyan nombres científicos de vegetales o animales, se deben escribir con letra cursiva (itálica) y en minúsculas, y solo con mayúsculas la primera letra del género y el clasificador. Debajo del título en español se escribe el (los) nombre(s) y apellido(s) del (de los) autor(es), de acuerdo con su contribución en la investigación o preparación del artículo. En la parte inferior de la primera página, es decir, en aquella que contiene el título del artículo, se debe señalar el nombre y la ciudad de ubicación de la entidad a la cual prestan sus servicios o del patrocinador para la realización del trabajo y el autor para correspondencia con su correo electrónico. Además el identificador ORCID para cada autor.

### Resumen y palabras clave adicionales

El resumen debe describir en forma breve el problema, los métodos utilizados, su justificación y los resultados obtenidos más relevantes, y no debe exceder de 250 palabras escritas en un único párrafo. Es obligatorio acompañar el resumen con máximo seis palabras clave, que no hayan sido usadas en el título. El *abstract* y *additional keywords* deben traducirse al español (resumen y palabras clave adicionales).

### Introducción

Sección que debe contener la situación actual del problema, su definición y la revisión de los trabajos previos relacionados con él; además, los objetivos y la justificación de la investigación. Es obligatorio acompañar los nombres vulgares con el (los) nombre(s) científico(s) y la(s) abreviatura(s) del clasificador en la primera mención en el artículo.

### Materiales y métodos

En este apartado se deben describir de forma clara, concisa y secuencial, los materiales (vegetales, animales, implementos agrícolas o de laboratorio) utilizados en desarrollo del trabajo, además de los procedimientos o protocolos seguidos y el diseño escogido para el tratamiento estadístico de los datos.

### Resultados y discusión

Los resultados deben presentarse de manera lógica, objetiva y secuencial mediante textos, tablas y figuras; estos dos últimos apoyos deben ser fáciles de leer y deben poderse interpretar de manera autónoma, aunque deben citarse siempre en el texto. Las gráficas serán bidimensionales y a una sola tinta, con porcentajes de negro para las variaciones de las columnas; las líneas de las curvas deben ser de color negro, punteadas o continuas (- - - o —), usando convenciones como: ■, □, ◆, ▲, ●, etc.

Las tablas se deben elaborar con pocas columnas y filas. Los promedios deben ser acompañados de su error estándar correspondiente. La discusión de resultados debe ser completa y exhaustiva, contrastando los resultados obtenidos con la literatura más actual sobre el tema.

### Conclusiones

En este apartado se relacionan los hallazgos más concluyentes de la investigación, es decir, aquellos que constituyen un aporte significativo para el avance del campo temático explorado.

## Agradecimientos

Si se considera necesario, se agradecerán aquellas contribuciones importantes en la concepción, financiación o realización de la investigación: especialistas, firmas comerciales, entidades oficiales o privadas, asociaciones de profesionales y operarios. En el momento de incluir el financiador, mencionar el nombre del proyecto o contrato y su código de identificación interna.

## Conflictos de interés y contribuciones de autoría

Mencionar los posibles conflictos de interés (relaciones personales o contractuales) que pueden contribuir en la interpretación de los resultados. En lo posible, mencionar las contribuciones individuales de los autores en la elaboración de la investigación y escritura del manuscrito.

## Referencias bibliográficas

Para las citas bibliográficas que sustentan las afirmaciones en el texto, se utilizará el sistema *autor(es)*, año de manera uniforme; cuando la publicación citada tenga tres o más autores, se debe mencionar el apellido del primer autor acompañado de la expresión latina *et al.*, equivalente a “y otros”, en cursivas y con el año (por ejemplo: García *et al.*, 2003). En el momento de usar citas textuales de otros autores, usar comillas dobles y mencionar la página de ubicación. Se recomienda parafrasear con varios autores y evitar las inclusiones literales. La lista completa con las referencias bibliográficas mencionadas se debe incluir al final del artículo. Los apellidos y nombres de todos los autores deben escribirse, en el orden alfabético de sus apellidos; cuando se citan varias publicaciones del (de los) mismo(s) autor(es) deben listarse en orden cronológico, de la más reciente a la más antigua. Es obligatorio incluir al final de cada cita el DOI (*digital object identifier*) y el manuscrito debe contener como mínimo un 30% de sus citas con este identificador. Solo se deben citar fuentes originales. Se prevén algunos casos:

- **Para libros:** Autor (es), año. Título del libro, edición, casa editora, ciudad y país. Ejemplo: Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. *Plant physiology*. 4th ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA, USA.
- **Para capítulos de libros:** Autor (es), año. Título del capítulo, páginas consultadas (pp. # - #). En: Apellidos y nombres de los compiladores (comp.) o editores (eds.), título del libro, edición, casa editora y ciudad de su sede. Ejemplo: Engels, C., E. Kirkby y P. White. 2012. Mineral nutrition, yield and source-sink relationships. pp. 85-133. En: Marschner, P. (ed.). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3rd ed. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. Doi: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00005-4
- **Para revistas:** Autor (es), año. Título del artículo, nombre abreviado de la revista volumen(número), página- página. Ejemplo: García, S., W. Clinton, L. Arreaza y R. Thibaud. 2004. Inhibitory effect of flowering and early fruit growth on leaf photosynthesis in mango. *Tree Physiol.* 24(3), 387-399. Doi: 10.1093/ treephys/24.4.387
- **Para revistas electrónicas:** Autor(es), año. Título del artículo (en línea). Nombre abreviado o corto de la revista. Volumen (número), URL; fecha de consulta. Ejemplo: Cannarella, C. y V. Piccioni. 2007. Innovation, diffusion and territorial inertia (en línea). *Int. J. Rural Manag.* 3, <http://irm.sagepub.com/content/vol3/issue2/in01.pdf>; consulta: marzo de 2009.
- **Para citas de internet:** Autor (es), año. Título del artículo. En: Nombre de la publicación electrónica del sitio web, portal o página y su URL, fecha de consulta. Ejemplo: Arafat, Y. 1996. Siembra de olivos en el desierto palestino. En: *Agricultura Tropical*, <http://agrotropical.edunet.es>; consulta: noviembre de 2003.
- **Para citas de ponencias en memorias de conferencias, simposios o congresos:** Autor(es). Año. Nombre de la ponencia. pp. #-#. En: Título. Casa editora. Ciudad, país si la ciudad no es capital. Ejemplo: Peet, M. 2008. Desórdenes fisiológicos del fruto del tomate. p. 101. En: Libro de resúmenes, Simposio Internacional de Tomate en el Trópico. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Villa de Leyva, Colombia.
- **Para tesis:** Autor(es). Año. Título. Tesis de doctorado (o maestría). Institución educativa, ciudad y país. Ejemplo: Hernández, M. 2001. Conservación del fruto de arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh)

durante la poscosecha mediante de aplicación de diferentes técnicas. Tesis de doctorado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

### Sistema Internacional de Unidades (SI) o Sistema Métrico Decimal

La *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* exige el uso de las unidades propias del SI.

- Los números superíndice negativos pueden ser usados solamente con unidades del SI (por ejemplo, kg ha<sup>-1</sup>). No interrumpa la notación de unidades del SI con símbolos que no corresponden a unidades SI ni con palabras diferentes, porque las unidades son expresiones matemáticas. Reordene la frase apropiadamente, por ejemplo:
  - P a 20 g L<sup>-1</sup>, y no 20 g P L<sup>-1</sup> ni 20 g P/L.
  - El rendimiento en peso seco fue de 5 g día<sup>-1</sup>, y no 5 g de peso seco día<sup>-1</sup>.
  - Se aplicaron 25 g ha<sup>-1</sup> del ingrediente activo, y no 25 g i.a./ha.
  - Cada planta recibió 20 g ha<sup>-1</sup> de agua, y no 20 g H<sub>2</sub>O/ha por planta.
- La barra (/) es un signo que en matemáticas significa “dividido por”; en ciencias se usa como: sustituto de la preposición “por” en el sentido de “por cada” y se utiliza para mostrar ratas o tasas. Use la barra para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: 10°C/h o 10 L/matera). Nunca use los números superíndice negativos y la *barra* en la misma expresión. Si se hallan mezcladas unidades del SI con unidades que no son del SI, use primero la *barra* y luego la palabra “por” en segundo término. Nunca utilice dos o más *barras* (/) o la palabra “por” más de una vez en la misma frase, pues estos dos términos son equivalentes; por ejemplo en cepilladas/día por planta, redacte la frase así: cada planta fue cepillada dos veces al día. Para unidades totalmente verbales, use una barra, como en tres flores/planta o 10 frutos/rama.
- Para citar aquellas unidades que se basan en nombres, use minúsculas como en: “un siemens representa...”. Sin embargo, los grados Celsius (°C) y grados Brix (°Brix) sí van en mayúsculas.
- Use la misma abreviatura o símbolo para las formas en singular o plural de una unidad determinada (por ejemplo, 1 kg y 25 kg). Deje un espacio entre el valor numérico y el símbolo (por ejemplo, 35 g y no 35g). En una serie de medidas ponga la unidad al final así: entre 14 y 20°C o hileras a 3, 6 y 9 m.

El estilo admitido en *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* para algunas unidades de medida se indica en la tabla de abreviaturas y símbolos (ver ASHS Publications Style Manual, [http://www.ashs.org/downloads/style\\_manual.pdf](http://www.ashs.org/downloads/style_manual.pdf); consulta: junio de 2011 o *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4(1), 2010, pp. 181-184).

## EDITORIAL POLICY

The *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* (Colombian Journal of Horticultural Science) is the official scientific journal of the Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas (SCCH) (Colombian Society for Horticultural Science; country member of ISHS), the Faculty of Agricultural Sciences of the Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), and the Faculty of Agricultural Sciences and the Environment of the open to discussion and dissemination of technical and scientific studies in the area of agricultural sciences, with an emphasis on horticulture (fruits, vegetables, ornamentals, aromatic and medicinal plants, nurseries) proposed by national and international authors. The journal seeks to disclose

unpublished work developed by researchers from different universities and research centers in the country; and disseminate and discuss scientific advances, in order to contribute to the consolidation of an academic community centered on the disciplines related to horticulture. The journal is geared toward horticultural science researchers, extension workers, and all professions related to the development of science and technology needed for the benefit of rural productivity and horticultural producers.

Original and unedited papers must be submitted according to the rules laid out in the instructions to authors. The Editorial Committee reserves the right to accept or reject contributions to the journal. The manuscripts will be sent to two peer reviewers, who are experts in the specific area of knowledge, and they will decide whether the manuscript has the necessary scientific standards for publication. If there is a difference of opinion regarding the concepts for the approval for publication, the manuscript will be sent to a third reviewer, who will deliver the final decision. If the article is accepted for publication, the author must make the suggested corrections within the time indicated by the editor.

The articles published in the journal will be sent on magnetic media to different databases and indexing systems for disclosure of its content; and will be accessible via the Internet. After publication, a pdf file of the paper will be sent, free-of-charge, to the corresponding author.

The editors of the *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* are committed to the scientific community in ensuring the ethics and quality of published articles. The journal has as a reference, the code of conduct and good publishing practices for editors of scientific journals, defined by the Committee on Publication Ethics (COPE); and furthermore, is dedicated to ensuring an adequate response to the needs of readers and authors, ensuring the quality of the publication, protecting and respecting the content of the articles and the integrity thereof. The Editorial Committee will publish corrections, clarifications, retractions and apologies when needed.

The copyright of all articles and illustrations published in *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* becomes the property of the Revista. The editors authorize reproduction and citation of the published content, provided the name of the journal, name(s) of the author(s), year, title, volume, number and page of the article are explicitly given. Editorial permission is required to reproduce more than a brief summary of the text, or to reproduce figures etc., in further publication(s).

## INSTRUCTIONS TO AUTHORS

The authors of the articles submitted to the *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* must be aware of and avoid scientific misconduct related to: scientific fraud in all or part of the data of the study and data falsification and manipulation; dishonesty due to fictitious authorship or gifting or exchange of coauthorship, duplicate publications, partial or complete, in different journals and self-plagiarism by reusing portions of previous writings; citation omission, citation copying without consultation and excessive selfcitation, among others. The authors have the following rights: fair and impartial evaluation of articles done in a reasonable amount of time, correspondence shall be taken seriously and requests for changes and corrections shall be respected, subject to review by the evaluators, and articles shall remain unaltered.

The contents of articles/manuscripts submitted to the *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* must not have been previously published in a refereed publication and submission to the Revista implies no concurrent submissions to other journals. Manuscripts already published in other journals or technical or extension reports will not be accepted. The *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* publishes articles of the following types, according to the program: Publindex, Colciencias (Colombia):

- **Scientific and technological research papers:** those documents presenting detailed original research results. The most generally applied structure has four main parts: introduction, materials and methods, results and discussion, and conclusions. At a minimum, 18% of the total text should correspond to the cited references, 60% of which must have been published in the last 10 years.
- **Review articles:** documents written for a general, albeit well-informed audience. The review article should analyze, systematize, or summarize the published or non-published results of an area of science or technology for the purpose of providing information on the current state and perspectives of development of a particular research. The review article should be supported by not less than 50 references.
- **Reflection paper:** document presenting research results analyzed from an author's interpretative and critical perspective about a specific subject, resorting to original sources. This type of article must always have a clear contextual introduction coupled to a pertinent objective within the topic. The development of said objective should include a broad and updated perspective on the topic and a hypothetical statement or proposal backed up by recognizable references (no article will be accepted without references). The reflection article should include suggestive and pertinent subtitles.
- **Scientific note:** brief document introducing original preliminary or partial results of a scientific or technical research, which usually need immediate publication.

### Format and organization of text

Research papers should not exceed 5,200 words (including literature and tables), except for review articles, which can contain up to 6,500 words: in letter size, double-spaced, Times New Roman font size 12, margins of 3 cm at the top, 2cm at the bottom and 2.5 cm in the left and right side margins. Tables and figures (graphs, drawings, diagrams, flow charts, pictures and maps) must be submitted on separate pages and numbered consecutively (Table 1 ... Table n. Figure 1..., etc.) in the order cited in the text.

Texts and tables should be prepared using an MS-Word® processor. Tables and diagrams of frequency (bar and circular diagrams) should be included in the mentioned Word file, as well as in their original MS-Excel® or other format. Other figures, including photographs and drawings, should be submitted in digital JPG (or JPEG) compression format, with a minimum resolution of 300 dpi. As a general rule, tables and figures should only be submitted in black and white, or when the costs of color publication are covered by the authors. Articles with the relevant files in Word, Excel and JPG should be sent by email to: [gerfischer@gmail.com](mailto:gerfischer@gmail.com) (editor Gerhard Fischer).

### Languages, units, and style

The official languages of the Journal are Spanish, English and Portuguese. In the case of English manuscripts, British or American English spelling and terminology may be used, but either should be consistently used throughout the article. The metric system (SI) should be consistently utilized throughout the manuscript. All abbreviations should be explained when they first appear in the manuscript. The style of writing should be impersonal, in the past tense for the introduction, procedures and results.

### Title and authors

The title should be accompanied by the English translation if the article's text is in Spanish or Portuguese and vice-versa. The scientific name of plants and animals should be italicized and written in Latin with the generic name starting with a capitalized letter and including the descriptor's name. Under the titles, the authors' names (first and last names) should be listed in the order in which they contributed to the investigation and preparation of the manuscript. On the bottom of the first page (footnote) of the article, the current affiliations and addresses (including city, state, and institutions) of each author and the corresponding author with his/her e-mail should appear.

## Abstract, “resumen”, and additional keywords

The abstract should briefly describe the problem, the methods used, the justification and the relevant results obtained; and should not exceed 250 words written in a single paragraph. The “resumen” should be written in Spanish (or Portuguese) and the “abstract” should include an English translation. It’s obligatory to accompany the abstract with a maximum of six keywords, which have not been used in the title. Equally, when translated into English, the additional keywords may not appear in the English-version of the title.

## Introduction

The text should contain the current situation of the problem, its definition and review of the studied area, the objectives and justification for the research. Common names of plants and animals must be accompanied with the corresponding scientific ones, plus the abbreviation of the species author surname when mentioned for the first time. Materials and methods Besides a clear, precise and sequential description of the materials used for the research (plant or animal materials, agricultural or laboratory tools), this section illustrates the procedures and protocols followed, and the experimental design chosen for the statistical analysis of the data.

## Results and discussion

The results shall be presented in a logical, objective, and sequential order, using text, tables and figures. The latter two should be easily understandable and self-explanatory, regardless of a thorough explanation in the text. The graphics should be two-dimensional and prepared in black and white, using varying tones to illustrate variations between columns. Diagram curves must be prepared in black, dashed or continuous lines (- - - or —), using the following conventions: ■, □, ◆, ▲, ●, etc. The tables should contain few columns and lines.

Averages should be accompanied by their corresponding standard error (SE) values. The discussion shall be complete and exhaustive, emphasizing the highlights and comparing them to the literature.

## Conclusions

This section should summarize in a brief and concise form the most important findings of the research, such as those containing the most significant support in the studied area.

## Acknowledgments

When considered necessary, the authors may acknowledge the researchers or entities that contributed - conceptually, financially or practically - to the research: specialists, commercial organizations, governmental or private entities, and associations of professionals or technicians.

## Bibliographic references

For short citations located in the text, use the system: author(s), year uniformly. When the publication cited has three or more authors, please mention the name of the first author accompanied by the Latin phrase et al., with the year (e.g. Garcia et al., 2012). The complete list of the references listed must be included at end of article. The initials of the first names and the surnames of all authors must be written in alphabetical order for the last names; when several publications are cited, the author(s) should be listed in chronological order, from most recent to oldest. Each citation must contain a DOI (digital object identifier) at the end. Furthermore, the text of the manuscript must contain a minimum of 30% of the citations found in the Bibliographic References section with their respective DOI. Examples of literature citations are given below:

- **For books:** Author(s), year. Title of the book, edition, publisher and the place of publication, pages consulted (pp. # - #). Example: Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. Plant physiology. 4th ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA, USA.
- **For book chapters:** Author(s), year. Title of the chapter, pages consulted (pp. # - #). In: Last name(s) and initial(s) of first name(s) of contributors or authors (eds.), title of the book, publisher and the place of publication. Example: Engels, C., E. Kirkby, and P. White. 2012. Mineral nutrition, yield and

source-sink relationships. pp. 85-133. In: Marschner, P. (ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. Doi: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00005-4

- **For journal articles:** Author(s), year. Title of the article, journal number, volume, pages. Example: García, S., W. Clinton, L. Kukshin, and R. García. 2004. Inhibitory effect of flowering and early fruit growth on leaf photosynthesis in mango. *Tree Physiol.* 24(3), 387-399. Doi: 10.1093/treephys/24.4.387
- **Electronic journals:** Author(s). Year. Title of the publication (online). Abbreviated name of the journal. Volume (number), URL; consultation date. Example: Cannarella, C. and V. Piccioni. 2007. Innovation, diffusion and territorial inertia (online). *Int. J. Rural Manag.* 3, <http://irm.sagepub.com/content/vol3/issue2/in01.pdf>; consulted: March, 2009.
- **Internet citations:** Author(s). Year. Title of the article. In: name(s) of the electronic publication, and/or of the website, portal or page, URL; consultation date. Example: Arafat, Y. 1996. Siembra de olivos en el desierto palestino. In: *Agricultura Tropical*, <http://agrotropical.edunet.es>; consulted: November, 2003.
- **For citing proceedings:** Author(s). Year. Name of the dissertation. pp. #-#. Title. Publisher, City (and country, if the city is not a capital). Example: Peet, M. 2008. Physiological disorders in tomato fruit development. p. 101. In: Book of abstracts, International Symposium on Tomato in the Tropics. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Villa de Leyva, Colombia.
- **For theses:** Author(s). Year. Title. Thesis degree. Academic institution, city (and country, if the city is not a capital). Example: Hernandez, M. 2001. Conservación del fruto de arazá (a capital). Example: Hernandez, M. 2001. Conservación del fruto de arazá (*Eugenia stipitata*McVaugh) durante la poscosecha mediante de aplicación de diferentes técnicas. Doctoral thesis. Faculty of Agronomy, Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia.

## International unit system (SI) or metric unit system

The *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* requires the use of SI units (Système international d'unités).

The numbers of multiplication and the negative numbers of the superscripts should be used only in conjunction with SI units (for example, kg ha<sup>-1</sup>). Do not place non-SI units in SI units, because the units are mathematical expressions. Reorganize the phrase respectively, for example:

- P at 20 g L<sup>-1</sup>, but not 20 g P L<sup>-1</sup>, nor 20 g P/L.
- The yield measured in dry mass was 10 g<sup>-1</sup>, but not 10 g<sup>-1</sup> of dry mass dd<sup>-1</sup>.
- The active ingredient was applied at 25 g ha<sup>-1</sup>, but not 25 g a.i./ha<sup>-1</sup>.
- Each plant received water at 30 g<sup>-1</sup> ha, but not irrigation was applied at 30 g H<sub>2</sub>O/ha per plant.

The slant line (/) is a symbol of mathematic operation that means "division"; in science, it may be substituted by the word "per" in the meaning of "per each" and indicates rates or degrees. Use the slant line to connect SI units with non-SI units (for example: 10°C/h or 10 L/plant). Never use the raised period and slant line in the same expression. If you mix SI and non-SI units, use the slant line first and then the word "per" in the second terminus. Never use two or more slashes (/) or the word "per" more than once in the same phrase to avoid redundancy, for example: irrigation/day per plant should be changed to: each plant was irrigated two times per day. For the totally verbal units, use one slash, such as: three flowers/ plant or 10 fruits/branch.

To cite units based on names, use lowercase, such as: "one siemens represents...". However, Celsius units should be written with the first letter capitalized.

Use the same abbreviation or symbol for the singular and plural forms of a unit (for example, 1 kg and 25 kg). Leave a blank space between the numerical value and the symbol (for example, 35 g, but not 35g), except for a percentage or °C, such as: between 14 and 20°C or growth up to 3, 6, and 9 m.

The style adopted by the *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* for some units of measurements refers to the table of abbreviations and symbols of ASHS Publications Style Manual, [http://www.ashs.org/downloads/style\\_manual.pdf](http://www.ashs.org/downloads/style_manual.pdf), accessed June 2011 or can be consulted in *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4(1), 2010, pp. 181-184.

## POLÍTICA EDITORIAL

A *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* é o órgão científico oficial da *Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas – SCCH* (adscrita à *International Society for Horticultural Science – ISHS*), da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) e da Faculdade de Ciências Agrárias e Meio Ambiente da Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS). Trata-se de uma publicação trimestral aberta a discussão e divulgação de trabalhos técnico-científicos propostos por autores nacionais e internacionais na área das ciências agrícolas, com ênfase em horticultura (frutas, legumes, ervas medicinais, plantas ornamentais e viveiro). A revista busca não só divulgar o trabalho inédito desenvolvido por pesquisadores de diferentes universidades e centros de investigação no país, mas também disseminar e discutir novos avanços científicos, a fim de contribuir para a consolidação de uma comunidade acadêmica reunida em torno da horticultura e suas disciplinas relacionadas. A publicação está dirigida a pesquisadores e extensionistas das ciências hortícolas e a todos aqueles profissionais que desenvolvem a ciência e aplicam a tecnologia para o benefício da produtividade do campo e os produtores hortícolas.

Artigos inéditos e originais devem ser apresentados seguindo as regras estabelecidas nas instruções aos autores. O Conselho Editorial reserva-se o direito de aceitar ou rejeitar as contribuições feitas para a revista. Os manuscritos são enviados a dois revisores especialistas na área específica do conhecimento, quem decidirão se o trabalho tem o nível científico necessário para sua publicação. Caso haja diferentes conceitos sobre a aprovação da publicação, o artigo será enviado a um terceiro par, quem entregará a decisão final. Se o artigo for aceito para publicação, o autor deverá fazer as correções sugeridas no tempo indicado pelo editor.

Os artigos publicados na revista serão enviados em meio magnético a diferentes bancos de dados e sistemas de indexação para a divulgação do seu conteúdo, o qual será acessível através da Internet. Após a publicação, os artigos publicados serão enviados aos autores num arquivo em PDF sem custo adicional.

Os editores da *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* estão comprometidos com a comunidade científica para assegurar a ética e a qualidade dos artigos publicados. A revista tem como referência o código de conduta e boas práticas editoriais definido pelo Comitê de Ética de Publicações (*Committee on Publication Ethics - COPE*). Ao mesmo tempo, os editores asseguram uma resposta adequada às necessidades dos leitores e autores, para o qual devem garantir a qualidade das publicações e proteger e respeitar o conteúdo dos artigos e a integridade dos mesmos. O Conselho Editorial publicará correções, esclarecimentos, retratações e desculpas quando for necessário.

O *copyright* dos artigos e ilustrações publicados na *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* vem a ser propriedade da revista. Os editores autorizam a reprodução e citação do conteúdo da publicação desde que seja explicitamente registrado o nome da revista, nome(s) do(s) autor(es), ano, título, volume, número e páginas do artigo consultado. É preciso solicitar permissão dos editores para ter figuras ou algo mais que um breve resumo do texto reproduzidos em outras publicações.



## INSTRUCTIONS TO AUTHORS

Os autores dos artigos a serem submetidos à *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* devem ser conscientes da fraude científica e evitar condutas relacionadas com ela em todos ou parte dos dados da pesquisa, assim como a falsificação e manipulação dos mesmos, as faltas de ética por autoria fictícia ou doada ou por troca de co-autorias, a publicação duplicada de uma fração do artigo ou de sua totalidade em outras revistas, o auto-plágio ao repetir partes de escritos anteriores, a omissão de citações, a inclusão de referências não consultadas e a auto-citação excessiva, entre outros. Os autores terão os seguintes direitos: dentro de um prazo razoável, será feita uma avaliação justa e imparcial dos seus artigos; haverá respeito na correspondência enviada e os pedidos de modificações e correções serão explicitados segundo os conceitos dos avaliadores; finalmente, o sentido do texto original não será alterado.

Os artigos colocados no Comitê Editorial da *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* devem ser inéditos. Em consequência, aqueles manuscritos que tiverem sido publicados em outras revistas ou publicações técnico-científicas não serão aceitos.

Segundo as exigências do programa Publindex de Colciencias para a categoria A2, a *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* aceita artigos originais dos seguintes tipos:

- **Artigo de pesquisa científica ou tecnológica:** documento que apresenta em detalhe os resultados de pesquisas originais. A estrutura geralmente utilizada tem quatro partes básicas: introdução, metodologia (materiais e métodos), resultados, e discussão e conclusões. Pelo menos o 18% da totalidade do artigo deve corresponder à explicação da literatura citada, enquanto um 60% das citações deve vir de artigos publicados nos últimos 10 anos.
- **Artigo de reflexão:** documento que apresenta resultados de pesquisa sobre um tema específico a partir de uma análise e interpretação crítica do autor, utilizando fontes originais. É essencial que o manuscrito inclua uma introdução de contexto que explicita um objetivo claro, uma perspectiva geral e atualizada sobre o tema, e uma proposta ou hipótese cujo desenvolvimento discursivo provenha de referências bibliográficas reconhecidas (não poderão ser admitidos artigos sem referências). É importante que as diferentes partes do texto vão encabeçadas por legendas sugestivas e relevantes.
- **Artigo de revisão:** documento sobre um tema de atualidade, geralmente escrito para um público bem informado. É resultado de uma revisão na qual os resultados de pesquisas publicadas ou inéditas em algum campo da ciência ou da tecnologia são analisados, sistematizados e integrados, a fim de explicar suas tendências de progresso e desenvolvimento. Caracteriza-se por um apoio bibliográfico cuidadoso de não menos de 50 referências.
- **Nota científica:** documento curto que apresenta resultados originais preliminares ou parciais de uma pesquisa científica ou tecnológica, os quais geralmente exigem uma rápida difusão.

### Formato e organização do texto

A extensão do artigo de pesquisa não deve exceder 5.200 palavras (incluindo literatura e tabelas), com exceção do artigo de revisão, que pode conter até 6.500 palavras. O formato da página deve ser tamanho carta, digitada em espaço duplo, fonte Times New Roman tamanho 12, margens de 3 cm na parte superior, 2 cm na parte inferior, e 2,5 cm de margens laterais esquerda e direita. As tabelas e figuras (gráficos, desenhos, diagramas, fluxogramas, fotografias e mapas) devem ser apresentadas em folhas separadas e numeradas consecutivamente (Tabela 1 ... Tabela n. Figura 1 ... Figura n, etc.). O texto e as tabelas devem ser editados em processador de texto MS-Word®. Tabelas e diagramas de frequência (colunas e pizza) devem ser incluídos dentro do arquivo do

manuscrito e também enviados em seu formato original de MS-Excel®. Ao se tratar de outras figuras, como fotografias e desenhos em papel, será possível enviar os originais ou digitalizá-los e enviá-los em formato de compressão digital JPG (ou JPEG), de preferência com uma resolução de 600 Å~ 600 dpi (no mínimo 300 dpi). Como regra geral, tabelas e figuras unicamente são aceitas em preto e branco. Os arquivos em Word, Excel e JPG que compõem o artigo deverão ser enviados ao e-mail: gerfischer@gmail.com (editor Gerhard Fischer).

## Idiomas, unidades e estilo

As línguas oficiais da revista são Espanhol, Inglês e Português. No caso de manuscritos escritos em Inglês, a configuração de idioma do arquivo deve corresponder ao Inglês Britânico ou Inglês Americano, cuidando de usar uma única configuração ao longo do artigo. Quanto às unidades de medida, deve-se usar exclusivamente o Sistema Métrico Decimal (SI). Todas as abreviaturas devem ser explicadas quando utilizadas pela primeira vez no texto. O estilo do manuscrito deve ser impessoal, usando-se o tempo gramatical passado na introdução, métodos e resultados.

## Título e autores

Quando o título vier em Espanhol, é obrigatória sua tradução ao Inglês, e vice-versa. Ao incluir nomes científicos de plantas ou animais, eles devem ser escritos em letra cursiva (itálica) e em minúsculas, unicamente capitulando a primeira letra do gênero e do classificador. Abaixo do título em Inglês deve-se colocar o nome(s) e sobrenome(s) do(s) autor(es), de acordo com a sua contribuição à investigação ou preparação do artigo. Na parte inferior da primeira página, ou seja, aquela que contém o título do artigo, deve-se indicar a cidade onde se localiza o patrocinador do trabalho ou a entidade para a qual eles prestam seus serviços, junto com o autor correspondente e seu e-mail.

## Resumo, abstract e palavras-chave adicionais

O resumo deve descrever brevemente o problema, os métodos utilizados, sua justificação e os resultados mais relevantes, sem exceder 250 palavras escritas em um único parágrafo. É obrigatório acompanhar o resumo com um máximo de seis palavras chave que não tenham sido utilizadas no título. O resumo (abstract) e palavras chave adicionais (additional keywords) devem ser traduzidos ao Inglês.

## Introdução

Esta seção deve descrever a situação atual do problema, sua definição e a revisão de trabalhos anteriores com ele relacionados, além dos objetivos e justificação da pesquisa. É obrigatório acompanhar os nomes comuns dos correspondentes nomes científicos e a sigla do classificador quando mencionados pela primeira vez no artigo.

## Materiais e métodos

Esta seção deve descrever de forma clara, concisa e sequencial, os materiais (plantas, animais, implementos agrícolas ou de laboratório) utilizados no desenvolvimento do trabalho, bem como os procedimentos e protocolos seguidos e o desenho escolhido para o tratamento estatístico dos dados.

## Resultados e discussão

Os resultados devem ser apresentados de uma forma lógica, objetiva e sequencial, usando-se texto, tabelas e figuras. Estes dois últimos apoios devem ser de fácil leitura e passíveis de serem interpretados de forma independente, embora devam vir sempre citados no texto. Os gráficos devem ser bidimensionais, elaborados em branco e preto, se valendo de percentagens de preto para representar variações entre colunas. As linhas das curvas devem ir em tinta preta, tracejadas ou contínuas (- - - ou —) utilizando convenções tais como: ■, □, ◆, ▲, ●, etc. As tabelas devem ser elaboradas com poucas linhas e colunas. As médias devem ser acompanhadas de seu correspondente erro padrão. A discussão dos resultados deve ser completa e exaustiva, comparando-se os resultados com a literatura atual sobre o tópico.

## Conclusões

Esta seção apresenta os resultados mais conclusivos da investigação, ou seja, aqueles que constituem uma contribuição significativa para o avanço da temática explorada.

## Agradecimentos

Quando for considerado necessário, esta seção irá apreciar aquelas contribuições importantes na concepção, financiamento e realização da pesquisa: especialistas, empresas, entidades públicas ou privadas, e associações de profissionais ou operadores.

## Referências

Quanto às citações usadas para apoiar afirmações no texto, deve-se aplicar uniformemente o sistema autor(es) ano. Quando a publicação citada tiver três ou mais autores, mencione o nome do primeiro deles, acompanhado pela frase latina *et al.* (“e outros”) ressaltada em itálica, e pelo ano (por exemplo, García *et al.*, 2003). A lista completa das referências mencionadas deve ser incluída ao final do artigo. Os sobrenomes (acompanhados das letras iniciais dos nomes) de todos os autores devem ser registrados em ordem alfabética. Ao se citarem várias publicações do(s) mesmo(s) autor(es), elas devem ser listadas em ordem cronológica, da mais recente à mais velha. É obrigatório incluir no final de cada compromisso do DOI (digital object identifier) e o manuscrito deve conter pelo menos 30% de seus compromissos com este identificador. Somente fontes originais devem ser citadas. Antecipam-se alguns casos:

- **Para livros:** Autor (es), ano. Título do livro, edição, editora e cidade de publicação, páginas consultadas (pp. # - #). Exemplo: Taiz, L. e E. Zeiger. 2006. *Fisiologia Vegetal*. 4<sup>th</sup> ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA, USA.
- **Para capítulos de livros:** Autor (es), ano. Título do capítulo, páginas consultadas (pp. # - #). Em: Nomes e sobrenomes dos compiladores (comp.) ou editores (eds.). Título do livro, edição, editora e cidade de publicação. Exemplo: Engels, C., E. Kirkby, e P. White. 2012. Mineral nutrition, yield and source-sink relationships. pp. 85-133. Em: Marschner, P. (ed.). *Marschner’s mineral nutrition of higher plants*. 3rd ed. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. Doi: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00005-4
- **Para revistas:** Autor (es), ano. Título do artigo, nome abreviado da revista, volume (número), página. Exemplo: García, S., W. Clinton, L. Arreaza e R. Thibaud. 2004. Inhibitory effect of flowering and early fruit growth on leaf photosynthesis in mango. *Tree Physiol.* 24(3), 387-399. Doi: 10.1093/treephys/24.4.387
- **Para revistas eletrônicas:** Autor (es), ano. Título do artigo (online). Nome abreviado da revista. Volume (número), URL, data de acesso. Exemplo: Cannarella, C. e V. Piccioni. 2007. Innovation, diffusion and territorial inertia (online). *Int. J. Manag. Rural.* 3, <http://irm.sagepub.com/content/vol3/issue2/in01.pdf>, acessado em março de 2009.
- **Para citações da Internet:** Autor (es), ano. Título do artigo. Em: Nome da publicação eletrônica, site, portal ou página junto com seu URL, data de acesso. Exemplo: Arafat, Y. 1996. Siembra de olivos en el desierto palestino. Em: *Agricultura Tropical*, <http://agrotropical.edunet.es>, acessado em novembro de 2003.
- **Para citações de dissertações em anais de congressos, simpósios e conferências:** Autor (es). Ano. Nome da comunicação. pp # - #. Em: Título. Editora. Cidade, país (se a cidade não for capital). Exemplo: Peet, M. 2008. Desórdenes fisiológicos del fruto de tomate. p. 101. Em: Livro de resumos, Simposio Internacional de Tomate en el Trópico. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Villa de Leyva, Colombia.

- **Para teses:** Autor (es). Ano. Título. Tese de doutorado (ou mestrado). Instituição de ensino, cidade, país (se a cidade não for capital). Exemplo: Hernández, M. 2001. Conservación del fruto de arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh) durante la poscosecha mediante la aplicación de diferentes técnicas. Tese de doutorado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

## Sistema Internacional de Unidades (SI) ou sistema métrico

A *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* requer a utilização das unidades do SI.

- Os números sobrescritos negativos só podem ser utilizados com unidades do SI (por exemplo, kg ha<sup>-1</sup>). Não interrompa a notação das unidades do SI com palavras ou símbolos que não lhe pertencem, já que ela consiste mesmo em expressões matemáticas. Quando for necessário, deve-se reordenar a expressão de forma adequada, por exemplo assim:
  - P a 20 g L<sup>-1</sup>, em lugar de 20 g de P L<sup>-1</sup>, ou de 20 g de P/L.
  - O rendimento em peso seco foi de 5 g dia<sup>-1</sup>, em lugar de 5 g de peso seco dia<sup>-1</sup>.
  - Aplicaram-se 25 g ha<sup>-1</sup> de ingrediente ativo, em lugar de 25 g i.a./ha.
  - Cada planta recebeu 20 g ha<sup>-1</sup> de água, em lugar de 20 g H<sub>2</sub>O/ha por planta.
- A barra (/) é um símbolo que, em matemática, significa “dividido por”; em ciência é usada como um substituto da preposição “com” no sentido de “para cada” e é usado para mostrar taxas ou proporções. Utilize a barra para ligar unidades do SI com aquelas que não pertencem a este sistema (por exemplo, 10°C/h ou 10 l/ vaso). Nunca use números negativos sobrescritos e a barra na mesma expressão. Se as unidades SI estiverem juntas na mesma expressão com unidades que não são do SI, use primeiro a barra e, em seguida, a palavra “por”. Nunca use a barra (/) ou a palavra “por” mais de uma vez na mesma frase, já que eles são termos equivalentes; por exemplo, ao expressar escovadas/dia por planta, convém re-escrever a frase: cada planta foi escovada duas vezes por dia. Para unidades totalmente verbais, use uma barra, como em três flores/planta ou 10 frutos/galho.
- Para citar unidades baseadas em nomes, use minúscula, como em: “um siemens representa...”. No entanto, os graus Celsius (°C) e graus Brix (°Brix) devem ser capitulados.
- Use a mesma abreviatura ou símbolo para as formas em singular ou plural de uma determinada unidade (por exemplo, 1 kg e 25 kg). Deixe um espaço entre o valor numérico e o símbolo (por exemplo, 35 g e não 35g). Numa série de medidas expressadas com a mesma variável, coloque esta ao final, como em: entre 14 e 20°C ou linhas a 3, 6 e 9 m.

O estilo admitido pela *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* para algumas unidades de medida está indicado na tabela de abreviaturas e símbolos (ver *ASHS Publications Style Manual*, [http://www.ashs.org/downloads/style\\_manual.pdf](http://www.ashs.org/downloads/style_manual.pdf), acessado em junho 2011; ou *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4(1), 2010, pp. 181-184).

## SUSCRIPCIÓN

### Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas

Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad Nacional de Colombia  
A.A. 14490, Bogotá-Colombia  
Fax: (57) 1 - 316 5000 ext. 19041  
socolhort@gmail.com, dmirandal01@gmail.com,  
rcch@uptc.edu.co



---

*Nombre / Name*

---

*Documento de identidad / Identification document*

---

*Dirección / Address*

*Ciudad / City*

---

*Teléfono / Phone*

---

*Departamento / Department*

*Zona postal / Zip code*

---

*País / Country*

*E-mail*

---

*Profesión / Profession*

---

*Institución / Employer*

---

*Dirección de envío / Mailing address*

---

### Forma de pago suscriptores nacionales

Pago en efectivo o en cheque a nombre de la Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas o por consignación nacional en el Banco de Bogotá, cuenta corriente 033811761, y envío posterior de copia de recibo y formato de suscripción diligenciado al fax (57+1) 316 5000 ext. 19041.

**Valor para el año 2018** (dos números, incluyendo costos postales para el envío): Colombia: \$40.000 (pesos colombianos); América Latina y el Caribe: US\$30; Estados Unidos y Canadá: US\$50; otras regiones y países: US\$65.

Último ejemplar recibido / *Last issue mailed.*

---

*Año / Year*

*Volumen / Volume*

*Número / Issue*

*Fecha de envío / Mailing date*

---



Sección de frutales

Potencial distribución espacial del vector del HLB de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en el departamento del Tolima, Colombia

Potential spatial distribution of citrus HLB vector *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in the department of Tolima, Colombia  
Wilson Araque, Emilio Arévalo ..... 545

Management alternatives for *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in the *Carica papaya* L. Hybrid Tainung-1

Alternativas de manejo de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en *Carica papaya* L. Híbrido Tainung-1  
Angel Mauricio Herrera-Palacios, Yuri Mercedes Mena-Pérez, Nora Cristina Mesa-Cobo ..... 561

Enraizamiento de estacas de cajazeira (*Spondias mombin* L.) em função da aplicação de reguladores vegetais

Rooting of yellow mombin cuttings (*Spondias mombin* L.) as a function of the application of plant regulators  
Mário Leno Martins Vêras, Rejane Maria Nunes Mendonça, Christiane Mendes Cassimiro Ramires, Vandeilson Lemos de Araújo, Lucimara Ferreira de Figueredo, Lunara de Sousa Alves, Walter Esfrain Pereira ..... 574

Sección de hortalizas

Abiotic stress caused by foliar applications of boron to the yellow diploid potato (*Solanum tuberosum*, Group Phureja) cultivar Criolla Galeras

Estrés abiótico causado por aplicaciones foliares de boro en papa amarilla diploide (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja) cultivar Criolla Galeras  
Manuel Iván Gómez, Hermann Restrepo, Luis Ernesto Rodríguez, Stanislav Magnitskiy, Lady Manrique, Alfonso Garzón ..... 582

Sensibilidad de aislamientos de *Phytophthora infestans* procedentes de *Solanum tuberosum* a tres fungicidas sistémicos

*Solanum tuberosum* isolate sensitivity to *Phytophthora infestans* when using three systemic fungicides  
Harold Andrés Chañag, Sandra Lorena Álvarez, Luz Estela Lagos, Diana Marcela Burbano-David ..... 592

Reutilización del sustrato cascarilla de arroz *in natura* tras el cultivo de tomate para la producción de híbridos de pepino de conserva (*Cucumis sativus* L.) en sistema de recirculación de lixiviado

Reuse of a raw rice husk substrate after tomato cultivation for the production of pickling cucumber hybrids (*Cucumis sativus* L.) in a leachate recirculation system  
Cristiane Neutzling, Roberta Marins Nogueira Peil, Chaiane Borges Signorini, Paulo Roberto Grolli, Lais Perin ..... 602

Extracción de Fe, Mn, Zn, Cu y B en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)  
Uptake of Fe, Mn, Zn, Cu, and B in a cucumber (*Cucumis sativus* L.) crop  
Fernando Vicente Barraza ..... 611

Selección de herbicidas para el control de arvenses en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Bolívar, Colombia  
Herbicide selection for weed control in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Bolivar, Colombia  
Lily Lorena Luna-Castellanos, Manuel Ramón Espinosa-Carvajal, Víctor Alfonso De-La-Ossa-Albis, Blas Dagor Panza-Tapia, Joaquín Alfonso García-Peña ..... 621

Evaluación de sostenibilidad agroecológica de dos experiencias de producción con énfasis en hortalizas, Venezuela  
Agroecological sustainability assessment of two production systems with an emphasis on vegetables in Venezuela  
Silvia Josefina Silva-Laya, Simón Pérez-Martínez, Javier Álvarez-Del-Castillo ..... 632

Sección de plantas ornamentales

Eficacia de biocontroladores y fungicidas para el control de *Pythium* sp. en crisantemo (*Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitam.)  
Efficacy of biocontrollers and fungicides for the control of *Pythium* sp. in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitam.)  
Julia Bibiana Merchán-Gaitán, Liliana María Aragón-Caballero, Javier Giovanni Álvarez-Herrera ..... 646

Efecto de la disminución de N total y aumento de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la fórmula de fertirriego en el cultivo de clavel  
Effect of decreasing total N and increasing NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in the fertigation formula of carnation crop  
Adriana del P. Baracaldo, Manfred C. Díaz, Víctor J. Flórez, Carlos A. González ..... 658

Sección de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias

Actividad biocida del aceite esencial de *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae) sobre *Rhizoctonia solani*: *in vitro*  
Biocidal activity of *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae) essential oil on *Rhizoctonia solani*: *in vitro*  
David Álvarez-Sánchez, Andrés Hurtado-Benavides, Diana Chaves-Morillo, Danita Andrade-Díaz ..... 668

Nota científica

Germinación y emergencia de lechuga a temperaturas elevadas  
Germination and emergence of lettuce at elevated temperatures  
Hozano de Souza Lemos Neto, Marcelo de Almeida Guimarães, Bruno do Nascimento Silva, Caris dos Santos Viana, Sebastião Medeiros Filho ..... 677

Política editorial | Instrucciones para autores ..... 685

Suscripción ..... 699