



Universidad Francisco
de Paula Santander
Vigilada Mineducación



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

Revista Colombiana de Ciencias

Hortícolas

Colombian Journal of Horticultural Science

Volumen 12 / No. 1 / enero - abril 2018

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



SALINITY TOLERANCE OF *PASSIFLORA TARMINIANA* / APLICACIÓN FOLIAR DE BORO EN EL DESARROLLO FENOLÓGICO Y CUAJADO DE GULUPA / EFECTO DE DOSIS DE N, P, K EN EL CRECIMIENTO VEGETATIVO DE TOMATE DE ÁRBOL / CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE PEDÚNCULOS DE CLONES DE CAJUEIRO-ANÃO / FLUORESCENCIA DE LA CLOROFILA EN PLANTAS DE PIÑA / EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN MINERAL Y DE UN FERTILIZANTE BIOLÓGICO EN PIÑA / NUEVOS REGISTROS DE *FRANKLINIELLA OCCIDENTALIS* Y DE *TETRANYCHUS URTICAE* EN FRESAS / EFFECTS OF 1-METHYLCYCLOPROPENE ON POSTHARVEST QUALITY OF FIGS / APPLICATIONS OF CALCIUM AND BORON INCREASE YIELDS OF ITALIAN TOMATO HYBRIDS / ORGANIC COMPOST ADDITION TO RAW RICE HUSK SUBSTRATE FOR TOMATO HYBRID / FLUJO DE SAVIA Y POTENCIAL HÍDRICO EN PLANTAS DE TOMATE / RENDIMIENTO Y FENOLOGÍA DE TRES GENOTIPOS DE TOMATE CHERRY / HABILIDAD COMBINATORIA EN FUNCIÓN DE LA ENDOGAMIA PARA EL FRUTO DE ZAPALLO / EFICACIA DE INSECTICIDAS BOTÁNICOS EN EL CULTIVO DE PIMIENTO / BRACKISH WATER, AN OPTION FOR PRODUCING HYDROPONIC SWEET PEPPER / RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS EN BRÓCOLI Y COLIFLOR / NITROGEN AND HUMIC SUBSTANCES IN ONION UNDER NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL SYSTEMS / ELABORACIÓN ECOEFICIENTE DE UN ALIMENTO PARA GANADO BOVINO A BASE DE ZANAHORIA / ABONOS VERDES EN EL RENDIMIENTO DEL PEREJIL Y LA FERTILIDAD DEL SUELO / NITRÓGENO Y POTASIO EN LA FISIOLÓGIA DE ALBAHACA / EFFECTS OF INDOLE-BUTYRIC ACID, STEM CUTTING AND SUBSTRATES ON STEVIA PROPAGATION / EFECTO DE LA COLCHICINA EN *KALANCHOE DAIGREMONTIANA* / DESEMPEÑO FISIOLÓGICO DE CACAO CON FORESTALES / INFLUENCIA DEL CLIMA, USO DEL SUELO Y PROFUNDIDAD SOBRE EL CARBONO ORGÁNICO / ASPECTOS FISIOLÓGICOS Y APROVECHAMIENTO DE *ACACIA MANGIUM*



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. 1 / enero-abril 2018

SOCIEDAD COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS – SCCH

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA – UPTC

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER – UFPS

EDITOR COMITÉ CIENTÍFICO

Gerhard Fischer
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, Colombia
Fax: 571 - 316 5000 ext. 19041
soccolhort@gmail.com

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Tunja, Boyacá, Colombia
Teléfono: 578 - 742 2174/76
Fax: 578 - 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: 577 - 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

Licencia Creative commons BY-NC-SA 4.0

PERIODICIDAD

Cuatrimestral

EDITORES

Gerhard Fischer (editor)
Javier Álvarez-Herrera (coeditor)
Marlon-Hans Rodríguez (coeditor)

CORRECTORES DE ESTILO EN INGLÉS Y ESPAÑOL

Christopher King y Búhos Editores

DISEÑO GRÁFICO Y ARMADA ELECTRÓNICA

Isabel Sandoval

IMPRESIÓN

Búhos Editores Ltda.
Tunja, Colombia - abril 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 Pubindex (categoría B) de Colciencias y en SciELO (Scientific Electronic Library Online), además cuenta (DOI) 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. 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
DIRECTOR 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)**

Jhan Piero Rojas Suárez
RECTOR

Adriana Rodríguez Lizcano
SECRETARIA GENERAL

Olga Marina Vega Angarita
VICERRECTORA ACADÉMICA

Maribel Cárdenas García
VICERRECTORA ADMINISTRATIVA

Víctor Manuel Ardila Soto
VICERRECTOR BIENESTAR
UNIVERSITARIO

John Hermógenes Suárez Gélvez
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

Gloria Isabel Duarte
DIRECTORA
Departamento Ciencias del Medio Ambiente

Editorial 9

Sección de frutales

Salinity tolerance of *Passiflora tarminiana* Coppens & Barney

Tolerancia a la salinidad de *Passiflora tarminiana* Coppens & Barney

Alejandro Hurtado-Salazar, Danielle Pereira-da-Silva, John Ocampo, Nelson Ceballos-Aguirre, Claudio Horst Bruckner 11

Efecto de la aplicación foliar de boro en el desarrollo fenológico y cuajado de fruto de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims)

Effect of foliar applications of boron on the phenological development and fruit set of purple passion fruits (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims)

Ivonne A. Quiroga-Ramos, Gerhard Fischer, Luz Marina Melgarejo 20

Efecto de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el crecimiento del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) en etapa vegetativa

Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium doses on tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) growth in the vegetative phase

Claudia Helena Ramírez-Soler, Stanislav Magnitskiy, Sandra Esperanza Melo M., Luz Marina Melgarejo 31

Características físicas de pedúnculos de clones de cajueiro-año (*Anacardium occidentale* L.) produzidos em função da variação ambiental e temporal

Physical characteristics of cashew apples from dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) clones as a function of environmental and temporal variation

Maria Lucilania Bezerra Almeida, Carlos Farley Herbster Moura, Renato Innecco, Márcia Régia Souza da Silveira 41

Fluorescencia de la clorofila *a* en plantas de piña sometidas a aplicación de herbicidas

Fluorescence of chlorophyll *a* in pineapple plants submitted to herbicide applications

Juliano Miari Corrêa, Evander Alves Ferreira, Gustavo Antônio Mendes Pereira, Alba Rocio Aguilar Piratoba, José Barbosa dos Santos, Carlos Henrique de Oliveira, Cícero Teixeira Silva 50

Efecto de la fertilización mineral y de un fertilizante biológico en piña [*Ananas comosus* (L.) Merr.] en el cultivar MD2 ('Golden')

Effect of mineral fertilization and organic fertilization on pineapple [*Ananas comosus* (L.) Merr.] cultivar MD2 ('Golden')

Carlos Marca-Huamancha, Ricardo Borjas-Ventura, Diana Rebaza-Fernández, Segundo Bello-Amez, Alberto Julca-Otiniano 59

Nuevos registros de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) y de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en fresas cultivadas en Venezuela

New records of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) and *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in strawberries crops in Venezuela

Yohan Solano-Rojas, Aracelis Giménez, María Pérez de Camacaro, José Morales-Sánchez, Gustavo Zurita 69

Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest quality of Roxo-de-Valinhos fresh ripe figs

Efecto del 1-metilciclopropeno en la calidad poscosecha de frutos de higos maduros de la var. Roxo-de-Valinhos

Mauro Brasil Dias Tofaneli, Francine Lorena Cuquel, José Gilberto Sousa Medeiros, Jessica Welinski de Oliveira D'angelo 75

Sección de hortalizas

- Applications of calcium and boron increase yields of Italian tomato hybrids (*Solanum lycopersicum*) in two growing seasons**
 Aplicaciones de calcio y boro aumentan la producción de híbridos de tomate Italiano (*Solanum lycopersicum*) en dos temporadas de cultivo
 Débora T. Zamban, Daiane Prochnow, Braulio O. Caron, Mônica Turchetto, Daniele Cristina Fontana, Denise Schmidt 82
- Organic compost addition to raw rice husk substrate for tomato (*Solanum lycopersicum*) hybrid variety cultivation in a leach recirculating system**
 Adición de compost orgánico al sustrato de cáscara de arroz crudo para el cultivo de variedades híbridas de tomate (*Solanum lycopersicum*) en sistema con recirculación del lixiviado
 Fernanda Carini, Roberta Marins Nogueira Peil, Gabriel Nachtigal Marques, Paulo Roberto Grolli, Rafaela Schmidt de Souza 94
- Flujo de savia y potencial hídrico en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero**
 Sap flow and water potential in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions
 Cristian Alejandro Cuellar-Murcia, Juan Carlos Suárez-Salazar 104
- Evaluación del rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero**
 Yield and phenology evaluation of three tomato cherry genotypes (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions
 Henry Alexander Cordoba, Sandra Victoria Gómez, Carlos Eduardo Núñez 113
- Habilidad combinatoria en función de la endogamia para producción y peso del fruto en *Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.**
 Combining ability in the function of inbreeding for yield and average fruit weight in *Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.
 Javier Alonso Restrepo-Salazar, Franco Alirio Vallejo-Cabrera, Edwin Fernando Restrepo-Salazar 126
- Eficacia de insecticidas botánicos sobre *Myzus persicae* (Sulzer) y *Aphis gossypii* (Clover) (Hemiptera: Aphididae) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta**
 Effectiveness of botanical pesticides on *Myzus persicae* (Sulzer) and *Aphis gossypii* (Clover) (Hemiptera: Aphididae) in greenhouse pepper crops (*Capsicum annuum* L.)
 Jorge Eduardo Castresana, Laura Puhl 136
- Brackish water: an option for producing hydroponic *Capsicum annuum* in laminar flows of mineral nutrients**
 Agua salobre: una opción para la producción de *Capsicum annuum* hidropónicos en flujo laminar de nutrientes minerales
 Adailton Conceição dos Santos, Mairton Gomes da Silva, Cácio Luiz Boechat, Denize Sampaio Chagas, Wanderson de Sousa Mendes 147
- Residuos de plaguicidas organofosforados en la cadena productiva del brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) y coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) en Colombia: aproximación a un perfil de riesgo**
 Organophosphorus pesticide residues in the production chain of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) and cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) in Colombia: approach to risk profile
 Javier Francisco Rey, Ángela María Otalvaro, María Patricia Chaparro, Lena Prieto, Alfredo López 156



Total nitrogen and humic substances in aggregates of soils with onion crops under no-tillage and conventional tillage systems

Nitrógeno total y sustancias húmicas en agregados del suelo cultivado con cebolla bajo siembra directa y preparación convencional

Luiz Henrique dos Santos, Arcângelo Loss, Cledimar Rogério Lourenzi, Monique Souza, Rogério Gonzatto, Claudinei Kurtz, Gustavo Brunetto, Jucinei José Comin 166

Elaboración de un alimento para ganado bovino a base de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante fermentación en estado sólido como una alternativa ecoeficiente

Food preparation for carrot-based cattle (*Daucus carota* L.) using solid state fermentation for an eco-efficient alternative

Dania Fonseca-López, Gabriel Saavedra-Montañez, Carlos Eduardo Rodríguez-Molano 175

Sección de plantas aromáticas y medicinales

Abonos verdes en el rendimiento del perejil y la fertilidad del suelo en Piracicaba, Brasil

Green manure in parsley production and soil fertility in Piracicaba, Brazil

Simone da Costa-Mello, Josina Nimi-Kassoma, Gustavo Quesada-Roldán, Adriano Dantas-da Silva, Mateus Augusto Donegá, Carlos Tadeu dos Santos-Dias 183

Efecto del nitrógeno y el potasio sobre el intercambio gaseoso y la distribución de biomasa en albahaca (*Ocimum basilicum* L.)

Effect of nitrogen and potassium on gaseous exchange and biomass distribution in basil (*Ocimum basilicum* L.)

Enrique Combatt C., Dairo Javier Pérez P., Alfredo Jarma-Orozco 192

Effects of indolebutyric acid, stem cutting positions and substrates on the vegetative propagation of *Stevia rebaudiana* Bertoni

Efectos de ácido indolbutírico, posiciones de estacas de tallo y sustratos sobre la propagación vegetativa de *Stevia rebaudiana* Bertoni

Guilherme Bortoloso Pigatto, Erik Nunes Gomes, Jéssica de Cássia Tomasi, Aurea Portes Ferriani, Cícero Deschamps 202

Efecto de la colchicina sobre la morfología foliar y los estomas de *Kalanchoe daigremontiana* Raym.-Hamet & H.Perrier (Crassulaceae)

Effect of colchicine on *Kalanchoe daigremontiana* Raym.-Hamet & H.Perrier (Crassulaceae) leaf morphology and stomates

Seir Antonio Salazar M., Guillermo Javier Valderrama R., Jesús David Quintero C. 212

Sección de otras especies

Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia

Physiological performance of nine cacao (*Theobroma cacao* L.) genotypes under the shadow of three forest species in Santander, Colombia

Genaro Andrés Agudelo-Castañeda, Jorge Cadena-Torres, Pedro José Almanza-Merchán, Elberth Hernando Pinzón-Sandoval 223

Sección de cambio climático

Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia

Influence of climate, soil use and soil depth on soil organic carbon content at two Andean altitudinal sites in Norte de Santander, Colombia

Ibbonne Geaneth Valenzuela B., Efraín Francisco Visconti M. 233

Artículo de revisión

Aspectos fisiológicos y de aprovechamiento de *Acacia mangium* Willd. Una revisión

Physiological and exploitation aspects of *Acacia mangium* Willd. A review

Giovanni Reyes M., Sandra Lorena Carmona G., María Elena Fernández..... 244

Política editorial | Instrucciones para autores 254

Editorial policy | Instructions to authors 258

Política editorial | Instruções aos autores 263

Suscripción 269

Son cada vez más los artículos enviados a la Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas – RCCH provenientes de varios países de América del Sur y El Caribe; para finales del mes de marzo se contaban 80 manuscritos en cola principalmente del vecino país, Brasil. El incremento de autores y lectores se debe a la reciente integración de la RCCH en nuevas bases de datos como *Academic Search Ultimate* (EBSCO) y Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico (REDIB). Por ejemplo, en este número se consideraron 25 artículos en los idiomas: español, inglés y portugués, provenientes de Colombia, Brasil, Perú, Argentina y Venezuela.

En el Comité Editorial de la revista agradecemos la labor de varios años de los investigadores Alfredo Jarma (Universidad de Córdoba, Montería, Colombia) y Luz Marina Melgarejo (Universidad Nacional de Colombia – UNAL, Bogotá) y saludamos a los nuevos miembros de este comité Hernán Mauricio Romero (UNAL, Bogotá) y Christian Ulrichs (Universidad Humboldt de Berlín, Alemania), además la vinculación de Michael Blanke (Institute of Crop Science and Resource Conservation, Bonn, Alemania) al Comité Científico de la revista.

En el caso de la Sección de frutales, ocho artículos abordan los avances científicos en siete diferentes especies desde la tolerancia a la salinidad en *Passiflora tarminiana*, efecto del boro en gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*) y la nutrición de N, P y K en tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Además de los efectos del medio ambiente sobre los pedúnculos del marañón (*Anacardium occidentale*). Por otro lado, en el cultivo de piña se estudió la fluorescencia de la clorofila tras aplicación de herbicidas y en un segundo artículo se realiza la comparación de la fertilización mineral y biológica. La sección termina con el reporte por primera vez del daño por ácaros en fresa (*Fragaria × ananassa*) para Venezuela y el efecto del 1-MCP en higo (*Ficus carica*) sobre la calidad poscosecha.

Otros 10 artículos fueron considerados en la Sección de hortalizas, la más amplia del número con cuatro ensayos en tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*). El primero investiga la nutrición de Ca y B en híbridos italianos. El segundo estudia la adición de compost sobre un sustrato de cascarilla de arroz en un sistema recirculante de lixiviados. El tercero mide el flujo de savia y potencial hídrico en tomates bajo invernadero, mientras el cuarto evalúa el rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry. En zapallo (*Cucurbita moschata*), se comprueba la habilidad combinatoria en función de la endogamia para la producción y peso del fruto. En pimiento (*Capsicum annuum*), en primer lugar, se estudia la eficacia de cuatro insecticidas botánicos en el control de pulgones, mientras en un segundo trabajo se investiga si el agua salobre es una opción para la producción de pimiento hidropónico en flujo laminar de nutrientes minerales. Para las crucíferas brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) y coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*), se proyecta un perfil de riesgo en la aplicación de plaguicidas organofosforados durante su cadena productiva. Por último en esta sección, se estudia la elaboración de un alimento para ganado bovino a base de zanahoria (*Daucus carota*) mediante fermentación en estado sólido.

Un grupo de artículos en aumento son los correspondientes a la Sección de plantas aromáticas y medicinales, donde el primero de ellos informa la aplicación de abonos verdes en el rendimiento del perejil (*Petroselinum crispum*) y la fertilidad del suelo,

mientras un segundo trabajo estudia el efecto del N y K sobre el intercambio gaseoso y la distribución de biomasa en albahaca (*Ocimum basillicum*). Un estudio subsiguiente en estevia (*Stevia rebaudiana*), trata los efectos del ácido indolbutírico sobre las posiciones de estacas y sustratos de propagación vegetativa. En la crasulácea *Kalanchoe daigremontiana*, se aborda el efecto de la colchicina sobre la morfología foliar y los estomas.

Por una parte, la Sección de otras especies presenta el desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao bajo dos especies forestales en Santander (Colombia), mientras que en la Sección de cambio climático se investigó la influencia del clima sobre el contenido de carbono orgánico del suelo en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, con respecto al uso del suelo y su profundidad.

Este fascículo termina con un artículo de revisión sobre los aspectos fisiológicos y de aprovechamiento de *Acacia mangium*.

La Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas está realizando nuevos cambios para dar respuesta a la demanda de artículos que se encuentran sometidos. Gracias al apoyo y respaldo de sus tres instituciones editoras, Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Universidad Francisco de Paula Santander en los aportes financieros, fortalecimiento de los recursos humanos y nuevos recursos tecnológicos. Por otro lado, la revista cambia su frecuencia de publicación a tres veces al año y seguirá buscando ingresar a nuevas bases e índices bibliográficos.

Gerhard Fischer

Editor en Jefe

Salinity tolerance of *Passiflora tarminiana* Coppens & Barney

Tolerancia a la salinidad de *Passiflora tarminiana* Coppens & Barney



ALEJANDRO HURTADO-SALAZAR^{1, 5}
DANIELLE PEREIRA-DA-SILVA²
JOHN OCAMPO³
NELSON CEBALLOS-AGUIRRE¹
CLAUDIO HORST BRUCKNER⁴

Plants of *Passiflora tarminiana* Coppens & Barney in hydroponic conditions with high salinity.

Foto: A. Hurtado-Salazar

ABSTRACT

Passiflora tarminiana is a climbing glycophyte, native to the Andean region that has tolerance to salinity and moderate water stress. The aim of this study was to evaluate its capacity for sodium excretion as a possible strategy for salinity tolerance and the drought. Salt excretion and excreted ion concentrations were evaluated in plants grown for seven months under various levels of salinity [(NaCl) 2.5, 4.0, and 5.5 dS m⁻¹ (25, 40 and 55 mM)] and moderate water stress (33 and 100% moisture in the substrate). The experiment design was completely randomized in a split-plot array, where the plot was determined by the percentage of water saturation (33% and 100%). The subplot had saturation levels of salinity (EC: 2.5, 4.0, and 5.5 dS m⁻¹), with five replicates. The experiment unit consisted of one plant. Salt crystals and structures of the leaf epidermis were evaluated. Salts were excreted in the adaxial leaf surface, possibly because of specialized salt secreting glands. Other structures, such as trichomes and papillae, were also observed, which are believed to also be involved in the salt tolerance of *P. tarminiana*.

Additional keywords: adaptations of plants, stress physiology, abiotic stress, Passifloraceae, genetic resources.

¹ Department of Agricultural Production, Universidad de Caldas, Manizales (Colombia). ORCID Hurtado-Salazar, A.: 0000-0002-1251-125X; ORCID Ceballos-Aguirre, N.: 0000-0002-8463-3379

² Department of Plant Science, Universidad Federal de Goiás, Jataí-GO (Brazil). ORCID Pereira-da-Silva, D.: 0000-0001-7366-5650

³ Department of Biology, Universidad Nacional de Colombia, Palmira (Colombia)/Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali (Colombia). ORCID Ocampo, J.: 0000-0002-2720-7824

⁴ Department of Plant Science, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG (Brazil). ORCID Bruckner, C.H.: 0000-0002-6249-3686

⁵ Corresponding author. alhuza@gmail.com

RESUMEN

Passiflora tarminiana es una glicofita trepadora, nativa de la región andina que tiene tolerancia a la salinidad y estrés hídrico moderado. El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad para la excreción de sodio como una posible estrategia de esta especie para la tolerancia a la salinidad y a la sequía. La excreción de sal y las concentraciones de iones excretados se examinaron en plantas cultivadas durante siete meses bajo varios niveles de salinidad [(NaCl) 2,5; 4,0 y 5,5 dS m⁻¹ (25, 40 y 55 mM)] y de estrés hídrico moderado (33 y 100% de humedad en el sustrato). El experimento fue llevado a cabo en un diseño completamente al azar con un arreglo de parcelas subdivididas, donde la parcela constituye el porcentaje de saturación de agua (33 y 100%), la subparcela los niveles de saturación de sal (CE: 2,5; 4,0 y 5,5 dS m⁻¹), con cinco repeticiones, y la unidad experimental compuesta por una planta. Se evaluaron los cristales de sal y las estructuras de la epidermis foliar. Las sales fueron excretadas en la superficie adaxial de la hoja, posiblemente debido a las glándulas secretoras de sal especializadas. Se observaron otras estructuras como tricomas y papilas, que se cree que también están implicadas en la tolerancia a la salinidad en *P. tarminiana*.

Palabras clave adicionales: adaptación de plantas, fisiología del estrés, estrés abiótico, Passifloraceae, recursos genéticos.

Received for publication: 24-07-2017 Accepted for publication: 30-01-2018

INTRODUCTION

Passionfruit crops have contributed to regional development in different countries such as Colombia, Ecuador and Brazil; the availability of moisture is a constraint on development because of low rainfall in cultivable land; thus, soil salt concentration is increased. In most cultivated plants, sensitivity to salinity and drought conditions are associated with the inability to prevent and/or tolerate high concentrations of salts. In light of this, the capacity for salt exclusion is an important mechanism of tolerance (Moriuchi *et al.*, 2016).

Productivity and development of plants of the genus *Passiflora* are affected by solar radiation, temperature, sunshine and soil moisture loss. Factors such as water stress and extreme conditions of salinity (≥ 2.5 dS m⁻¹) limit the productive potential of passion fruits (Dias *et al.*, 2012). Therefore, to achieve good yield and good quality of fruits when environmental conditions are not favorable, it is imperative that we understand how these plants adapt to extreme conditions of salinity and hydric conditions to start breeding programs for improving their adaptability to abiotic stress. As of date, there is little information on the physiological mechanisms that determine differential behaviors in *Passiflora*. Strategies for osmotic adjustment in halophytes and glycophytes are

expensive in terms of physiological maintenance, determined by the efficiency in the synthesis of organic compounds, transport and ion repair, changing structures and cellular components (Saied *et al.*, 2010). In general, halophilic plants have a greater ability to accumulate ions in cells in the aerial part of the plant, as compared to glycophytes; however, there is little information on the excretion of salt as an adaptation strategy that allows for the control and regulation of salt contents in the organs of *P. tarminiana* plants, which are predominantly glycophytes.

The excretion mechanism is characterized by high selectivity for sodium and against potassium and calcium (Kim and Park, 2010). In addition, chloride excretion was observed in many halophytes. However, excretion of NaCl crystals has not been reported in *P. tarminiana*.

In accordance with Montaña *et al.* (2014), the emergence was statistically significant in seeds treated with 30 mM NaCl (0.71 dS m⁻¹), and, with a higher concentration, 60 mM (1.25 dS m⁻¹), 90 mM (1.69 dS m⁻¹) and 120 mM NaCl (2.30 dS m⁻¹ of the substrate), the emergence was reduced. A benefit in germination was observed with the addition of NaCl, and higher concentrations saw a decline in the chlorophyll

contents of the seedling cotyledons. Thus, the ability to germinate and emerge under low saline stress conditions could indicate that the purple passion fruit possesses a genetic potential for salt tolerance, at least during the primary developmental stages.

According to Miranda *et al.* (2010), this behavior does not necessarily suggest that plantlets initiated in saline stress conditions can continue to grow and complete their adult plant life cycle under these conditions. Casierra-Posada *et al.* (2011) evaluated the growth of banana passionfruit seedlings (*P. tripartita* var. *mollissima* (Kunth.) L. H. Bailey) under saline stress and found that the leaf area and dry matter (DM) production were drastically reduced by salinity, especially by 80 mM NaCl. The DM partitioning was also affected by salinity, reducing DM accumulation in leaves and increasing the DM in petioles + stems + shoots and roots. The findings from that study indicated that banana passion fruit seedlings are moderately sensitive to salt stress.

Meanwhile, the impact of salt restriction in the development and abundance of the structures involved in salt excretion, such as glands, have not been investigated. *P. tarminiana* specie was considered, previously evaluated, characterized and selected in several producing regions of Colombia, based on the improvement program (Ocampo *et al.*, 2017), highlighting the need of identifying an accession of Passifloraceae family capable to tolerate stressful conditions. Thus, the purpose of this work was to investigate the ability of *P. tarminiana* to thrive under high salinity levels, to identify the mechanism for Na excretion and, finally, to find morphological and structural features that can explain this plant's tolerance.

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted between January 2015 and February 2016 under hydroponic conditions in a greenhouse at the Universidad de Caldas, with the coordinates 5°03'23.31" N at 75°29'41.56" W, an altitude of 2,130 m a.s.l., an average external temperature of 18°C, an average annual rainfall of 2,000 mm and an average relative humidity of 78%.

Plant material and saline treatment

As plant material *P. tarminiana* specie of commercial interest was considered, previously evaluated, characterized and selected in several producing regions

of Colombia, based on the improvement program (Ocampo *et al.*, 2017); procedence from the University of Caldas (Manizales, Colombia), identification (m15-Calmol01/2015) (Hurtado-Salazar, 2016). *Passiflora* accessions were collected in farmers' fields and sown in a germplasm bank, financed by the Ministry of Agriculture (Bogota, Colombia).

Two hundred forty seeds of commercial accession m15-Calmol01 (*P. tarminiana*) were sown, germinated in a hydroponic bed containing rice husk as the substrate. The moisture was maintained until the time of transplant. After 15 d of germination, 54 seedlings were selected, ensuring the greatest possible uniformity of the root system. Subsequently, the seedlings were transferred to hydroponic beds, 6.0×1.2 m, to ensure irrigation according to the preset treatments (33 and 100% water saturation and salt saturation levels EC: 2.5, 4.0 and 5.5 dS m⁻¹).

The vertical shoot driving system was used (one thread), with a No. 12 galvanized wire, at 2 m from the floor of the greenhouse hydroponic beds. The seedlings were staked to a single stem, with weekly pruning of the side branches. When the main stems surpassed the wire by 20 cm, they were bent downward, forming a loop, and the secondary and tertiary branches were maintained.

The salinization treatment with NaCl applications (25, 40 and 55 mM) was initiated 8 d after transplantation to achieve the desired electrical conductivity in each treatment. The irrigation with each solution had a treatment of salinity. In the control treatment, the plants were watered with a nutrient solution without a further increase in salts. The experiment had a completely randomized design with a split-plot arrangement, where the plot contained the water saturation factor (33 and 100%), the subplot contained the salt saturation levels, with five replicates, and the experiment unit was composed of a single plant.

Hoagland and Arnon's nutrient solution (1950) was used, as modified by Niu *et al.* (2015). To ensure the salinity of the treatment, each solution was brought to an EC value with the addition of reagent level sodium chloride (99% purity). The nutritional solution was renewed once a week. After 7 months of treatment, the third fully expanded upper leaves were selected for scanning analysis of the epidermal structures.

A quantitative characterization was carried out using four samples of the leaf micromorphology from

digital images of the adaxial and abaxial leaf surfaces, recorded in an electron microscope for environmental scanning (SEM *Scanning Electron Microscope*, QUANTA 250 FEI, Philips, Eindhoven, The Netherlands). Ten repetitions of each leaf sample were taken. The epidermal structures and stomatal density were analyzed with direct counting in the micrographs of the different samples of fresh leaves. The samples were collected from the upper leaves from the third pair of the apex and the last basal pair of the plants in the saline treatments. Similarly, the elemental composition of the leaves was determined with energy dispersive X-ray microanalysis (EDX model GENESIS APEX2i) coupled to a scanning electron microscope (SEM) as described by Hunsche *et al.* (2010). In the SEM-EDX procedure, the X-rays were recorded separately on both sides (adaxial and abaxial) of fresh leaves, as well as the salt crystal deposits. The equipment settings (working distance of 10 mm, 0.3 Torr sample chamber pressure, 20 kV beam energy, 5.3 spot size and 509 amplification) were optimized to collect X-rays from the surface layers of the tissue, which were kept constant during the measurements. Micrographs were taken randomly from the mid portion of the second upper leaf.

For the statistical analysis of the results, an analysis of variance and mean comparison tests were performed with Duncan's test, using the SAS (Statistical Analysis System, v. 9.2, SAS institute, Cary, NC, USA) statistical package.

RESULTS

In the plants grown in high salinity (5.5 dS m^{-1}), salt excretion was done through crystal deposits on the

surface of the leaves (Fig. 1 - a1, b1 and c1). In the control treatment, however (2.5 dS m^{-1}), no presence of crystals was observed, and an increase in the density of salt crystals was denoted with the increase of salinity in the medium, from 2.5 to 5.5 dS m^{-1} . In the SEM micrographs (Fig. 1 - b2, c2, d1, d2 and d3), the salts were crystallized as a cubic system, which is well known as the NaCl system (Driesner and Heinrich, 2007). This hypothesis of ion exclusion is corroborated with an EDX microanalysis (Tab. 1). This analysis showed a higher presence of sodium in the lower leaves, as well as the other analyzed ions.

Basal leaves were analyzed to check the effect of salt exclusion by "saline glands". The contents of ions in the secretions collected from the leaves of the seedlings samples were measured and expressed as percentages. White crystals, composed mainly of Na, K, Al and Si, were observed. In leaves sampled in the field, minimal amounts of K were found (0.04 to 0.67 in the middle and 1.87 to 2.38 in the basal part). The leaves grown with high salt concentrations showed higher amounts of secretion than the leaves of untreated seedlings. As observed, the abundant ions included Na^+ (0.32 to 0.63 in the middle and 1.15 to 2.72 in the basal part) and Si^+ (21.19 to 32.45 in the middle and 21.51 to 37.66 in the basal part) in the secretions of the seedling leaves (Tab. 1).

P. tarminiana leaves are characterized by a smooth surface and trichomes on both leaf sides, whereas cuticular folds were observed only at the upper side along with stomata at the lower leaf lamina (Fig. 2). The abaxial surface was undulated because of a regular alternation of the ribs (Figs. 2B and 2D). Meanwhile, three epidermal structures were found on both sides of the leaves. Short trichomes were

Table 1. Composition of the crystals present in *Passiflora tarminiana* leaves, both sides (adaxial and abaxial), in the mid and basal part of the stem of the plants. X-ray spectrum of salt crystal deposit on a leaf surface treated with 5.5 dS m^{-1} . The spot diameter was 1 mm; the acceleration voltage was 25 kV; the analysis time was 15 s; and the working distance was 10 mm.

Sample	Carbon (%)	Oxygen (%)	Sodium (%)	Aluminum (%)	Silicium (%)	Potassium (%)
Mid	10.04 b	50.90 a	0.63 b	1.35 c	21.19 b	0.30 c
Mid	12.36 b	51.13 a	0.61 b	2.42 bc	32.45 ab	0.04 c
Mid	11.23 b	51.015 a	0.32 b	1.38 c	26.82 b	0.67 c
Basal	18.17 a	49.71 a	2.72 a	6.03 a	21.51 b	1.92 ab
Basal	10.14 b	42.56 b	1.15 a	4.37 b	37.66 a	1.87 ab
Basal	17.17 a	50.44 a	1.84 a	6.01 a	34.40 a	2.38 a
CV (%)	0.34	0.23	1.12	3.34	8.94	0.87

Means followed by different letters differ significantly according to the Duncan's test ($P \leq 0.05$).

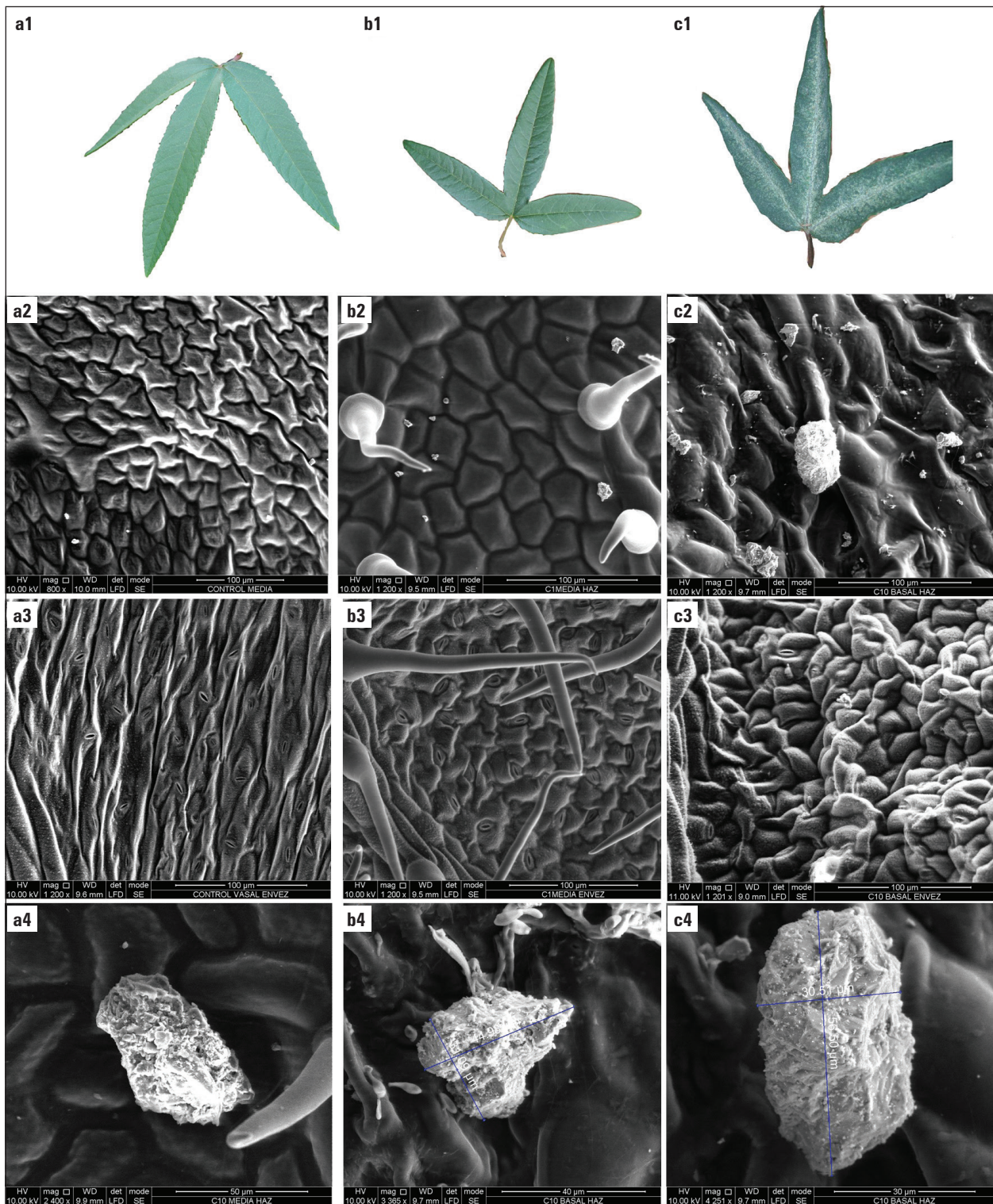


Figure 1. a1, b1 and c1: salt excretion from the adaxial side of *Passiflora tarminiana* leaves treated with 2.5; 4.0; and 5.5 dS m⁻¹, observed with the naked eye. a2, b2 and c2: micrographs of the adaxial side of leaves of plants treated with 2.5; 4.0; and 5.5 dS m⁻¹, a3, b3, and c3: micrographs of the abaxial side of the leaves of the plants treated with 2.5; 4.0; and 5.5 dS m⁻¹. d1, d2, d3: micrographs of salt crystals observed on the adaxial leaf surface of plants treated with 5.5 dS m⁻¹.

present with sharp edges (Figs. 2A and 2C) only in the adaxial side and along the edges. Papillae were observed as protuberances on the surface of the abaxial leaf epidermis. They were numerous and occupied the entire surface of the leaf (Figs. 2B and 2D). Stomata were present only in the abaxial leaf surface (Figs. 2B and 2D), classified as hypostomatic and with equal stomatal density, independent of the saline treatment. In the control plants, the stomata protruded on the surface, while those treated with the saline medium (5.5 dS m^{-1}) had stomata below the layer of epidermal tissue.

The results showed that the salinity promoted variations in the stomatal density, with a range of 189.32 to 196.34 and a tendency to decrease as a consequence of increased salt concentration applications. Thus, the analyzed plant material was classified into two statistical groups (Tab. 2). The stomatal density was lower in the *P. tarminiana* leaves when the salinity levels and drought increased. The conditions of 5.5 dS m^{-1} and 33% moisture presented the lowest values of stomatal density with 189.32 stomata/ mm^2 . The largest number of stomata was seen with 2.5 dS m^{-1} and 100% moisture with 196.34 per mm^2 (Tab. 2).

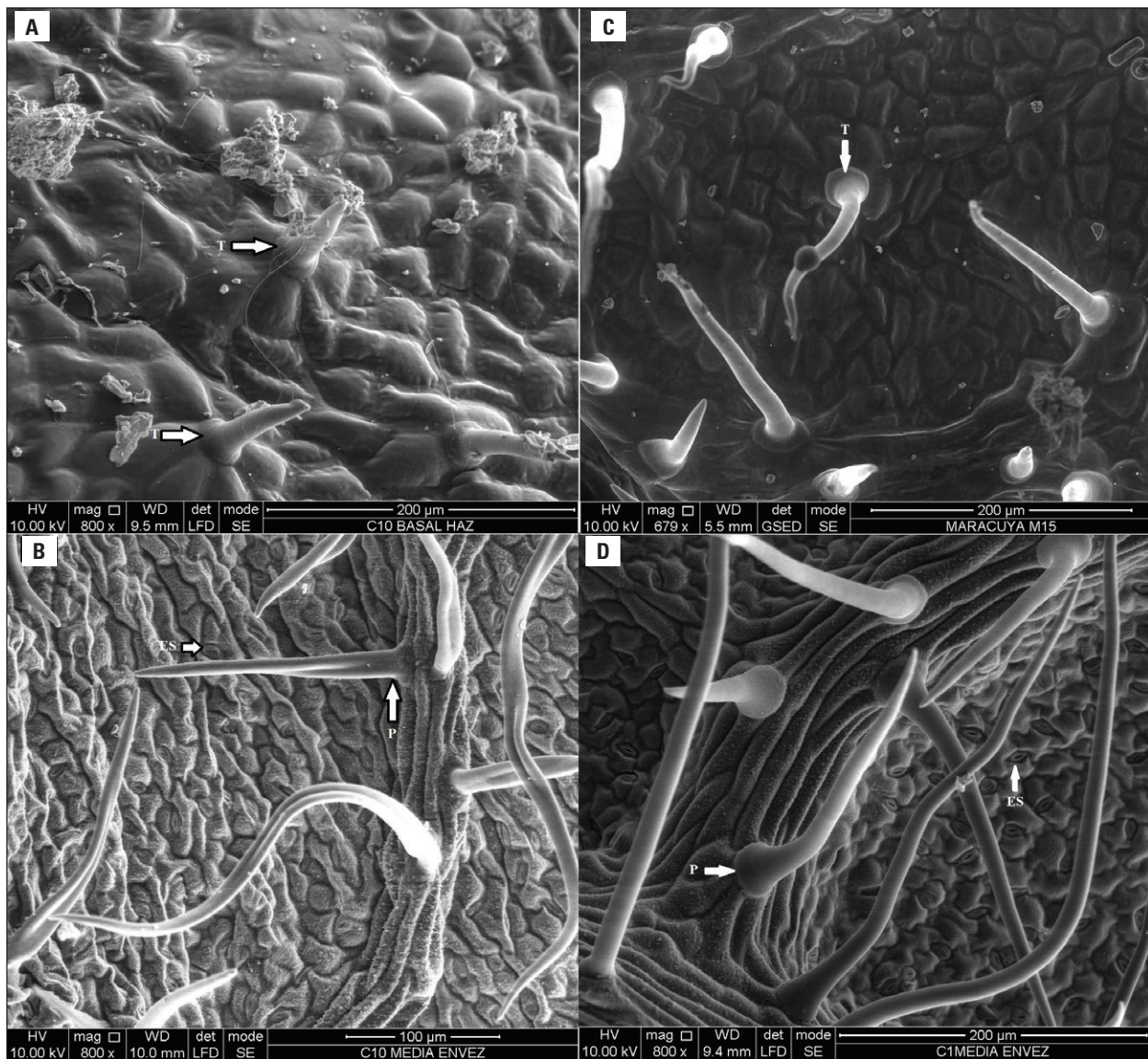


Figure 2. SEM micrographs of adaxial (A, C) and abaxial (B, D) of the leaves of *P. tarminiana* treated with 5.5 dS m^{-1} . T: trichomes, ES: stomata, and P: papillae.

Table 2. Influence of moisture and salinity on stomatal density in *Passiflora tarminiana*.

Water level (%)	Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	Stomata density (Stomata/mm ²)
100	2.5	196.34 a
100	4.0	195.45 a
100	5.5	193.98 ab
33	2.5	194.11 a
33	4.0	190.01 ab
33	5.5	189.32 b
CV (%)		11.12

Means followed by different letters differ significantly according to the Duncan's test ($P \leq 0.05$).

DISCUSSION

According to Shin *et al.* (2012), high selectivity for sodium excretion was found in *Glaux maritime* L. However, in other species, small crystals were found with relatively large amounts of potassium, calcium and magnesium salts among those excreted in *Odyssea paucinervis* Stapf and *Tamarix aphylla* (L.) H.Karst. (Somaru *et al.*, 2008). In addition, an EDX microanalysis showed that the salt deposited on the surface of the leaves of plants under salt stress was essentially sodium (Tab. 1). Each crystal contained many cube-shaped elements and probably a salt gland below (Fig. 1 - d1, d2, d3). Hunsche *et al.* (2010) studied the mechanisms of salt tolerance in seedlings of fiori (*Grewia tenax* Forssk.) and tamarind (*Tamarindus indica* L.) grown under controlled conditions and treated daily with NaCl solutions and confirmed with energy dispersive X-ray microanalysis that, in both species, the absorption of sodium and chloride increases with increased NaCl concentrations in the treatment solution.

Sodium is excluded from the tops of many plants, and hence accumulation of this ion in the leaves of such plants, which apparently are rather sensitive to it, is avoided. The barrier to sodium transport is effective at moderate external sodium concentrations. At high external concentrations, and as a result of prolonged growth in a saline medium, sodium contents are found to increase in the stems and sometimes also in the leaves of so-called Na non-accumulator plants. It is assumed that sodium movement might be restricted by the membranes of certain extrastelar tissue, excluding it from the vascular system. According to Yoshida *et al.* (2016), the autoradiographs of bean

plants (*Phaseolus vulgaris* L.) show that Na²² is retained in the basal parts of the plant.

In general, the *P. tarminiana* species uses specific functional cellular mechanisms to prevent or remedy the harmful effects of absorbed salts. When plants are acclimated to an altered environment, they are subject to adjustments in leaf morphology, chloroplast composition (pigment) and activity of biochemical processes that prevent oxidative damage to the photosystem (Saied *et al.*, 2010). These events take place simultaneously and quickly in order to mobilize all the metabolic apparatus for adaptation and survival of the plants. The adaptation of plants to NaCl involves metabolic events such as synthesis of organic solutes and ion partitioning (Moriuchi *et al.*, 2016). However, responses to salinity include changes in leaf properties such as thickness, surface micromorphology and cuticular wax. These results contradict Casierra-Posada *et al.* (2011), who suggest that salinity does not only reduce the growth of banana passionfruit seedlings, but also alters the DM partitioning in different plant organs, as an adaptive mechanism to salinity. This study suggested that the banana passionfruit is moderately sensitive to saline stress. In another study by Casierra-Posada *et al.* (2013), a DM reduction closely followed the trend in the photosystem II maximum quantum yield (Fv/Fm), which suggests that the major impact of salinity on the banana passionfruit plants was due to negative effects on photosynthesis.

In this *Passiflora*, Na⁺ secretions of the fractions are probably mediated by two different mechanisms (accumulation and excretion), which, according to Kim and Park (2010), can be independent. In this study, it was found that salt excretion began on the fourth week of the saline treatment. Therefore, the independence and the succession of two mechanisms seemed obvious. The salt absorbed by the roots is probably accumulated in the tissues and then excreted by glands. Moreover, according to Casierra-Posada *et al.* (2011), salinity stress imposes additional energy requirements on plant cells and diverts metabolic carbon to storage pools so that less carbon is available for growth.

The number of stomata per area may vary depending on the environmental conditions (humidity, temperature, light), to which the leaf is subjected during cell division and elongation (Arioli *et al.*, 2008). Several studies have shown that, with a higher intensity of salinity of the solution, there is a decrease in

stomatal density (Reyes-López *et al.*, 2015), which provides a greater distance between the stomata, leading to a reduced transpiration. There is a hypothesis that, despite morphological and physiological differences, a species may have stress tolerance mechanisms and remediation expressed by metabolic changes induced by salinity and drought. A methodological view with negative consequences for this study says that the seedlings were grown from seeds and, therefore, there was a genetic variability of unknown magnitude (Saied *et al.*, 2010), which may have affected the response to the addition of salt in the measured parameters although further studies to reinforce this hypothesis are needed.

In *P. tarminiana*, excess salt was probably secreted by glands distributed throughout the adaxial leaf surface. The glands appear in longitudinal lines in accordance with the Na⁺ in the adaxial surface (Fig. 2D). These glands were relatively large compared to other epidermal structures. According to Esteban *et al.* (2013), this expulsion of ions is fully reversible and its expression diminishes when conditions become favorable (low salinity). The dissolution of salt crystals may occur, forming drops associated with the transpiration of the plant. Therefore, as a detoxification mechanism developed mainly to avoid osmotic imbalance in tissues, salt excretion by leaves is an example of "adaptation", as it has positive effects on the photosynthetic performance of plants, protecting them from overheating and stress from excess radiation during the most severe periods. This same author, in different species such as *Mesembryanthemum crystallinum* L., observed that sodium accumulates and is deposited in a gradient along the growth axis, with the highest concentration deposited on parts of the youngest leaves where it is sequestered within the central vacuole the cells. This is in contrast to what happens in glycophytes, which drive the sodium to the mature parts of the plant in an attempt to maintain functional roots.

In addition to the removal of sodium from photosynthetic tissues, bladder cells act as water deposits for photosynthetic cells (mesophilic) located within the leaf (Esteban *et al.*, 2013). Possibly, this is the behavior in *P. tarminiana*. In general, *P. tarminiana* seems to be able to survive with salinity up to 5.5 dS m⁻¹ (NaCl), which can be considered as high, with the removal of toxic ions. Possibly, the excretion of excess salt was done through epidermal glands. Sodium, in addition to other inorganic ions, is used for osmotic adjustment. Further research is needed to clarify

the epidermal structures that excrete salt in stressed plants of the Passifloraceae family.

CONCLUSIONS

Passiflora tarminiana presented a mechanism of tolerance and adaptation in conditions of abiotic stress resulting from excess salinity through the excretion of salts in the lower leaves, possibly through the presence of salt excretory glands. In addition to salt excretory glands, other structures of the epidermis such as papillae and trichomes were observed, all of them probably involved in *P. tarminiana* salinity tolerance.

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

BIBLIOGRAFIC REFERENCES

- Arioli, T., C. Voltolini, and M. Santos. 2008. Leaf morphology of the rheophyte *Raulinoa echinata* R. S. Cowan - Rutaceae. *Acta Bot. Bras.* 22(3), 723-732. Doi: 10.1590/S0102-33062008000300010
- Casierra-Posada, F., J.E. Peña-Olmos, and E. Tejedor. 2011. Growth of banana passionfruit seedlings (*Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) under saline stress. *Rev. UDCA Actual. Divulg. Cient.* 14(1), 31-38.
- Casierra-Posada, F., J.E. Peña-Olmos, and G. Vaughan. 2013. Photochemical efficiency of photosystem II and growth in banana passionfruit plants (*Passiflora tripartita* (Juss.) var. *mollissima* (Kunt) L.H. Bailey under salt stress. *Acta Agron.* 62(1), 21-26.
- Dias, J.T., R.J. Sa, M.N. Silva, S.A.G. Dantas, L.F. Cavalcante, V.B. Campos, and A.A. Miguel. 2012. Crescimento das plantas de maracujazeiro amarelo após o transplantio. pp. 97-137. In: Cavalcante, L.F. (ed.) O maracujazeiro amarelo e a salinidade da água. Sal da Terra, João Pessoa-PB, Brasil.
- Driesner, T. and C. Heinrich. 2007. The system H₂O–NaCl. Part I: correlation formulae for phase relations in temperature–pressure–composition space from 0 to 1000 C, 0 to 5000 bar, and 0 to 1 X_{NaCl}. *Geochim. Cosmochim. Acta* 71(20), 4880-4901. Doi: 10.1016/j.gca.2006.01.033
- Esteban, R., B. Fernandez-Marin, A. Hernandez, E. Jimenez, A. Leon, C.D. Garcia, J.R. Dolmus, C.M. Dolmus, M.J. Molina, N.N. Gutierrez, M.I. Loaisiga, P. Brito, and J.I. Garcia-Plazaola. 2013. Salt crystal deposition as a reversible mechanism to enhance photoprotection

- in black mangrove. *Trees* 27, 229-237. Doi: 10.1007/s00468-012-0790-8
- Hunsche, M., K. Burling, A.S. Saied, M. Schmitz-Eiberger, M. Sohail, J. Gebauer, G. Noga, and A. Buerkert. 2010. Effects of NaCl on surface properties, chlorophyll fluorescence and light remission, and cellular compounds of *Grewia tenax* (Forssk.) Fiori and *Tamarindus indica* L. leaves. *Plant Growth Regul.* 61(3), 253-263. Doi: 10.1007/s10725-010-9473-x
- Hurtado-Salazar, A. 2016. Tolerância ao estresse abiótico (salinidade e seca) e influência de porta-enxertos na qualidade de frutos em *Passiflora* spp. Ph.D. thesis. Federal University of Viçosa, Viçosa, Brazil.
- Kim, I. and S.J. Park. 2010. Ultrastructural characteristics of three chenopod halophytes lacking salt excretion structures. *J. Plant Biol.* 53(4), 314-320. Doi: 10.1007/s12374-010-9119-6
- Miranda, D., CH. Ulrichs, and G. Fischer. 2010. Imbibition and percentage of germination of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) seeds under NaCl stress. *Agron. Colomb.* 28, 29-35.
- Montaña, L.A., G. Fischer, S. Magnitskiy, and G. Zuluaga. 2014. Effect of NaCl salinity on seed germination and seedling emergence of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Agron. Colomb.* 32(2), 188-195. Doi: 10.15446/agron.colomb.v32n2.38287
- Moriuchi, K.S., M.L. Friesen, M.A. Cordeiro, B.J. Main, M.E. Aouani, S.V. Nuzhdin, S.Y. Strauss, and E.J.B. Wettberg. 2016. Salinity Adaptation and the Contribution of Parental Environmental Effects in *Medicago truncatula*. *PLoS ONE* 11(3), e0150350. Doi: 10.1371/journal.pone.0150350
- Niu, F.Z., L. Donglin, M.W. Zhihui, and P. Alem. 2015. Morphological response of eucalypts seedlings to phosphorus supply through hydroponic system. *Sci. Hortic.* 194, 295-303. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.08.029
- Ocampo, J., G. Coppens d'Eeckenbrugge, and G. Morales. 2017. Genetic resources of Colombian *Tacsonias* (*Passiflora* supersection *Tacsonia*): A biological treasure still to discover, use and conserve. *Passiflora Online J.* 10, 24-53.
- Reyes-López, D., J. Quiroz-Valentín, H.A. Kelso-Bucio, M. Huerta-Lara, C.H. Avendaño-Arrazate, and R. Lobato-Ortiz. 2015. Stomatal characterization of five species of the genus *Vanilla*. *Agron. Mesoam.* 26(2), 237-246. Doi: 10.15517/am.v26i2.19279
- Saied, A.S., M. Sohail, J. Gebauer, and A. Buerkert. 2010. Response of *Grewia tenax* (Forssk.) Fiori to NaCl-induced salinity. *Eur. J. Hortic. Sci.* 75(1), 42-50.
- Shin, H.T., M.H. Yi, J.S. Shin, B.C. Lee, and J.W. Yoon. 2012. Distribution of rare plants- Ulsan, Busan, Yangsan. *J. Korean Nature* 5(2), 145-153. Doi: 10.7229/jkn.2012.5.2.145
- Somaru, R., Y. Naidoo, and G. Naidoo. 2008. Morphological and physiological responses of the halophyte, *Odysea paucinervis* (Staph) (Poaceae), to salinity. *Flora* 203(5), 437-447. Doi: 10.1016/j.flora.2007.08.003
- Yoshida, Y., R. Marubodee, E. Ogiso-Tanaka, K. Iseki, T. Ise-mura, Y. Takahashi, C. Muto, K. Naito, A. Kaga, K. Okuno, H. Ehara, and N. Tomooka. 2016. Salt tolerance in wild relatives of adzuki bean, *Vigna angularis* (Willd). *Genet. Resour. Crop. Evol.* 63(4), 627-637. Doi: 10.1007/s10722-015-0272-0

Efecto de la aplicación foliar de boro en el desarrollo fenológico y cuajado de fruto de gulupa (*Passiflora edulis f. edulis* Sims)

Effect of foliar applications of boron on the phenological development and fruit set of purple passion fruits (*Passiflora edulis f. edulis* Sims)

IVONNE A. QUIROGA-RAMOS^{1, 3, 4}
GERHARD FISCHER²
LUZ MARINA MELGAREJO³

Fructificación en frutos de gulupa.

Foto: I.A. Quiroga-Ramos



RESUMEN

La gulupa es un frutal nativo producido en Colombia y exportado a diferentes mercados internacionales. Los principales problemas que afectan la producción del cultivo están relacionados con la floración y fructificación, debido a limitaciones nutricionales, como la deficiencia de boro (B). La presente investigación tuvo como objetivo, evaluar el efecto de la aplicación foliar de B en el desarrollo fenológico y cuajado del fruto en plantas de gulupa bajo condiciones de campo. El estudio se llevó a cabo en una plantación experimental del municipio de Pasca (Cundinamarca, Colombia), ubicado a 2.006 msnm. Los tratamientos correspondieron a la aplicación foliar de tres dosis de ácido bórico (0; 0,3; 0,6 y 0,9 kg ha⁻¹) aplicados en la etapa de botón floral y cuajado del fruto, durante dos ciclos productivos. Se evaluaron la longitud de las ramas productivas, el número de entrenudos, el porcentaje de cuajado del fruto, el diámetro del fruto y la emisión de botones florales y frutos. La aplicación foliar de B en las dosis evaluadas aumentó la longitud de ramas secundarias, la emisión de botones florales y frutos, y el porcentaje de cuajado del fruto. Los mejores resultados de crecimiento en el primer y segundo ciclo se lograron con 0,3 kg ha⁻¹; aunque el porcentaje de cuajado del fruto del tratamiento 0,6 kg ha⁻¹ fue óptimo para el primer ciclo de producción (85,19%) seguido por 0,3 kg ha⁻¹ para el segundo ciclo

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Quiroga-Ramos, I.A.: 0000-0003-4609-0470

² Consultor científico; investigador emérito Colciencias, Bogotá. ORCID Fischer, G.: 0000-0001-8101-0507

³ Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Melgarejo, L.M.: 0000-0003-3148-1911

⁴ Autor para correspondencia. iaquirogar@unal.edu.co

de producción (90%). Los frutos del tratamiento 0,3 kg ha⁻¹ desarrollaron un mayor diámetro ecuatorial desde los 21 días después de transplante (ddt), alcanzando el máximo diámetro (55,68 mm) a los 136 ddt.

Palabras clave adicionales: crecimiento, entrenudos, fruto de la pasión, diámetro de fruto, Passifloraceae.

ABSTRACT

Gulupa or purple passion fruit is a native fruit produced in Colombia and exported to different international markets. Some problems affecting crop production are related to flowering and fruiting, mainly because of nutrient limitations, such as boron (B) deficiency. The objective of this research was to evaluate the effect of foliar boron spraying on the phenological development and fruit set of gulupa plants grown under field conditions. This study was carried out in an experimental plantation in the municipality of Pasca (Cundinamarca, Colombia), located at 2,006 m a.s.l. The treatments consisted of three doses of boric acid: T50, T100, T150, and a control, T0, with foliar spray applications in the floral bud and fruit set stages, during two consecutive productive cycles. The length of the productive branches, number of internodes, percentage of fruit set, fruit diameter, and emission of flower buds and fruits were evaluated. The foliar applications of B at the evaluated rates increased the length of the secondary branches, emission of flower buds and fruits, and percentage of fruit set. The best growth results in the first and second cycles were achieved with the T50 treatment although, in terms of fruit set percentage, the T100 treatment was optimal for the first production cycle (85.19%), followed by the T50 treatment for the second production cycle (90%). The fruits of the treatment 0.3 kg ha⁻¹ developed a larger equatorial diameter from 21 days after planting (dap), reaching the maximum diameter (55.68 mm) at 136 dap.

Additional key words: growth, internodes, purple passion fruit, fruit diameter, Passifloraceae.

Fecha de recepción: 25-10-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

La gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) es un frutal perenne de crecimiento indeterminado. En Colombia, es la segunda especie de importancia económica dentro del género *Passiflora* por su alta demanda en mercados internacionales. Puede consumirse en fresco y procesada, caracterizándose por su contenido nutricional, sabor y aroma (Ocampo *et al.*, 2007; Jiménez *et al.*, 2011).

El seguimiento al desarrollo fenológico en etapa reproductiva y productiva de frutos, permite construir curvas de crecimiento y desarrollo, las cuales son útiles para optimizar las prácticas y planes de manejo del cultivo. Recientemente el estudio de la fenología de especies frutales fue enfocado a la respuesta frente a variaciones climáticas (Yaacoubi *et al.*, 2014); sin embargo, algunos autores consideran que el aumento

en los recursos nutricionales también puede influir en el desarrollo fenológico de las especies (Chmielewski, 2013). Se ha reportado que la producción de algunos frutales se ve comprometida por la pérdida de flores y frutos durante el cuajamiento, las cuales están relacionadas con factores bióticos y abióticos, actividad hormonal y estado nutricional de la planta (Mengel *et al.*, 2001; Lahav and Whiley, 2002). En algunas especies frutales se ha demostrado que la deficiencia de algunos micronutrientes, principalmente del boro (B), afectan la floración y fructificación (Muhammad *et al.*, 2015).

El B desempeña un papel estructural como componente del complejo Rhamnogalacturonano II (RGII) que une polisacáridos de la pared celular y la lámina media (Kobayashi *et al.*, 2011; Reid, 2004), ocasionando

que la deficiencia de este elemento presente efectos anatómicos, fisiológicos y bioquímicos, como daños en la expansión celular e integridad de membranas, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas (Mei *et al.*, 2016).

El B también se ha reportado en procesos como el desarrollo floral, en varios cultivos. La deficiencia de este elemento causa limitada producción de flores, baja producción y viabilidad de polen, infertilidad de flores y caída prematura de flores y frutos (Nymora y Brown, 1997; Perica *et al.*, 2001). Se considera que esos efectos pueden ser observados en ausencia de síntomas vegetativos o reducción del crecimiento, lo que indica que el requerimiento de B en los tejidos reproductivos es mayor que en los tejidos vegetativos, o que la liberación del B a los tejidos reproductivos es limitada (Iwai, 2006).

Estudios recientes han reportado que el bajo porcentaje de cuajado de fruto de algunas especies frutales está asociado a pistilos subdesarrollados, producción de flores más pequeñas y poca viabilidad del polen. Estos fenómenos están relacionados con bajos contenidos de almidón y translocación de carbohidratos a estas estructuras, lo cual a su vez está relacionado con deficiencias nutricionales asociadas con B en la etapa de floración y fructificación. Lo anterior ha sido bien documentado para las especies *Prunus armeniaca* (Rodrigo *et al.*, 2000), *Persea americana* (Boldingh *et al.*, 2016) y *Punica granatum* (Davarpanah *et al.*, 2016). Así mismo, se ha demostrado que la aplicación foliar de B genera un efecto positivo en la germinación del polen y en el crecimiento del tubo polínico, aumentando así el porcentaje de cuajado de fruto (Sarkar *et al.*, 2007).

Pocos reportes se encuentran acerca del efecto de la aplicación de B en especies de *Passiflora* en etapa productiva. Freitas *et al.* (2006, 2011) indican que en *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* bajo deficiencia de B se presentan flores secas, con deformaciones, número y tamaño anormal de estilos y estigmas, reducción en el número de frutos por planta y menor peso de los frutos.

Para el caso de *P. edulis* Sims f. *edulis* se ha estudiado la fenología reproductiva y el crecimiento del fruto en diferentes zonas bajo condiciones ambientales (Flórez *et al.*, 2012); sin embargo, no se ha documentado el efecto de la fertilización foliar con B en el crecimiento y desarrollo de estructuras reproductivas y el cuajado de frutos.

Teniendo como base la importancia que tiene el B en especies frutales, sumado al hecho que existe poca información acerca del efecto de su aplicación foliar en plantas de *P. edulis* Sims f. *edulis* y de la relación del micronutriente con el desarrollo fenológico en etapa demandante, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de B en el desarrollo fenológico durante la etapa productiva y cuajado de frutos de *P. edulis* Sims f. *edulis* bajo condiciones de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones de crecimiento

Las plantas de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) se establecieron en el municipio de Pasca (Cundinamarca, Colombia), en la vereda San Pablo, en la finca Bellavista, ubicada a 4°18'45,52" N y 74°19'58,13" W a una altitud de 2.006 msnm. Se sembraron plántulas de gulupa obtenidas a partir de semilla, a una densidad de siembra de 816 plantas/ha, a una distancia de siembra de 3,5 m entre surcos y 3,5 m entre plantas. Se empleó un sistema de tutorado de espaldera sencilla a doble alambre, uno ubicado a 1,5 m y el otro a 2 m del nivel del suelo. Para dar arquitectura a las plantas, se dejó una rama principal y posteriormente se dejaron dos ramas laterales que fueron guiadas sobre el alambre del tutorado, estas se podaron cuando alcanzaron una longitud aproximada de 1,75 m con el objetivo de estimular la formación de ramas secundarias. Para el segundo ciclo productivo, posterior a la cosecha de frutos de cada rama productiva, se realizó la poda sobre cada rama dejando dos yemas con el objetivo de dar formación a las nuevas ramas productivas.

El suelo presentó pH de 4,5, por lo que fue necesario antes de la siembra aplicar 100 g de cal dolomita por planta. Las características físico-químicas del suelo fueron determinadas en el laboratorio de la Universidad ECCI, la extracción de B en el suelo se realizó por el método de Beger y Troug y la determinación por absorción atómica (Tab. 1). Se realizó fertilización edáfica fraccionada, desde el momento de siembra de las plantas hasta producción aplicando en total 132,76 kg ha⁻¹ de N, 71,16 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 142,56 kg ha⁻¹ de K₂O, 61,20 kg ha⁻¹ de CaO y 27,64 kg ha⁻¹ de MgO. El fraccionamiento consistió en cinco aplicaciones durante el período vegetativo y el primer ciclo productivo cada 45 d, y dos aplicaciones durante el segundo

Tabla 1. Características físico-químicas del suelo donde se estableció el cultivo de gulupa, vereda San Pablo, finca Bella Vista a 4°18'45,52" N y 79°19'58,13 W en Pasca, Cundinamarca.

pH	CE (ds m ⁻¹)	CO (%)	Ca	K	Mg	Na	Al	CICE	CIC	DA (g cm ⁻³)
			cmol ₍₊₎ kg ⁻¹							
4,75	NS	2,78	8,74	0,31	2,02	<0,004	NS	10,96	0,56	0,56
P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Textura	Ar	L	A
mg kg ⁻¹								%		
0,34	26,36	0,033	2,51	0,18	0,17	0,14	Arcilla	46	28	26

CE, conductividad eléctrica; CO, carbono orgánico; CICE, capacidad de intercambio catiónico efectiva; CIC, capacidad de intercambio catiónico; DA, densidad aparente; Ar, arcilla; L, limo; A, arena.

ciclo, la primera 15 d después de la poda de inducción de ramas y la segunda en el día 45.

Se instaló una estación meteorológica (Coltein Ltda, Bogotá, Colombia) con dataloggers (Coltein Ltda., Bogotá y Hobo U12-006, Onset Computer Corporation, Bourne, MA) para el registro de temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (PAR) y se registraron datos cada 15 min. Las características climáticas presentadas durante el primer ciclo productivo fueron: temperatura media del aire 18,4°C, humedad relativa del aire 85,0%, radiación fotosintéticamente activa de 365,2 μmol de fotones m⁻² s⁻¹ y déficit de presión de vapor (DVP) de 0,60 kPa. Para el segundo ciclo productivo se presentó una temperatura media del aire 18,1°C, humedad relativa del aire 79,9%, radiación fotosintéticamente activa de 382,2 μmol de fotones m⁻² s⁻¹ y DVP de 0,74 kPa.

Tratamientos foliares con boro

Los tratamientos de aplicación foliar con B fueron: T0, 0 kg ha⁻¹; T50, 0,3 kg ha⁻¹; T100, 0,6 kg ha⁻¹ y T150, 0,9 kg ha⁻¹ y se realizaron con base en el reporte de extracción de este nutriente por Haag *et al.* (1973) para *P. edulis* Sims f. *flavicarpa*. Para el presente trabajo dicho valor de extracción se tomó como el 50% debido a que por el método de aplicación foliar se considera que solo el 50% de la solución aplicada es absorbida por la planta y que depende también de la velocidad de absorción del elemento; para algunos elementos de baja movilidad como el B pueden tener una velocidad de absorción foliar entre 1 a 20 días (Meléndez y Molina, 2001).

En cada uno de los ciclos productivos (desde el momento de formación de botones florales) las aplicaciones de B se distribuyeron en cuatro momentos cada 7 d, asperjando a la planta la concentración del

respectivo tratamiento en un volumen de solución final de 150 mL; adicionalmente se realizó una quinta aplicación inmediatamente se observó cuajado de fruto. En cada uno de los ciclos productivos, el inicio de la aplicación del tratamiento fue cuando la mayoría de las ramas terciaras presentaron emergencia de botones florales, con un tamaño de botón entre 0,5 cm de ancho y 1 cm de largo. Para el primer ciclo productivo las aplicaciones iniciaron a los 178 días después de trasplante (ddt) equivalente al estado de formación de botones florales. Para el segundo ciclo se realizó después de la poda de producción aproximadamente a 390 ddt). La aplicación de B se realizó vía foliar utilizando como fuente ácido bórico (H₃BO₃). Para la aspersión se usó un equipo manual de espalda Royal Condor® (Bogotá) ref. CO-004®, con una capacidad de 20 L, se usó una boquilla de tipo abanico sólido, con un caudal de aspersión de 600 cm³ min⁻¹, adicionalmente se usó como coadyuvante y corrector de pH solución Agrotin® (Bayer Crop Science).

Desarrollo de ramas productivas

Las mediciones iniciaron desde el momento en que se aplicó el primer tratamiento foliar. Se seleccionaron cuatro plantas por tratamiento marcando cuatro ramas productivas de 4 cm. Se registró semanalmente la longitud de ramas y el número de entrenudos de cada rama hasta alcanzar una longitud de 115 cm para el primer ciclo productivo, y 130 cm para el segundo ciclo productivo; estas longitudes corresponden al momento en el cual la rama está lista para ser podada después del descargue de frutos. Para el segundo ciclo productivo, después de realizar la poda de ramas productivas con solo dos yemas, se marcaron la misma cantidad de ramas para cada tratamiento y se continuó con el registro.

Emisión de botones florales y frutos

Se seleccionaron cuatro ramas productivas por planta y tres plantas por tratamiento. Después de la primera aplicación de B, se realizó cada 7 d el conteo de cada botón floral emergido y los frutos cuajados sobre la rama productiva marcada.

Cuajado de fruto

En cada ciclo productivo se seleccionaron tres ramas productivas por planta, dentro de estas se marcaron cuatro botones florales de aproximadamente 0,5 cm de largo. Se tomaron tres plantas por tratamiento, para un total de 36 botones por tratamiento. Semanalmente se monitoreó la aparición de frutos cuajados; siguiendo la escala BBCH generada en el presente trabajo (resultados no mostrados) con base en la escala descrita para *Passiflora ligularis* Juss (Rodríguez-León *et al.*, 2015). El código BBCH 69 corresponde al cuajado del fruto el cual ocurre a los 30 días después de la aparición del botón floral. El porcentaje de cuajado de fruto se determinó para cada tratamiento como la relación entre número de frutos formados y número de botones marcados.

Desarrollo del fruto

Para evaluar el desarrollo de fruto se marcaron por planta nueve frutos recién cuajados de 1,5 cm de longitud (calibrador digital Fisher Scientific, 0-150 mm), se tomaron tres plantas por tratamiento. En cada fruto marcado se registró el diámetro ecuatorial semanalmente (cada 7 d) hasta que los frutos llegaron a la madurez de cosecha (87 ddt) para el primer ciclo productivo. Para el segundo ciclo la evaluación se realizó hasta madurez comercial (143 ddt).

Análisis estadístico

Se estableció un diseño completamente aleatorio con sub-muestreo, se validaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para todas las variables, de acuerdo con las pruebas estadísticas de Kolmogorov-Smirnov (Normalidad) y Levene (Homogeneidad de varianzas), se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía y pruebas de comparación de medias de Tukey y Student ($P \leq 0,05$) para determinar diferencias entre tratamientos. Para las curvas de crecimiento se ajustó al modelo matemático de Gompertz de tres parámetros (a, b y c) con

el software estadístico SPSS v.20.0 (IBM Corporation, Armonk, Nueva York). La parametrización de este modelo se realizó según lo indicado por Winsor (1932).

RESULTADOS

Desarrollo de ramas productivas

La elongación de ramas secundarias en el primer ciclo productivo (Fig. 1A) presentó el mismo comportamiento para todos los tratamientos sin diferencias significativas con la prueba Tukey ($P > 0,05$); sin embargo, la longitud final de las ramas varió entre tratamientos, siendo mayor en T50 (115,72 cm) y menor en T150 (86,83 cm), indicando que las plantas de T50 requieren menos tiempo (94 ddt) para alcanzar la máxima longitud. En el segundo ciclo productivo (Fig. 1B) no se presentaron diferencias significativas con la prueba Tukey ($P > 0,05$) entre tratamientos en los primeros 28 ddt; posteriormente el T50 mostró una elongación de ramas más rápida comparado con los demás tratamientos, alcanzando la máxima longitud (130,7 cm) a los 119 ddt, sin mostrar diferencias significativas con T100. Los tratamientos T0 y T150 presentaron una elongación de ramas más lenta, alcanzando la longitud máxima a los 143 ddt (130,5 y 129,87 cm, respectivamente) (Fig. 1B). De acuerdo con los resultados del modelo de crecimiento de Gompertz para esta variable, se encontró un mayor ajuste para el segundo ciclo ($R^2 > 0,91$) comparado con el primero ($R^2 > 0,62$) en todos los tratamientos. Las tasas de crecimiento obtenidas con el modelo para el primer ciclo fueron mayores en los tratamientos T50 y T100 (1,23, 1,19 cm d⁻¹, respectivamente) y menores en T0 y T150 (0,96 y 0,92 cm d⁻¹, respectivamente). Los resultados en el segundo ciclo muestran un comportamiento similar (0,91, 1,09, 1,08 y 0,90 cm d⁻¹ para los tratamientos T0, T50, T100 y T150, respectivamente).

En el primer ciclo productivo, el número de entrenudos no presentó diferencias significativas con la prueba de Tukey ($P > 0,05$) entre tratamientos (Fig. 1C). En el segundo ciclo productivo no se encontraron diferencias significativas con la prueba Tukey ($P > 0,05$) hasta los 106 ddt, tiempo después del cual, el T50 detuvo el desarrollo de entrenudos (22,3), mientras que los demás tratamientos desarrollaron un mayor número (29,44, 27,33 y 26,37 para T150, T0 y T100, respectivamente) (Fig. 1D). Esta variable mostró un

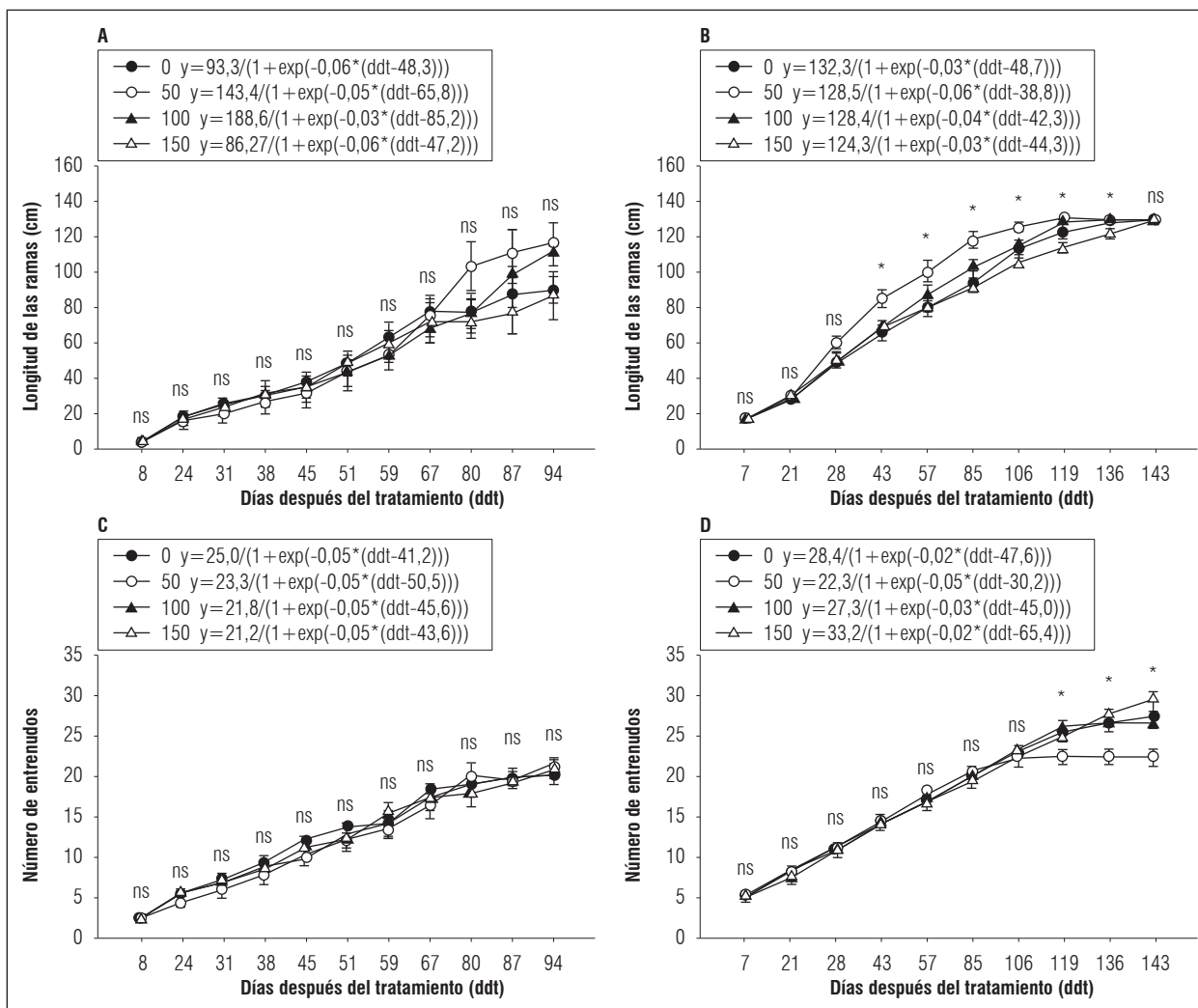


Figura 1. Desarrollo de ramas y entrenudos en plantas de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) fertilizadas con diferentes dosis de boro foliar aplicado en la formación del botón floral y cuajado de fruto en dos ciclos productivos (T0: 0 kg B ha⁻¹; T50: 0,3 kg B ha⁻¹; T100: 0,6 kg B ha⁻¹ y T150: 0,9 kg B ha⁻¹). Longitud de ramas en el primer (A) y segundo ciclo (B); número de entrenudos en el primer (C) y segundo ciclo (D) de la producción. Las barras verticales corresponden al error estándar n=9. Se muestra la ecuación del modelo Gompertz para cada uno de los tratamientos. * indica diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey (P≤0,05). ns: sin diferencias significativa.

ajuste adecuado al modelo Gompertz en ambos ciclos ($R^2 > 0,83$ primer ciclo y $> 0,90$ segundo ciclo). Para el primer ciclo y segundo ciclo no se observaron diferencias estadísticas en la tasa de crecimiento de entrenudos.

Emisión de botones florales y formación de frutos

La emisión de botones florales mostró un comportamiento muy variable en el tiempo sin diferencias significativas entre tratamientos con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). La mayor tasa de emisión de botones

florales se observó en T50 a los 7 y 21 ddt (3,58 y 3,56 botones por rama y semana, respectivamente) (Fig. 2); mientras que la menor emisión se observó en T0 (0,95 botones por rama y semana). En general, la mayor emisión de botones florales se observó en los primeros 28 ddt, lo cual coincide con la aplicación de los tratamientos.

Cuajado de fruto

El cuajado de frutos presentó diferencias significativas con la prueba Tukey ($P < 0,05$) bajo los diferentes

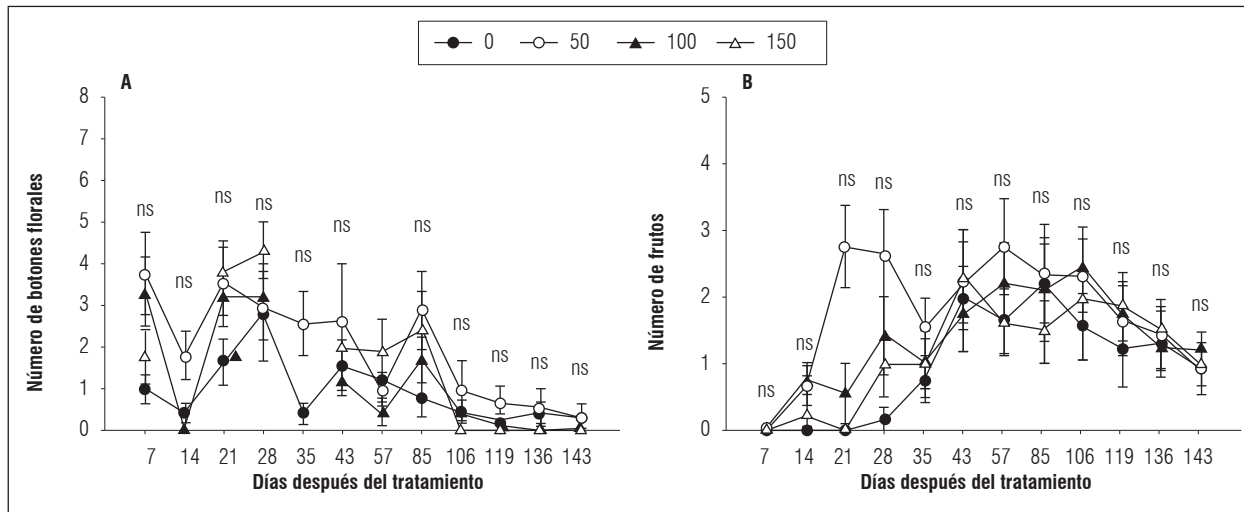


Figura 2. Emisión de órganos reproductivos y productivos en plantas de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) fertilizadas con diferentes dosis de boro foliar aplicado en la formación del botón floral y cuajado de fruto (T0: 0 kg B ha⁻¹; T50: 0,3 kg B ha⁻¹; T100: 0,6 kg B ha⁻¹ y T150: 0,9 kg B ha⁻¹). A, número de botones florales; B, número de frutos. Las barras verticales indican el error estándar $n=9$. * indica diferencias significativas entre tratamientos con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). ns: sin diferencia estadística.

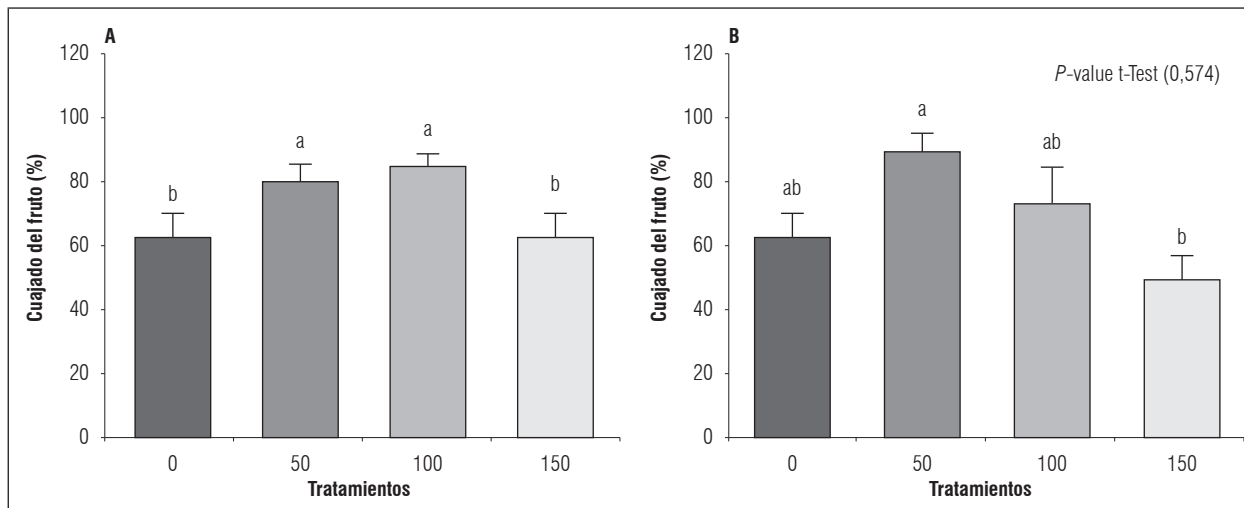


Figura 3. Cuajado de frutos en plantas de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) fertilizadas con diferentes dosis de boro foliar aplicado en la formación del botón floral y cuajado de fruto en dos ciclos productivos (T0: 0 kg B ha⁻¹; T50: 0,3 kg B ha⁻¹; T100: 0,6 kg B ha⁻¹ y T150: 0,9 kg B ha⁻¹). A, primer ciclo; B, segundo ciclo. Las barras verticales corresponden al error estándar $n=10$. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). P -valor de la prueba de t de student $\leq 0,05$ indica diferencias entre los dos ciclos de producción.

tratamientos foliares con B. En el primer ciclo, el mayor porcentaje se alcanzó en T100 (85,19%), seguido por T50 (81,48%) y luego T0 y T150 (62,96%) (Fig. 3A). Por su parte, en el segundo ciclo productivo, el tratamiento T50 presentó el mayor porcentaje de cuajado de fruto (90,0%), seguido por T100 (73,3%), T0 (63,3%) y T150 (50%) (Fig. 3B).

Desarrollo de frutos

El diámetro ecuatorial de frutos de gulupa no presentó diferencias significativas entre tratamientos en los primeros 51 ddt ($P > 0,05$) para el primer ciclo del cultivo; posteriormente, los frutos de T100 mostraron valores más altos, alcanzando el mayor diámetro

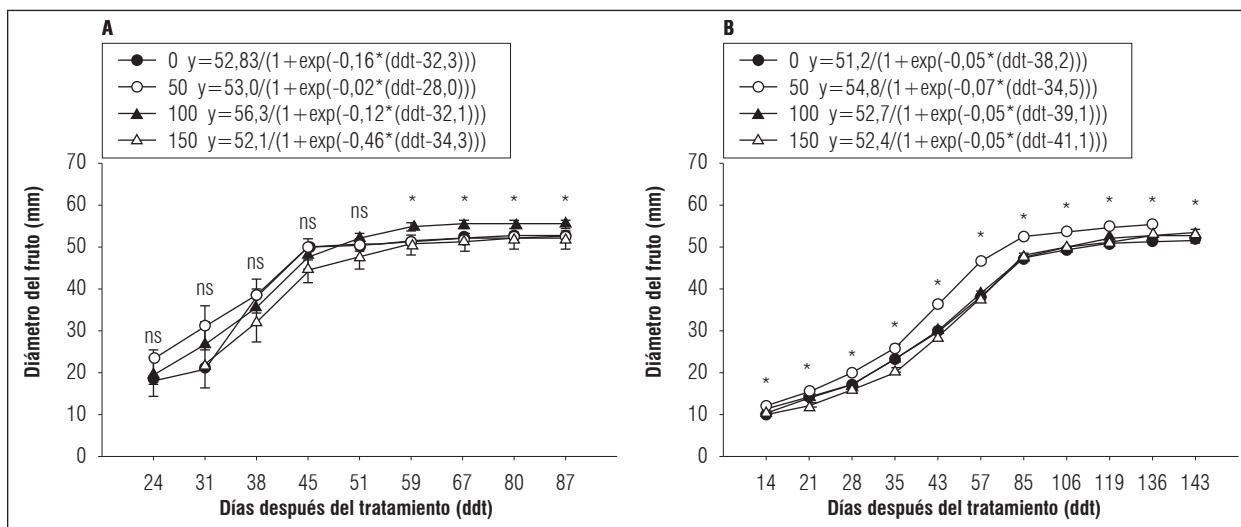


Figura 4. Diámetro de frutos en plantas de gulupa (*Passiflora edulis f. edulis* Sims) fertilizadas con diferentes dosis de boro foliar aplicado en la formación del botón floral y cuajado de fruto en dos ciclos productivos (T0: 0 kg B ha⁻¹; T50: 0,3 kg B ha⁻¹; T100: 0,6 kg B ha⁻¹ y T150: 0,9 kg B ha⁻¹). A, primer ciclo; B, segundo ciclo. Las barras verticales indican el error estándar *n*=10. Se muestra la ecuación del modelo Gompertz para cada uno de los tratamientos. * indica diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey (*P*≤0,05). ns: sin diferencia estadísticamente.

ecuatorial a los 87 ddt (55,63 mm) (Fig. 4A). A diferencia del primer ciclo, en el segundo se presentaron diferencias (*P*≤0,05) desde el inicio del experimento. Los frutos de T50 desarrollaron un mayor diámetro ecuatorial desde los 21 ddt, alcanzando el máximo diámetro (55,68 mm) a los 136 ddt. Para los demás tratamientos, T0, T100 y T150 el diámetro máximo de fruto se alcanzó a los 143 ddt, con valores de 51,82, 53,75 y 52,92 mm, respectivamente (Fig. 4B). El modelo Gompertz para esta variable se ajustó adecuadamente en los dos ciclos del cultivo, siendo mayor en el segundo (*R*²>0,90), comparado con el primero (*R*²>0,56). Las mayores tasas de crecimiento del fruto se alcanzaron en T100 y T50 (0,63 y 0,38 mm d⁻¹, respectivamente), con valores similares en el segundo ciclo.

DISCUSIÓN

Se encontró que la aplicación foliar de B en plantas de gulupa en etapa de floración presentó un efecto positivo en el crecimiento de ramas secundarias con el tratamiento T50 para los dos ciclos evaluados; sin embargo, no se observó un patrón similar en el número de entrenudos, lo que sugiere que la emisión de nudos es una característica intrínseca de la planta, la cual no se ve afectada por los tratamientos con B. Resultados similares, pero en ramas primarias, han

sido reportados en *P. edulis f. flavicarpa*, donde la aplicación de B genera incremento de la longitud de ramas en un 20,27%, así como no se presentó efecto en el número de nudos (Añez y España, 2011), pero se registró un incremento del 62% en la producción de materia seca de la parte aérea de las plantas (Prado *et al.*, 2006). Probablemente las plantas bajo deficiencia de B presentan una reducción en el crecimiento de la pared celular (Kocábek *et al.*, 2009; Tang *et al.*, 2011; Marschner, 2012; Cong *et al.*, 2015). Además, en condiciones de deficiencia o exceso de B se afectan las células de los vasos conductores debido a que las traqueidas se lignifican (Demiray y Dereboylu, 2013) y como consecuencia se observa una reducción en el crecimiento de las plantas, siendo así importante un adecuado suministro de B, debido a que más del 90% del B presente en las plantas está en las paredes celulares (Mei *et al.*, 2016).

El incremento en el porcentaje de cuajado de fruto de gulupa, observado en este estudio, indica que la aplicación exógena de B favorece a la fructificación y que bajo deficiencia de B se reduce el número de frutos, lo cual concuerda con datos reportados para *P. edulis f. flavicarpa* (Freitas *et al.*, 2006; Añez y España, 2011). Resultados similares también han sido reportados para otras especies frutales como *Malus domestica* (Wojcik *et al.*, 2008), *Pyrus communis* (Shalan, 2013),

Prunus persica (Yadav *et al.*, 2013), *Persea americana* (Boldingh *et al.*, 2016), entre otras.

En la presente investigación se observó que el mayor porcentaje de cuajado de frutos se obtuvo con la aplicación de B en etapa de formación de botón floral con los tratamientos T100 y T150 para los dos ciclos productivos. Resultados similares han sido reportados para *Pyrus communis* (Shalan, 2013), *Solanum melongena* (El-Gawad y Osman, 2014) y *Ribes grossularia* (Wójcik y Filipczak, 2015). Los resultados obtenidos para el desarrollo de botón floral y cuajado de fruto fueron similares a otros trabajos; se observó que la aplicación de B sobre los tejidos reproductivos mejora la producción de flores y cuajado del fruto, debido a que estos órganos son altamente demandantes de B por las altas tasa de crecimiento y las paredes celulares ricas en pectina (Marschner, 2012; El-Gawad y Osman, 2014). Por lo tanto, las aplicaciones foliares de B son especialmente valiosas en el período de desarrollo de las flores, y más aún en especies donde la movilidad del B se restringe al floema, por consiguiente, el desarrollo de las flores depende de un suministro continuo de B (Perica *et al.*, 2001).

En cuanto al diámetro de los frutos de gulupa, los tratamientos T100 y T50 presentaron los mejores valores en los dos ciclos evaluados. Resultados similares han sido observados para otras especies trepadoras como *Actinidia deliciosa*, donde la aplicación de B aumentó en 8,27% el diámetro de los frutos (Sotomayor *et al.*, 2010), y en otras especies frutales tropicales como *Artocarpus heterophyllus* donde se registró incremento del 29,83% en la longitud y de 38,88% en el diámetro del fruto (Halder *et al.*, 2008). La aplicación foliar de B mejora significativamente las características físicas de los frutos (diámetro, longitud y peso) lo cual puede atribuirse a que el B aumenta la tasa de transporte de azúcares a los vertederos y zonas de crecimiento y por tanto mejora el crecimiento de los frutos (Mengel *et al.*, 2001). Adicionalmente, se ha considerado que el B es absorbido rápidamente por las flores (Sarrwy *et al.*, 2012) y al ser aplicado de manera foliar, permite que sea disponible más rápidamente en etapas demandantes. En este sentido, las aplicaciones de B en estas etapas generan un efecto rápido sobre el desarrollo de botones florales y frutos.

CONCLUSIONES

Las plantas de gulupa, sometidas al tratamiento T0 mostraron para ambos ciclos productivos no tener la

mejor respuesta de crecimiento y desarrollo con respecto a los otros tratamientos evaluados. Se observó que para los dos ciclos productivos el tratamiento T50 presentó la mayor longitud de ramas secundarias, el mejor porcentaje de cuajado de fruto y un adecuado diámetro de fruto para comercialización. Por otro lado, el tratamiento T100 mostró los mejores resultados para desarrollo de botón floral, emisión de botones florales y número de frutos. En general, se considera que las mayores limitaciones se presentaron bajo el tratamiento T0 y por el contrario la aplicación del tratamiento T150 no mostraron efecto negativo marcado sobre las variables evaluadas, sugiriendo que este tratamiento no representó una condición de exceso de este elemento.

AGRADECIMIENTOS

A Colciencias por la financiación de este trabajo enmarcado en el proyecto “Ecofisiología, nutrición mineral y manejo integrado de plagas y enfermedades en aguacate, curuba, gulupa y tomate de árbol orientados hacia su manejo agronómico, como materia prima para el desarrollo de productos de interés comercial” de la “Red nacional para la bioprospección de frutas tropicales-RIFRUTBIO”, Contrato RC No. 0459-2013; así como al programa de jóvenes investigadores, convocatoria 706 del 2015. A la financiación dada dentro de los proyectos a la I.A. Ivonne Angélica Quiroga-Ramos para la realización del presente trabajo en su tesis de maestría.

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

- Añez, M. y R. España. 2011. Efecto de prohexadiona de calcio y boro sobre las variables vegetativas y reproductivas en parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). Rev. Unellez Cienc. Tecnol. 29, 54-58.
- Boldingh, H., M. Alcaraz, T. Thorp, P. Minchin, N. Gould y J. Hormanza. 2016. Carbohydrate and boron content of styles of “Hass” avocado (*Persea americana* Mill.) flowers at anthesis can affect final fruit set. Sci. Hortic. 198, 125-131. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.11.011
- Chmielewski, F. 2013. Phenology in agriculture and horticulture. pp. 539-561. En: Schwartz, M. (ed.). Phenology: an integrative environmental science. Springer

- Science Business Media, Dordrecht, The Netherlands. Doi: 10.1007/978-94-007-6925-0_29
- Cong, X., H. Jing, N. Lin, Z. Xia, M. Huang y X. Jiang. 2015. Boron deficiency affects cell morphology and structure of young leaves of radish. *Acta Physiol. Plant.* 37, 247-259. Doi: 10.1007/s11738-015-2004-7
- Davarpanah, S., A. Tehranifar, G. Davarynejad, J. Abadia y R. Khorasani. 2016. Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. *Sci. Hortic.* 210, 57-64. Doi: 10.1016/j.scienta.2016.07.003
- Demiray, H. y A. Dereboylu. 2013. Effects of excess and deficient boron and niacin on the ultrastructure of root cells in *Daucus carota* cv. Nantes. *Turk. J. Bot.* 37, 160-166. Doi: 10.3906/bot-1202-22
- El-Gawad, A. y H. Osman. 2014. Effect of exogenous application of boric acid and seaweed extract on growth, biochemical content and yield of eggplant. *J. Hort. Sci. Orn. Plants* 6(3), 133-143. Doi: 10.5829/idosi.jhsop.2014.6.3.1147
- Flórez, L., L. Pérez-Martínez y L. Melgarejo. 2012. Manual calendario fenológico y fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. pp. 33-51. En: Melgarejo, L. (ed). *Ecofisiología del cultivo de la gulupa Passiflora edulis* Sims. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Freitas, M., P. Monnerat, A. Cordeiro y M. Vasconcellos. 2011. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro-doce. *Rev. Bras. Frutic.* 33(4), 1329-1341. Doi: 10.1590/S0100-29452011000400034
- Freitas, M., P. Monnerat, L. Pinho y A. Carvalho. 2006. Deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce: qualidade dos frutos. *Rev. Bras. Frutic.* 28(3), 492-496. Doi: 10.1590/S0100-29452006000300033
- Haag, H., G. Oliveira, A. Borducchi y J. Sarruge. 1973. Absorção de nutrientes por duas variedades de maracujá. *An. Esc. Súper. Agric. Luiz de Queiroz* 30, 267-279. Doi: 10.1590/S0071-12761973000100020
- Halder, N., A. Farid y M. Siddiky. 2008. Effect of Boron for correcting the deformed shape and size of jackfruit. *J. Agric. Rural Dev.* 6(1-2), 37-42. Doi: 10.3329/jard.v6i1.1655
- Iwai, H., A. Hokura, M. Oishi, T. Ishii, S. Sakai y S. Satoh. 2006. The gene responsible for borate crosslinking of pectin rhamnogalacturonan-II is required for plant reproductive tissue development and fertilization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103, 16592-16597. Doi: 10.1073/pnas.0605141103
- Jiménez, A., C. Sierra, F. Rodríguez, M. González, F. Heredia y C. Osorio. 2011. Physicochemical characterization of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. *f. edulis*) fruit from Colombia during the ripening. *Food Res. Int.* 44, 1912-1918. Doi: 10.1016/j.foodres.2010.11.007
- Kobayashi, M., N. Kouzu, A. Inami, K. Toyooka, Y. Konishi, K. Matsuoka y T. Matoh. 2011. Characterization of *Arabidopsis* CTP:3-Deoxy-D-manno-2-Octulosonate Cytidyltransferase (CMP-KDO synthetase), the enzyme that activates KDO during rhamnogalacturonan II biosynthesis. *Plant Cell Physiol.* 52(10), 1832-1843. Doi: 10.1093/pcp/pcr120
- Kocábek, T., Z. Svoboda, A. Zwi, S. Rolfe y M. Fellner. 2009. Boron-regulated hypocotyl elongation is affected in *Arabidopsis* mutants with defects in light signaling pathways. *Environ. Exp. Bot.* 67, 101-111. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2009.06.005
- Lahav, E. y A. Whiley. 2012. Irrigation and mineral nutrition. pp. 301-340. En: Schaffer, B., B.N. Wolstenholme y A.W. Whiley (eds.). *The avocado: botany, production and uses*. CABI Publishing, Wallingford, UK. Doi: 10.1079/9781845937010.0000
- Marschner, P. 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3ª ed. Academic Press, Londres, UK.
- Mei, L., Q. Li, H. Wang, O. Sheng y S. Peng. 2016. Boron deficiency affects root vessel anatomy and mineral nutrient allocation of *Poncirus trifoliata* (L.). *Acta Physiol. Plant.* 38, 86. Doi: 10.1007/s11738-016-2099-5
- Meléndez, G. y E. Molina. 2001. Fertilidad de los suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica. En: *Memorias, laboratorio de suelos y foliares CIA/UCR. Centro de Investigaciones Agronómicas*. San José, Costa Rica.
- Mengel, K., E. Kirkby, H. Kosegarten y T. Appel. 2001. *Principles of plant nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda. Doi: 10.1007/978-94-010-1009-2
- Muhammad, S., B. Sanden, B. Lampinen, S. Saa, S. Sidiq, A. Olivos, K. Shackel, T. Dejong y P. Brawn. 2015. Seasonal changes in nutrient content and concentrations in a mature. *Eur. J. Agron.* 65, 52-68. Doi: 10.1016/j.eja.2015.01.004
- Nymora, A. y P. Brown. 1997. Fall foliar-applied boron increases tissue boron concentration and nut set of almond. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 122(3), 405-410.
- Ocampo, J., G. D'eeckenbrugge, M. Restrepo, A. Jarvis, M. Salazar y C. Caetano. 2007. Diversity of Colombian Passifloraceae: biogeography and an updated list for conservation. *Biota Colomb.* 8(1), 1-45.
- Perica, S., P. Brown, J. Connell, A. Nymora, C. Dordas y H. Hu. 2001. Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. *HortSci.* 36(4), 714-716.
- Prado, R., W. Natale y D. Rozane. 2006. Níveis críticos de boro no solo e na planta para cultivo de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Rev. Bras. Frutic.* 28(2), 305-309. Doi: 10.1590/S0100-29452006000200034
- Reid, R., J. Hayes, A. Post, J. Stangoulis y R. Graham. 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant Cell Environ.* 25, 1405-1414. Doi: 10.1111/j.1365-3040.2004.01243.x

- Rodrigo, J., J. Hormanza y M. Herrero. 2000. Ovary starch reserves and flower development in apricot (*Prunus armeniaca*). *Physiol. Plant.* 108(1), 35-41. Doi: 10.1034/j.1399-3054.2000.108001035.x
- Rodríguez-León, A.K., A. Rodríguez-Carlosama, L.M. Melgarejo, D. Miranda-Lasprilla y O. Martínez-Wilches. 2015. Caracterización fenológica de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) crecida a diferentes altitudes en el departamento del Huila. pp. 53-90. En: Melgarejo, L.M. (ed.). Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss): caracterización ecofisiológica del cultivo. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia
- Sarkar, D., B. Mandal y M. Kundu. 2007. Increasing use efficiency of boron fertilizers by rescheduling the time and methods of application for crops in India. *Plant and Soil* 301(1-2), 77-85. Doi: 10.1007/s11104-007-9423-1
- Sarrwy, S., E. Mostafa y H. Hassan. 2012. Growth, yield and fruit quality of Williams banana as affected by different planting distances. *Int. J. Agric. Res.* 7, 266-275. Doi: 10.1007/s11104-007-9423-1
- Shalan, A. 2013. Impact of boric acid spraying date with different concentrations on yield and fruit quality of *Pyrus communis* cv. 'le-conte' pear trees. *J. Plant Production* 4(10), 1479-1491.
- Sotomayor, C., P. Norambuena y R. Ruiz. 2010. Boron dynamics related to fruit growth and seed production in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward). *Cienc. Investig. Agrar.* 37(1), 133-141. Doi: 10.7764/rcia.v37i1.192
- Tang, N., H. Jiang, L. Yang, Q. Li, G. Yang y L. Chen. 2011. Boron-aluminum interactions affect organic acid metabolism more in leaves than in roots of *Citrus grandis* seedlings. *Biol. Plant.* 55(4), 681-688. Doi: 10.1007/s10535-011-0168-6
- Winsor, C. 1932. The Gompertz curve as a growth curve. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 18(1), 1-8. Doi: 10.1073/pnas.18.1.1
- Wojcik, P. y J. Filipczak. 2015. Response of 'White Smith' gooseberry to boron fertilization under conditions of low soil boron availability. *Sci. Hortic.* 197, 366-372. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.063
- Wojcik, P., M. Wojcik y K. Klamkowski. 2008. Response of apple trees to boron fertilization under conditions of low soil boron availability. *Sci. Hortic.* 116, 58-64. Doi: 10.1016/j.scienta.2007.10.032
- Yaacoubi, A., G. Malagi, A. Oukabli, M. Hafidi y J. Legeve. 2014. Global warming impact on floral phenology of fruit trees species in Mediterranean region. *Sci. Hortic.* 180, 243-253. Doi: 10.1016/j.scienta.2014.10.041
- Yadav, V., P. Singh y P. Yadav. 2013. Effect of foliar fertilization of boron, zinc and iron on fruit growth and yield of low-chill peach cv. Sharbati. *Int. J. Sci. Res.* 3(8), 223-232.

Efecto de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el crecimiento del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) en etapa vegetativa

Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium doses on tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) growth in the vegetative phase



CLAUDIA HELENA RAMÍREZ-SOLER^{1, 2, 3}
STANISLAV MAGNITSKIY¹
SANDRA ESPERANZA MELO M.¹
LUZ MARINA MELGAREJO²

Hoja de tomate de árbol con sintomatología asociada a la dosis 200% de nitrógeno.

Foto: C.H. Ramírez-Soler

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el crecimiento del tomate de árbol en etapa vegetativa. Se realizó bajo condiciones de invernadero en la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá) y se empleó un diseño de bloques aleatorizado, donde se evaluaron ocho tratamientos, con tres réplicas, así: CC, control comercial o dosis recomendada; CS, control suelo sin ninguna fertilización; Bajo N, 10% de la dosis recomendada (DR); Bajo P, 10% DR; Bajo K, 10% DR; Alto N, 200% DR; Alto P, 200% DR y Alto K, 200% DR. El plan de fertilización se ajustó según análisis físico-químico del suelo y dosis reportadas para el cultivo. Para determinar el crecimiento de las plantas se emplearon algunos parámetros e índices de crecimiento utilizando un modelo logístico de enfoque funcional. Los resultados evidenciaron que el tratamiento CS y Alto P redujeron cerca de un 50% el área foliar, número de hojas, longitud total de la planta y masa seca de las hojas a diferencia del control comercial (CC). El tratamiento Bajo K aumentó en un 70% las variables mencionadas, así como la masa seca total. Para las tasas de crecimiento el tratamiento Bajo K presentó el mayor índice de área foliar y tasa relativa de crecimiento, y el tratamiento Alto K presentó la mayor tasa de crecimiento del cultivo.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Ramírez-Soler, C.H.: 0000-0002-3283-2675; ORCID Magnitskiy, S.: 0000-0002-3715-1932; ORCID Melo M., S.E.: 0000-0002-4875-7657

² Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Melgarejo, L.M.: 0000-0003-3148-1911

³ Autor para correspondencia. chramirez@unal.edu.co

Artículo basado en la tesis de maestría de la primera autora "Respuesta fisiológica de plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) bajo deficiencias y diferentes niveles de nitrógeno, fósforo y potasio".

Palabras clave adicionales: tasa relativa de crecimiento, índice de área foliar, número de hojas, tasa de asimilación neta, Solanaceae.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of nitrogen, phosphorus and potassium doses on tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) growth in the vegetative phase. This research was conducted under greenhouse conditions at the National University of Colombia, Bogotá. A randomized block design was employed to evaluate eight treatments with three replicates as follows: i) CC: commercial control, ii) CS: control without fertilization, iii) Low N: 10% of the recommended dose (DR); iv) Low P: 10% DR; v) Low K: 10% DR, vi) High N: 200% DR; vii) High P: 200% DR, and viii) High K: 200% DR. The fertilizer plan was adjusted according to the soil analysis and doses reported for the species. To determine plant growth, growth rate indexes were used based on the functional logistic model. The treatment without fertilization CS and High P reduced the leaf area, number of leaves, stem length, and dry mass of leaves of the tree tomatoes by about 50%, unlike the commercial control (CC). The Low K treatment increased the same variables by 70%, as well as the total dry mass. For growth rates, the Low K treatment resulted in the highest leaf area index and relative growth rate, and the High K treatment presented the highest crop growth rate.

Additional key words: relative growth rate, leaf area index, leaf number, net assimilation rate, Solanaceae.

Fecha de recepción: 31-10-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) es originario de los bosques Andinos (Acosta-Quezada *et al.*, 2015), es considerado parte de los cultivos con importancia en la región Andina Colombiana, a causa de su rol en la industria de la bioprospección (Osorio *et al.*, 2012). Actualmente, su disminución en áreas de cultivo es a causa del inadecuado uso de fertilizantes (excesos y deficiencias). La información sobre nutrición en tomate de árbol es escasa; a diferencia de otras solanáceas, como papa (Rios *et al.*, 2010), uchuva (Martínez *et al.*, 2008) y tomate (Kanai *et al.*, 2011), para las cuales se registran estudios sobre parámetros fisiológicos y de crecimiento generados a partir de la nutrición. De los elementos más estudiados, a causa de la mayor demanda y uso, se encuentran los macroelementos como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Baloch *et al.*, 2014).

Los elementos como el N, P y K son descritos como los tres factores esenciales en la nutrición vegetal (Hu *et al.*, 2016). El N, frente a la ausencia o bajo abastecimiento de nutrientes, la fijación biológica

del nitrógeno se ve limitada (Divito y Sadras, 2014); debido a que es importante para el crecimiento, capacidad fotosintética y síntesis de clorofila (Boussadia *et al.*, 2010). El P, después del N, es el macronutriente más limitado para los cultivos, a causa de la restricción en su disponibilidad que puede ser alrededor de 40% a nivel edáfico (Vitousek *et al.*, 2010). Además, el P participa en procesos como la transferencia de energía, respiración y fotosíntesis (Marschner, 2012); es constituyente del ADN y ARN, también de moléculas para transferencia energética (ADP y ATP), e interviene en la división celular (Kalaji *et al.*, 2014). El K, es el catión inorgánico primordial que participa en procesos fisiológicos y metabólicos como la homeostasis del pH citoplasmático, activación enzimática, la actividad estomática, translocación de fotoasimilados y el potencial osmótico (Oosterhuis *et al.*, 2014). Armengaud *et al.* (2009) indican que el K tiene efectos sobre la transducción de energía, la actividad de enzimas implicadas en la asimilación de amonio, el crecimiento y la conversión de aminoácidos.

Para la producción de cultivos de importancia económica en el país, es necesario conocer los efectos de diferentes dosis de macronutrientes sobre la respuesta fisiológica y el crecimiento. Actualmente, no se evidencia suficiente literatura sobre la nutrición y los parámetros fisiológicos y de crecimiento en el tomate de árbol y si se encuentran son insuficientes y desactualizados. Clark y Richardson (2002) registraron en plantas de tomate de árbol, un incremento en la acumulación de biomasa, macro y micro elementos, concluyendo que existe una relación entre la acumulación de biomasa y los elementos minerales; también, indicaron que el N, P y K fueron los nutrientes con mayor demanda a través del tiempo en la planta. Por otro lado, Pilco (2009), utilizando diferentes formulaciones de fertilizantes comerciales en plantas de tomate de árbol, concluyó que el suministro del 100% del fertilizante Besacote 6M® (BASE, Ecuador) (16% N, 8% P₂O₅, 12% K₂O, 2% MgO, 5% SO₄, 0,004% Fe, 0,05% Cu, 0,06% Mn, 0,02% Zn, 0,02% B, 0,015% Mo), resultó en los valores más altos de área foliar, número de hojas, altura de la planta, y diámetro del tallo en la fase vegetativa. Montalvo (2010), indica que en fase de floración y fructificación la formulación química Besacote® usada al 100% (75 kg ha⁻¹) resultó en el incremento del peso, número y diámetro ecuatorial de frutos. Pillimue *et al.* (1998), en plántulas de tomate de árbol, encontraron que el déficit de N reduce el área foliar, el peso de la hoja, el peso seco de raíz y la parte aérea. De mismo modo, los autores señalaron que las deficiencias de N, P, K fomentan una sintomatología particular a los 30 ddt (días después del trasplante), como: clorosis generalizada en hojas del estrato inferior y reducción de la tasa de crecimiento.

Debido a la importancia económica del tomate de árbol en Colombia y su elevado potencial en el mercado, es ineludible ampliar los estudios de este cultivo en el área de la nutrición. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo consistió en evaluar el efecto de dosis

altas y bajas de N, P, K sobre el crecimiento del tomate de árbol en la etapa vegetativa bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, bajo condiciones de cubierta plástica, con valores promedio de: temperatura del aire de 17,4°C, humedad relativa de 71,5% y radiación fotosintéticamente activa (PAR) promedio de 693,5 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (empleando un medidor espectrómetro LI-189, Li-Cor, Lincoln, NE, USA).

Material vegetal

Se utilizaron plántulas de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), obtenidas a partir de semilla, ecotipo Rojo Común de tres meses de edad, con promedio de tres hojas verdaderas. Estas fueron trasplantadas en bolsas negras plásticas (0,80×0,80 m, calibre 6) con contenido de 30 kg. Las plantas trasplantadas se dispusieron bajo invernadero a una distancia de 3 m entre surcos y 3 m entre plantas. En este experimento solo se evaluó la etapa vegetativa de desarrollo durante 150 ddt.

Tratamientos de fertilización

Se implementó un diseño de bloques completamente aleatorio, con ocho tratamientos y tres réplicas por tratamiento. i) Control comercial (CC): dosis comercial reportada para cultivo de tomate de árbol (Fischer, 2012) y ajustada para el presente experimento (Tab. 2) con base en el análisis fisicoquímico del suelo

Tabla 1. Análisis fisicoquímico del suelo utilizado para los diferentes tratamientos de nutrición mineral, proveniente del municipio del Rosal, Cundinamarca.

	pH	CO	N	Mg	Ca	Na	K	Al	P
		%		cmol ₍₊₎ kg ⁻¹					
	5,5	7,92	0,68	2,57	8,43	0,54	0,56	0,22	12,2
Textura	Ar	L	A	Cu	Mn	Zn	B	Fe	B
Franco arenosa	%		mg kg ⁻¹						
	10	32	58	0,32	4,87	2,24	0,12	15,7	0,12

CO: materia orgánica, franco arenoso; Ar: arcilloso; L: limoso; A: arenoso.

El análisis fisicoquímico del suelo fue realizado según la metodología IGAC (2006).

utilizado (Tab. 1). ii) Control absoluto (CS): plantas sembradas en suelo sin aplicación de ningún nutriente mineral. iii) Bajo N: el cual se aplicó al 10% (4,12 kg ha⁻¹) por debajo de la dosis comercial (41,2 kg ha⁻¹), y el resto de los elementos (K, P, Mg, Ca, S, B, Zn, Mn, Mo, Fe, Cl, Cu) se aplicaron con base en la dosis comercial. iv) Bajo P: el cual se aplicó al 10% (1,18 kg ha⁻¹) por debajo del control comercial (11,76 kg ha⁻¹) y el resto de los elementos con base en la dosis comercial. v) Bajo K: el cual se aplicó al 10% (4,12 kg ha⁻¹) por debajo del control comercial (41,6 kg ha⁻¹) y el resto de los elementos con base en la dosis comercial. vi) Alto N: el cual se aplicó al 200% (82,3 kg ha⁻¹) por encima del control comercial, y el resto de los elementos con base en la dosis comercial. vii) Alto P: el cual se aplicó al 200% (23,52 kg ha⁻¹) por encima del control y el resto de los elementos con base en la dosis comercial. viii) Alto K: el cual se aplicó al 200% (82,3 kg ha⁻¹) por encima del control comercial y el resto de los elementos con base en la dosis comercial (Tab. 2).

El suelo utilizado en este ensayo presentó las siguientes características iniciales: pH altamente ácido, carbono orgánico (%) ideal, CIC (cmol₍₊₎ kg⁻¹) baja, contenidos bajos de P, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe y Cu y altos niveles de Ca, Mg y K (Tab. 1).

Después de los 7 d de trasplante (etapa para aclimatación) en bolsa, se realizó la aplicación de los tratamientos cada 45 d (según prácticas en campo) durante la etapa vegetativa, aplicando el fertilizante al suelo, en forma de corona alrededor del tallo de la planta, a 20 cm de distancia y posteriormente se incorporó en los primeros centímetros del suelo. Las mediciones fisiológicas y muestreos destructivos (crecimiento) se realizaron así: 0 (posterior a la aplicación de tratamientos), 15, 30, 60, 105 y 150 ddt y después

de la aplicación de los tratamientos (Tab. 2). Las fuentes de fertilizantes fueron Urea 46-0-0 (Monómeros, Colombo Venezolanos), Nitrato de Calcio 15-0-0-26 (Yara, Colombia), DAP -Fosfato diamónico 18-46-0 (Yara, Noruega), KCl 0-0-60 (Cloruro de Potasio Yara, Noruega), Nutricomplet® B, Mg, Fe, Cu, Mo, S, Zn, Mn (Ingeplant, Colombia) y Octoborato de Sodio - Cosmo-Ion Boro® (Cosmoagro, Colombia). Las plantas se regaron tres veces por semana a capacidad de campo, y se realizó el respectivo manejo agronómico del cultivo, tal como eliminación de arvenses, control de enfermedades y plagas con agroquímicos.

Variables evaluadas

Parámetros de crecimiento

Para la medición de los diferentes parámetros, se seleccionaron aleatoriamente tres plantas en cada momento del muestreo.

Número de hojas (NH) y longitud total de la planta (LT): A los 150 ddt se registró con un fluxómetro (Stanley®, New Britain, CT) la altura de planta desde el ápice de la raíz principal hasta el ápice del tallo de la planta. Se contabilizó número de hojas verdes completamente expandidas y fotosintéticamente activas.

Área foliar (AF): El área foliar se obtuvo a los 150 ddt, mediante el registro fotográfico de las hojas y con ayuda del programa Image J® v. 1.50i (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA).

Materia seca de órganos (MS): A los 150 ddt se seleccionaron tres (3) plantas por tratamiento, la materia seca (MS) se determinó mediante secado de los órganos (hojas, tallo y raíces) en estufa de secado de

Tabla 2. Tratamientos de fertilización evaluados durante la etapa vegetativa en plantas de tomate de árbol (kg ha⁻¹ por ciclo) con una densidad de 880 plantas/ha.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	S	Zn	Fe	Mn
CC (control fertilización comercial)	41,16	11,76	41,16	10,29	5,88	1,76	0,02	1,76	0,04	0,02	0,15
CS (control sin fertilizantes)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bajo N	4,12	11,76	41,16	10,29	5,88	1,76	0,02	1,76	0,04	0,02	0,15
Bajo P	41,16	1,18	41,16	10,29	5,88	1,76	0,02	1,76	0,04	0,02	0,15
Bajo K	41,16	11,76	4,12	10,29	5,88	1,76	0,02	1,76	0,04	0,02	0,15
Alto N	82,32	11,76	41,16	10,29	5,88	1,76	0,02	1,76	0,04	0,02	0,15
Alto P	41,16	23,52	41,16	10,29	5,88	1,76	0,02	1,76	0,04	0,02	0,15
Alto K	41,16	11,76	82,32	10,29	5,88	1,76	0,02	1,76	0,04	0,02	0,15

aire circulante a 72°C durante 120 h y posteriormente se realizó pesaje en balanza analítica de precisión de cuatro cifras decimales.

Tasas de crecimiento

Para obtener las tasas de crecimiento se realizaron muestreos destructivos a los 0, 15, 30, 60, 105 y 150 ddt. Se emplearon las ecuaciones para estimar las tasas de crecimiento (Gardner *et al.*, 1990) en las plantas de tomate de árbol en etapa vegetativa, como:

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC):
 $1/(AS) * [(P_2 - P_1) / (T_2 - t_1)]^2$

Tasa de asimilación neta (TAN):
 $[(P_2 - P_1) / (T_2 - t_1)] * [(LnAF_2 - LnAF_1) / (AF_2 - AF_1)]$

Tasa relativa de crecimiento (TRC):
 $(LnP_2 - LnP_1) / (T_2 - t_1)$

Índice de área foliar (IAF):
 $AF_2 + AF_1 / 2 * (1/AS)$

Tasa absoluta de crecimiento (TAC):
 $(P_2 - P_1) / (T_2 - t_1)$

donde AS: área de suelo (m²); P₂: peso seco final de la planta (g); P₁: peso seco inicial de la planta (g); T₂: tiempo final (días); t₁: tiempo inicial (días); AF₂: área foliar final (cm²); AF₁: área foliar inicial (cm²).

Análisis estadístico

Se evaluaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas por medio del paquete estadístico SAS v.8 (SAS Institute, Cary, NC, USA). Posteriormente se realizó un ANAVA y las diferencias obtenidas entre los tratamientos se establecieron a través de la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Se usó el paquete estadístico SAS (*Statistical Analysis System*), v. 8 (Hill y Lewicki, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Área foliar

Se observó una disminución significativa del área foliar (AF) en los tratamientos de las plantas sin fertilización (CS) (2.668,6 cm²) y Alto P (3.083 cm²), a

diferencia de las plantas con el tratamiento que contenía Bajo K (9.488,2 cm²), el cual exhibió el valor más alto de AF a los 150 ddt (Tab. 3). El tratamiento Bajo K incrementó las variables de crecimiento en las plantas de tomate de árbol en comparación de la dosis comercial (CC) y de los otros tratamientos evaluados (Tab. 3). Clavijo-Sánchez *et al.* (2015), concluyeron que las aplicaciones de K en el cultivo de tomate de árbol mejoran la respuesta de las plantas frente a condiciones de estrés, aumentando los parámetros de crecimiento y la acumulación de biomasa.

Número de hojas y longitud total

El número de hojas (NH) se presentó en el tratamiento sin fertilización (CS) (13,3) en comparación al valor más alto obtenido con el tratamiento Bajo en K (27) (Tab. 3). Pese a que para la variable longitud total de la planta (LT) no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas, las plantas bajo el tratamiento Bajo en K tienden a presentar la mayor LT a los 150 ddt, a diferencia de los demás tratamientos evaluados.

Probablemente, bajo las condiciones del presente estudio las plantas de tomate de árbol en fase vegetativa incrementan el crecimiento con bajo suministro de K (10%). Malvi (2011) concluyó que al adicionar menores dosis de potasio al sustrato se disminuye la cantidad de Ca (cuando el análisis de suelo lo reporta alto, como sucede en el presente estudio) e incrementa en menor grado el magnesio (Malvi, 2011), lo que se sugiere que se estimula el incremento de la actividad del K. Por su parte, al estar disponible el K en la planta, eleva la tasa de división y expansión de células meristemáticas (Marschner, 2012).

Materia seca (MS)

A los 150 ddt la materia seca en hojas (MSH) decreció significativamente en las plantas con Alto P (18,7 g) y CS (16,1 g), sin embargo, el tratamiento Bajo K registró un aumento significativo (61,9 g) (Tab. 3). La materia seca de tallos (MST) se redujo significativamente para las plantas sometidas a Alto P, CS y Alto K (28,8, 34,1 y 70,3 g, respectivamente), a diferencia de las plantas con Bajo K las cuales registraron el mayor valor (109,8 g). De mismo modo, se observó una disminución significativa de la materia seca de raíces (MSR) en plantas bajo el control suelo (CS) del 76% a diferencia de las plantas con Alto K. En general, la materia seca total (MS total) registró una disminución

Tabla 3. Efecto de diferentes dosis de N, P y K en los parámetros de crecimiento de tomate de árbol a los 150 ddt.

	AF (cm ²)	NH	LT (cm)	MSH (g)	MST (g)	MSR (g)	MS total (g)
Pr>F	0,0046	0,0489	0,0790	0,0073	0,0153	0,0276	0,0024
CC	4.859,7±680 ab	21,7±2,8 ab	190±4,6 a	40,6±0,3 ab	62,6±5,0 ab	141,9±17,3 ab	245,1±22,3 abc
CS	2.668,6±276,9 b	13,3±0,7 b	154,7±5,5 a	16,1±0,8 b	34,1±5,0 b	63,9±3,7 b	114,1±1,9 c
Bajo N	6.748,7±31,6 ab	22,3±0,7 ab	201,7±8,3 a	44,1±4,5 ab	73,2±6,1 ab	106,3±13,4 ab	223,6±5,5 abc
Alto N	8.135,0±1736,1 ab	27,3±3,9 ab	159,7±12,6 a	49,9±10,6 ab	167±153 ab	119±35,8 ab	336,1±144,5 ab
Bajo P	6.162,0±176,3 ab	23,0±3,3 ab	196,3±11,2 a	46,4±6,7 ab	70,9±5,2 ab	206,5±42 ab	323,8±40,4 ab
Alto P	3.083±212,6 b	15,3±0,7 ab	154,7±10,8 a	18,7±0,8 b	28,8±4,4 b	99,7±13,6 ab	147,2±10,4 bc
Bajo K	9.488,2±413,2 a	27,0±0,5 a	256±4,9 a	61,9±0,1 a	109,8±15,3 a	144,9±24,9 ab	316,6±34,8 ab
Alto K	6.205,2±1375,4 ab	19,3±2,0 ab	194,3±10,9a	39,4±9,3 ab	70,3±17,5 ab	271,3±55,6 a	381,0±64 a

CC: control comercial; CS: control sin aplicación de fertilizantes; Bajo N: nitrógeno al 10% de la dosis recomendada (CC); Bajo P: fósforo al 10% de CC; Bajo K: potasio al 10% de CC; Alto N: nitrógeno al 200% de CC; Alto P: fósforo al 200% de CC; Alto K: potasio al 200% de CC.

AF: área foliar; NH: número de hojas; LT: longitud total; MSH: masa seca de hojas; MST: masa seca de tallo; MSR: masa seca de raíces; MS total: masa seca total.

Promedios ± error estándar. $n=3$. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

en plantas sin suministro de fertilizantes (CS) (114,1 g) y el mayor valor lo presentaron las plantas con Alto K (381 g) (Tab. 3).

El tratamiento CS presentó una disminución en la materia seca (hojas, tallo, raíces y total), número de hojas, área foliar y longitud total, además de sintomatología asociada a deficiencia de N (clorosis total de los folíolos del tercio bajo), K (clorosis en el margen de las hojas y en algunos casos necrosis en el borde de los folíolos del tercio bajo) y Mg (clorosis intervenal en el tercio inferior de la planta, quedando un tono de verde más fuerte en las venas de la hoja). Lo anterior, coincide con las bajas cantidades encontradas en el análisis de suelo del presente estudio. Elementos como N, K, P y Mg presentan alta demanda en etapa vegetativa para promover el desarrollo y crecimiento de las plantas (Giorgi *et al.*, 2009). En el presente ensayo se evidenció que las plantas del control suelo sin fertilizantes (CS) exhibieron sintomatología asociada a deficiencia de nitrógeno. La carencia o limitación de N en la planta ocasionado por la no adición de fertilizantes, altera el balance de hormonas a causa de la interrupción de la exportación de citoquininas desde la raíz hasta los brotes, disminución en la síntesis de proteínas, déficit en la actividad enzimática y

disminución del crecimiento (Rubio *et al.*, 2009; Baloch *et al.*, 2014).

Por otro lado, al adicionar bajas cantidades de K no se afectó el crecimiento ni las variables fisiológicas evaluadas en plantas de tomate de árbol. Lo anterior, es probablemente debido a que se presenta la condición de una parcial sustitución del K⁺ con el sodio (Na⁺), a razón de la escasa presencia del macroelemento en el suelo utilizado; donde las funciones tales como elongación celular y transporte de cationes a larga distancia son sustituidas o potencializadas por el sodio (Subbarao *et al.*, 2003).

Índices de crecimiento

Índice de área foliar (IAF)

Las plantas del tratamiento Bajo K aumentaron el IAF a través del tiempo en comparación con los otros tratamientos evaluados, alcanzando el mayor valor de entre los tratamientos (15,039) a los 150 ddt (Fig. 1A). Asimismo, las plantas bajo los tratamientos Alto N y Bajo N presentaron un valor máximo de 12,9 y 10,6, respectivamente a los 150 ddt, seguido por Alto

K presentando un valor de 9,87 (Figs. 1A, B). Laisk *et al.* (2005) indicaron que al momento de producir más hojas, las hojas de estratos bajos quedan sombreadas y la fotosíntesis se reduce en relación con la radiación. Del mismo modo, se evidenció que las plantas con Bajo K alcanzaron los parámetros de crecimiento más elevados como el AF y NH (Tab. 3), lo que probablemente es debido a la menor necesidad o demanda de este elemento en la fase vegetativa. En los parámetros de crecimiento, en todos los tratamientos evaluados entre los 50 y 150 ddt posiblemente se presentó una reducción en la velocidad de asimilación neta de fotoasimilados (dato no medido en el presente experimento).

Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

A partir de los 100 ddt se registró un incremento en la ganancia de biomasa por día (TAC) de plantas con Alto K (Fig. 1D), seguido por Bajo K, Bajo P y CC (Fig. 1C). A los 150 ddt las plantas sometidas a los tratamientos Alto K, Bajo K, Bajo P y CC presentaron el mayor valor (10,4, 7,7, 5,1, 3,7 $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$, respectivamente), a diferencia de las plantas con Alto N y Alto

P (0,16 y 0,19 $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ a los 147 ddt, respectivamente) (Fig. 1D). Se evidenció un decrecimiento de la TAC para las plantas con los tratamientos Alto N, Alto P y CS (1,77, 2,21 y 0,97 $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) (Fig. 1D).

Tasa relativa de crecimiento (TRC)

En general, los tratamientos CC y Bajo K (0,39 y 0,388 $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$, respectivamente) alcanzaron la mayor TRC en los primeros días, luego decreció a partir de los 15 ddt, finalmente los valores se reducen hasta los 150 ddt (0,015 y 0,014 $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$, respectivamente) (Fig. 1E). Los anteriores resultados coinciden con lo reportado por Almanza *et al.* (2008) donde sugiere que la TRC presenta un incremento de la curva al inicio del ciclo de las plantas de lulo que se disminuyen a través del ciclo de vida, similar a lo reportado por Barraza (2000).

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

La TCC registró un incremento en varios de los tratamientos, acorde avanzó el crecimiento de las plantas. Las plantas con Alto K y Bajo K alcanzaron los valores

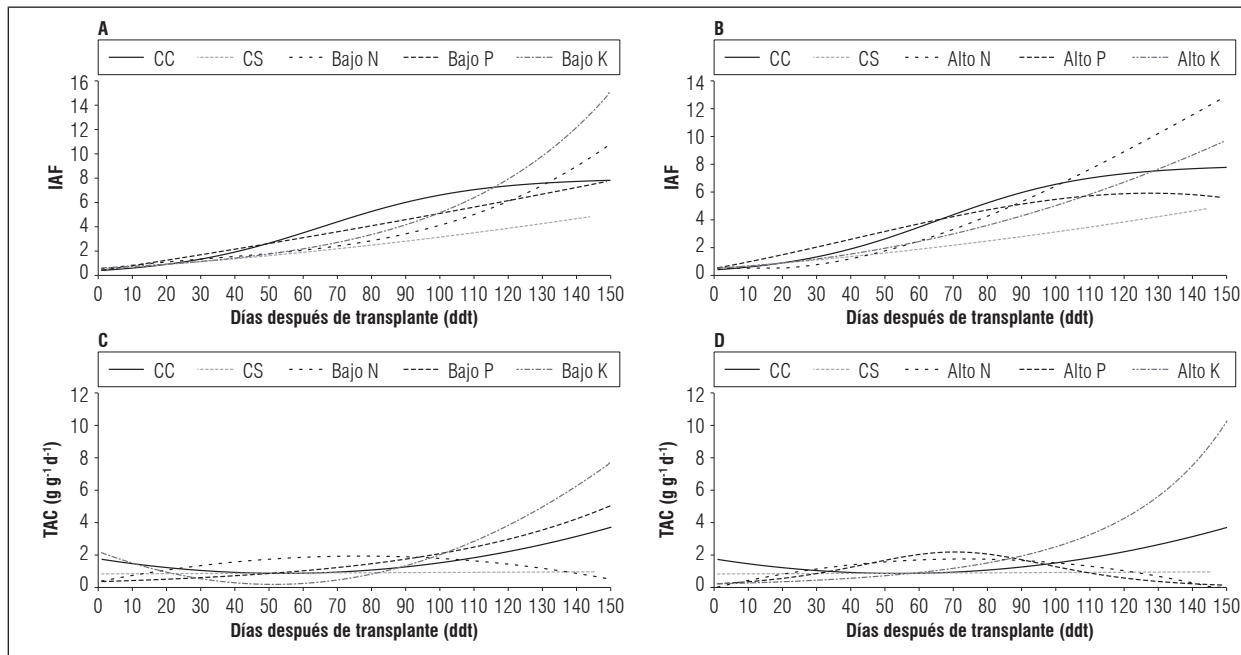


Figura 1. Índices de crecimiento en plantas de tomate de árbol en etapa vegetativa. A. Índice de área foliar (IAF) tratamientos bajos niveles NPK; B. Índice de área foliar (IAF) tratamientos altos niveles NPK; C. Tasa absoluta de crecimiento (TAC) tratamientos bajos niveles de NPK; D. Tasa absoluta de crecimiento (TAC) tratamientos altos niveles de NPK. $n=3$. CC: control comercial; CS: control solo suelo sin aplicación de fertilizantes; Bajo N: nitrógeno al 10% de la dosis recomendada; Bajo P: fósforo al 10%; Bajo K: potasio al 10%; Alto N: nitrógeno al 200%; Alto P: fósforo al 200%; Alto K: potasio al 200%. *Continúa*

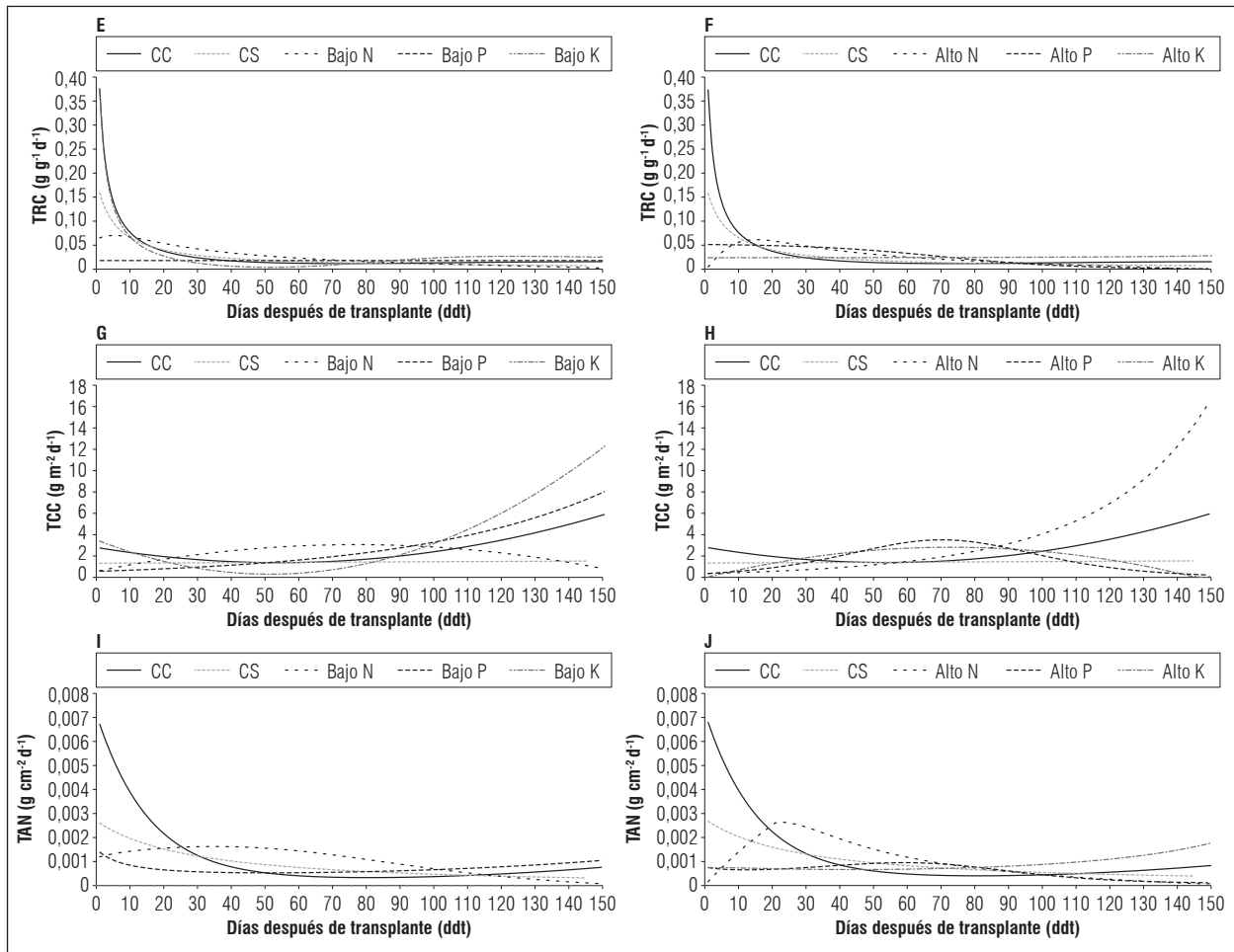


Figura 1. Índices de crecimiento en plantas de tomate de árbol en etapa vegetativa. *continuación:* E. Tasa relativa de crecimiento (TRC) tratamientos bajos niveles de NPK; F. Tasa relativa de crecimiento (TRC) tratamientos altos niveles de NPK; G. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) tratamientos bajos niveles de NPK; H. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) tratamientos altos niveles de NPK; I. Tasa de asimilación neta (TAN) tratamientos bajos niveles NPK; J. Tasa de asimilación neta (TAN) tratamientos altos niveles NPK. $n=3$. CC: control comercial; CS: control solo suelo sin aplicación de fertilizantes; Bajo N: nitrógeno al 10% de la dosis recomendada; Bajo P: fósforo al 10%; Bajo K: potasio al 10%; Alto N: nitrógeno al 200%; Alto P: fósforo al 200%; Alto K: potasio al 200%.

más altos (16,61 y 12,42 g m⁻² d⁻¹, respectivamente) a los 150 ddt (Figs. 1G, H). La TCC más baja se registró a los 150 ddt en plantas con los tratamientos Bajo N (0,97 g m⁻² día⁻¹), Alto N, Alto P y CS (0,2, 0,5 y 1,5 g m⁻² día⁻¹, respectivamente) (Figs. 1G, H). Posiblemente, Bajo K resulte en una mayor eficiencia fotosintética (variable no medida en esta fase del crecimiento); no obstante, se evidenció que este tratamiento registró el mayor AF (Tab. 3). Barraza (2000) señaló que la TCC y el área de las hojas determinan la efectividad de absorción de la radiación para la generación de fotoasimilados.

Tasa de asimilación neta (TAN)

Las plantas con el tratamiento Alto K presentaron la mayor ganancia de materia seca por cm² a los 150 ddt a diferencia de los demás tratamientos (Fig. 1J), lo cual posiblemente se asocia con la ganancia final de biomasa total de la planta (Tab. 3). La disminución en la acumulación de materia seca a través del tiempo, probablemente se relaciona con la menor área foliar expuesta a la radiación debido al mayor sombrero de las hojas (Barraza, 2000; Laisk *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

Se encontró bajo las condiciones evaluadas en el ensayo y suelo utilizado, disminución del crecimiento de las plántulas de tomate de árbol frente a la no aplicación de fertilizantes (CS). El tratamiento Bajo K aumentó el AF, NH, LI, MSH, MST, IAF y TRC, y el tratamiento Alto K exhibió la mayor TCC, no obstante, pese a lo encontrado en el presente estudio, no fue concluyente el resultado de Alto y Bajo K, en el aumento de las anteriores variables. De acuerdo a los resultados encontrados en el presente estudio, para suelos y condiciones similares, se sugiere reevaluar las dosis que actualmente se aplican en campo en cultivos comerciales de tomate de árbol, con el fin de mejorar parámetros relacionados con crecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias por la financiación de esta investigación perteneciente al proyecto “Ecofisiología, nutrición mineral y manejo integrado de plagas y enfermedades en aguacate, curuba, gulupa y tomate de árbol orientados hacia su manejo agronómico, como materia prima para el desarrollo de productos de interés comercial” coordinado por Dra. L.M. Melgarejo, de la Red Nacional para la Bioprospección RIFRUTBIO contrato 459/2013. Al Departamento de Biología y la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. A la financiación dada dentro del proyecto a Claudia Ramírez para la realización del presente trabajo en su tesis de maestría. Del mismo modo los autores agradecen al Dr. Manuel Iván Gómez de INGEPLANT por facilitar los fertilizantes con microelementos y al Dr. Jaime Torres de la Facultad de Ciencias Agrarias por su valiosa colaboración para definir las dosis de fertilizantes.

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

- Acosta-Quezada, P., M. Raigónb, A. Riofrío-Cuenca, M. García-Martínez, M. Plazas, J. Burneo, J. Figueroa, S. Vilanovac y J. Prohen. 2015. Diversity for chemical composition in a collection of different varietal types of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an Andean exotic fruit. *Food Chem.* 169(15), 327-335. Doi: 10.1016/j.foodchem.2014.07.152
- Almanza, P., P. Serrano y O. Castro. 2008. Respuesta fisiológica del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) a la fertilización orgánica en Tinjacá, Boyacá. *Cultura Científica* 6, 83-86.
- Armengaud, P., R. Sulpice, A. Miller, M. Stitt, A. Amtmann e Y. Gibon. 2009. Multilevel analysis of primary metabolism provides new insights into the role of potassium nutrition for glycolysis and nitrogen assimilation in *Arabidopsis* roots. *Plant Physiol.* 150(2), 772-785. Doi: 10.1104/pp.108.133629
- Baloch, P., R. Uddin, F. Nizamani, A. Solangi y A. Siddiqui. 2014. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on growth and yield characteristics of radish (*Raphanus sativus* L.). *Am. Eurasian. J. Agric. Environ. Sci.* 14(6), 565-569. Doi: 10.5829/idosi.eajaes.2014.14.06.12350
- Barraza, F. 2000. Crecimiento del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de maestría. Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma de Chapingo, México DF, México.
- Boussadia, O., K. Steppe, H. Zgallai, D. Ben El Hadj, M. Braham, R. Lemeur y M. Van Labeke. 2010. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars ‘Meski’ and ‘Koroneiki’. *Sci. Hortic.* 123, 336-342. Doi: 10.1016/j.scienta.2009.09.023
- Clark, C. y A. Richardson. 2002. Biomass and mineral nutrient partitioning in a developing tamarillo (*Solanum betaceum*) crop. *Sci. Hort.* 94, 41-51. Doi: 10.1016/S0304-4238(01)00355-7
- Clavijo-Sánchez, N., N. Flórez-Velasco y H. Restrepo-Díaz. 2015. Potassium nutritional status affects physiological response of tamarillo plants (*Cyphomandra betacea* Cav.) to drought stress. *J. Agr. Sci. Tech.* 17, 1839-1849.
- Divito, G. y V. Sadras. 2014. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. *Field Crops Res.* 156, 161-171. Doi: 10.1016/j.fcr.2013.11.004
- Fischer, G. (ed.). 2012. Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá, Colombia.
- Gardner, F., R. Pearce y R. Mitchell. 1990. *Physiology of crop plants*. 2a ed. Iowa State University, Ames, IA, USA.
- Giorgi, A., M. Mingozzi, M. Madeo, G. Speranza y M. Cocucci. 2009. Effect of nitrogen starvation on the phenolic metabolism and antioxidant properties of yarrow (*Achillea collina* Becker ex Rchb.). *Food Chem.* 114(1), 204-211. Doi: 10.1016/j.foodchem.2008.09.039
- Hill, T. y P. Lewicki. 2007. *Statistics: methods and applications*. StatSoft, Tulsa, OK, USA.

- Hu, W., X. Lv, J. Yang, B. Chen, W. Zhao, Y. Meng, Y. Wang, Z. Zhou y D. Oosterhuis. 2016. Effects of potassium deficiency on antioxidant metabolism related to leaf senescence in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Res.* 191, 139-149. Doi: 10.1016/j.fcr.2016.02.025
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. 6ª ed. Bogotá, Colombia.
- Kanai, S., R. Moghaieb, R. El-Shemy, R. Panigrahi, R. Mohapatra, J. Ito, N. Nguyen, H. Saneoka y K. Fujita. 2011. Potassium deficiency affects water status and photosynthetic rate of the vegetative sink in greenhouse tomato prior to its effects on source activity. *Plant Sci.* 180, 368-374. Doi: 10.1016/j.plantsci.2010.10.011
- Kalaji, H., A. Oukarroum, V. Alexandrov, V. Kouzmanova, M. Brestic, M. Zivcak, I. Samborska, M. Cetner, S. Allakhverdiev y V. Goltsev. 2014. Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. *Plant Physiol. Biochem.* 81, 16-25. Doi: 10.1016/j.plaphy.2014.03.029
- Laisk, A., H. Eichelmann, V. Oja, B. Rasulov, E. Padu, I. Bichele, H. Pettai y O. Kull. 2005. Adjustment of leaf photosynthesis to shade in a natural canopy: rate parameters. *Plant Cell Environ.* 28, 375-388. Doi: 10.1111/j.1365-3040.2004.01274.x
- Malvi, R. 2011. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka J. Agric. Sci.* 24(1), 106-109.
- Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Academia Press, Londres, UK.
- Martínez, F., J. Sarmiento, G. Fischer y F. Jiménez. 2008. Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agron. Colomb.* 26(3), 389-398.
- Montalvo, G. 2010. Evaluación de dos formulaciones químicas a base de N, P, K para el desarrollo y crecimiento de plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Oosterhuis, D., D. Loka, E. Kawakami y W. Pettigrew. 2014. The physiology of potassium in crop production. *Adv. Agron.* 126, 203-233. Doi: 10.1016/B978-0-12-800132-5.00003-1
- Osorio, C., N. Hurtado, C. Dawid, T. Hofmann, F. Heredia y A. Morales. 2012. Chemical characterisation of anthocyanins in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) and Andes berry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits. *Food Chem.* 132, 1915-1921. Doi: 10.1016/j.foodchem.2011.12.026
- Pilco, J. 2009. Evaluación de dos formulaciones químicas a base de N, P, K para floración y reproducción de plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Trabajo de pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Pillimue, G., N. Barrera y E. Cantillo. 1998. Determinación de deficiencias de elementos mayores en plántulas de tomate de árbol *Solanum betaceum* sinónimo *Solanum betaceum* (Cav.) Sendt. *Acta Agron.* 48(3), 62-67.
- Rios, J., S. Jaramillo, L. Gonzalez y J. Cortes. 2010. Determinación del efecto de diferentes niveles de fertilización en papa (*Solanum tuberosum* ssp. Andigena) Diacol Capiro en un suelo con propiedades ácidas de Santa Rosa de Osos, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63(1), 5225-5237 Doi: 10.15446/rfnam
- Rubio, V., R. Bustos, M. Irigoyen, X. Cardona-López, R. Rojas-Triana y J. Paz-Ares. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Mol. Biol.* 69(4), 361-373. Doi: 10.1007/s11103-008-9380-y
- Subbarao, G., L. Berry y R. Wheeler. 2003. Sodium – A functional plant nutrient. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22(5), 391-416. Doi: 10.1080/07352680390243495
- Vitousek, P., S. Porder, B. Houlton y O. Chadwick. 2010. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions. *Ecol. Appl.* 20, 5-15. Doi: 10.1890/08-0127.1

Características físicas de pedúnculos de clones de cajueiro-anão (*Anacardium occidentale* L.) produzidos em função da variação ambiental e temporal

Physical characteristics of cashew apples from dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) clones as a function of environmental and temporal variation



MARIA LUCILANIA BEZERRA ALMEIDA^{1,2}
CARLOS FARLEY HERBSTER MOURA¹
RENATO INNECCO¹
MÁRCIA RÉGIA SOUZA DA SILVEIRA¹

Árvore de cajueiro.

Foto: M.L.B. Almeida

RESUMO

As variáveis de qualidade física do pedúnculo de cajueiro consistem em diferentes características externas, como aparência, tamanho, coloração, formato, firmeza, entre outros. Esses apresentam grande importância na comercialização, uma vez que são os principais atributos que atraem o consumidor no momento da compra. Diante disso, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da região, ano de produção e do genótipo sobre as características físicas em cajus de cajueiro-anão. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial com medida repetida no tempo, aplicando-se a técnica de confundimento, sendo três clones (CCP 09, BRS 265 e PRO 555-1) em dois locais diferentes, sertão (Alto Santo-CE) e litoral (Beberibe-CE), com quatro repetições, colhidos nos anos de 2013 e 2014. No laboratório os cajus foram avaliados quanto a massa total (castanha e pedúnculo) em (g), massa da castanha (g), massa do pedúnculo (g), comprimento (mm), diâmetro apical e basal do pedúnculo (mm) e firmeza do pedúnculo (N). Observou-se que a região e o ano de produção influenciam na qualidade física do caju. Entre os clones estudados, o CCP 09 foi o único que apresentou comportamento semelhante em ambas as regiões. Isso mostra que o mesmo consegue expressar qualidade satisfatória em diferentes ambientes. Os demais apresentaram qualidade física superior quando cultivados no litoral. No sertão, o clone que se mostrou melhor adaptado foi o CCP 09, e no litoral o clone PRO 555-1.

Palavras-chave adicionais: condições ambientais, tamanho, qualidade física, precipitação pluviométrica.

¹ Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará e Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza-CE (Brasil). ORCID Almeida, M.L.B.: 0000-0001-6941-3725; ORCID Moura, C.F.H.: 0000-0002-6309-509X; ORCID Innecco, R.: 0000-0002-0992-8142; ORCID Silveira, M.R.S.: 0000-0003-7959-888X

² Autor para correspondência: lucilaniaalmeida@hotmail.com

ABSTRACT

Cashew apple physical quality variables include different external characteristics, such as appearance, size, color, shape, and firmness, among others, which are very important in commercialization because they are the first characteristics perceived by consumers, who usually buy what attracts them most. The objective of this study was to evaluate the influence of the region, production year and genotype on the physical characteristics of dwarf cashew cashews (cashew apple + nut). The experiment design was completely randomized in a factorial scheme with repeated measurements over time, applying the confounding technique, with three clones (CCP 09, BRS 265 and PRO 555-1) in two different regions, sertão (Alto Santo-CE) and coast (Beberibe-CE), with four replications, collected in 2013 and 2014. In the laboratory, the cashews were evaluated for total mass (nut and cashew apple) (g), nut and cashew apple mass (g), length (mm), apical and basal diameters of the cashew apple (mm) and firmness of the cashew apple (N). It was observed that the region and the production year influenced the physical quality of the cashews. Among the clones that were studied, CCP 09 was the only one that presented a similar behavior in both regions, showing that it can obtain satisfactory quality in different environments. The other clones differed, presenting superior physical quality on the coast. In the sertão region, the best adapted clone was CCP 09 and, on the coast, it was the PRO 555-1 clone.

Additional key words: environmental conditions, size, physical quality, rainfall.

Data de recepção: 30-10-2017 Aprovado para publicação: 30-01-2018

INTRODUÇÃO

A qualidade física do pedúnculo de cajueiro consiste em diferentes características externas, como aparência, tamanho, coloração, formato, firmeza, entre outros. Estas apresentam grande importância na comercialização, uma vez que são os principais atributos que atraem o consumidor no momento da compra. A qualidade dos frutos é estabelecida geneticamente, assim, não havendo intervenção do homem, uma vez que a qualidade não vai além do que determina a capacidade dos genes. No entanto, para que ocorra a expressão de todo seu potencial genético, as plantas requerem condições edafoclimáticas adequadas, principalmente água e nutrientes (Aular e Natale, 2013).

Os minerais influenciam fortemente a qualidade e produtividades dos frutos (Wang *et al.*, 2015). A análise química do solo permite caracterizar sua capacidade em fornecer nutrientes para as plantas, verificar a acidez e presença de elementos tóxicos, orientar as recomendações de correção e adubação do solo e escolher espécies ou variedades mais adaptadas ao cultivo (Melém Júnior *et al.*, 2008).

O cajueiro é cultivado predominantemente em sequeiro, onde muitas vezes há uma baixa disponibilidade de água e excesso de sal. Contudo, se torna

necessário, no período das chuvas, uma quantidade adequada de água à cultura, para que a planta apresente desempenho e produção satisfatórios, tendo em vista que a deficiência hídrica afeta os processos bioquímicos e fisiológicos das plantas prejudicando, assim, a sua produção (Shinozaki e Yamaguchi-Shinozaki, 2007). Em algumas espécies, o déficit hídrico durante a fase de crescimento do fruto causa drástica redução no tamanho e na qualidade dos mesmos, como observado em mandarim (Navarro *et al.*, 2010) e em laranja doce (García-Tejero *et al.*, 2010).

A cajucultura está concentrado nas regiões intertropicais, em que muitas vezes apresentam solo com baixa fertilidade e, por vezes, com alta salinidade. Além disso, as condições climáticas da região apresentam características específicas, como elevadas temperaturas, baixos índices pluviométricos com distribuição irregular, alta luminosidade e baixa umidade relativa, os quais influenciam o processo de evapotranspiração contribuindo para o déficit hídrico. Com isso, é possível que as diferenças ambientais e culturais entre as regiões de produção possam afetar a produção de fotoassimilados na planta e, conseqüentemente, a partição dos mesmos para a composição dos frutos, influenciando na qualidade física dos cajus.

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da região, ano de produção e do genótipo sobre as características físicas, baseando-se na hipótese de que as diferenças edafoclimáticas entre as regiões e ano de produção possam vir a afetar a produção de fotoassimilados na planta e, conseqüentemente, à partição dos mesmos para a composição dos frutos, influenciando nos atributos físicos do caju.

MATERIAL E MÉTODOS

Os cajus (pedúnculo e castanha) de clones de cajueiro-anão foram provenientes de unidades demonstrativas da Embrapa Agroindústria Tropical, localizadas em dois municípios do estado do Ceará, Brasil, sendo um no sertão (Alto Santo) e o outro no litoral (Beberibe). O município de Alto Santo localiza-se na mesorregião do Jaguaribe, distante 230 km da capital. A unidade demonstrativa situa-se a 05°31'58" S e 38°04'12" W, com topografia plana, 187 m de altitude e clima Semiárido BSh. O tipo de solo foi classificado como latossolo vermelho-amarelo e textura arenosa. O município de Beberibe está localizado a 04°16'13" S e 38°06'05" W, na mesorregião do Norte Cearense, distante 79 km da capital com altitude de 41 m e clima tropical atlântico e subúmido (As). O tipo de solo

foi classificado como Neossolo Quartzarênico de textura arenosa.

O espaçamento de plantio constava de 6×8 m (sistema retangular) e 7×7 m (sistema quadrado) para Alto Santo e Beberibe, respectivamente. As plantas foram cultivadas em regime de sequeiro, sendo realizado a poda e coroamento. Os dados pluviométricos do período são apresentados na tabela 1.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial com medida repetida no tempo, aplicando-se a técnica de confundimento, com 4 repetições. Os tratamentos consistiam em três clones de cajueiro-anão, CCP 09, BRS 265 e PRO 555-1, as duas regiões citadas e dois anos consecutivos de produção, 2013 e 2014. O número total de plantas foi de 30 plantas por clone.

Cerca de 30 cajus maduros foram colhidos, nas primeiras horas do dia, de forma aleatória no total de plantas de cada clone, e em cada região. Em seguida, foram acondicionados em caixas plásticas com a parte inferior revestida com espuma de poliestireno de 1 cm de espessura, dispostos em camada única para evitar danos físicos aos pedúnculos. Os cajus foram transportados para o Laboratório de Pós-Colheita da

Tabela 1. Pluviosidade (mm) ocorrida de janeiro a dezembro de 2013 e 2014 nas regiões de Alto Santo (sertão) e Beberibe (litoral), CE.

Meses	Pluviosidade mensal			
	Alto Santo/2013 (Sertão)	Beberibe/2013 (Litoral)	Alto Santo/2014 (Sertão)	Beberibe/2014 (Litoral)
Janeiro	0,7	61	7	38
Fevereiro	56,4	58	51,6	125
Março	27,8	87	198,2	190
Abril	192,4	224	133	246
Mai	75,4	88	64,9	145
Junho	131,2	151	0	36
Julho	3,2	22	25,4	0
Agosto	0	0	0	0
Setembro	0	0	0	8
Outubro	0	0	0	5
Novembro	25	12	5,2	10
Dezembro	72,4	0	0	22
Total	584,5	703	485,3	825
Média histórica	834,8	914,1	834,8	914,1

Fonte: FUNCEME, 2014.

Embrapa Agroindústria Tropical, onde passaram por um processo de seleção, sendo descartados aqueles que apresentavam pedúnculos com danos mecânicos ou atacados por pragas/doenças.

No laboratório, os cajus foram caracterizados fisicamente quanto a massa total (castanha e pedúnculo) (g), obtido por meio de balança semianalítica em cada fruto individualmente; massa da castanha (g), realizado após o descastanhamento do caju e pesagem da castanha também em balança semianalítica; massa do pedúnculo (g) por diferença entre a massa total e a massa da castanha; comprimento, diâmetro basal (próximo a castanha) e apical (lado oposto a castanha) do pedúnculo (mm), foram realizados com auxílio de um paquímetro digital; e firmeza do pedúnculo (N) foi determinada por meio de um penetrômetro manual Mc Cormick modelo FT 011 com ponteira de 8 mm de diâmetro, realizada em dois pontos, em lados opostos, na parte mediana do pedúnculo.

Para avaliar as características químicas do solo, nas áreas do experimento, foram coletados, em cada ano, amostras simples de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade na área de projeção da copa das plantas. Em seguida, por ocasião da homogeneidade da área, realizou-se a mistura destas para formação da amostra composta para cada região. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos, devidamente etiquetados, e transportados para o Laboratório de Solos da Embrapa Agroindústria Tropical, onde foi peneirado e realizadas todas as análises químicas para fins de avaliação de fertilidade.

As análises seguiram metodologia de Silva (2009). Analisou-se pH (água), com leitura obtida em pHmetro; acidez potencial, H+Al (acetato de Ca), por titulação; Ca, Mg e Al (KCl); P, K e Na (Mehlich-1); Fe, Zn e Mn (Mehlich-1). A seguir, por meio desses, determinou-se a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e percentagem de saturação por bases (V%).

Os resultados das análises físicas foram submetidos ao teste de normalidade e heterogeneidade de variância, e a análise de variância (ANOVA) foi realizada utilizando o software SISVAR versão 5.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras (Ferreira, 2008), e, para a comparação das médias, utilizou-se o teste de Tukey a 0,05 de significância. Para os dados da análise de solo, calculou-se o valor médio em cada profundidade para representação da fertilidade das áreas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do teste de normalidade observou-se que os resultados obtidos, para todas as variáveis, seguiram distribuição normal, permitindo a comparação das médias, em que verificou-se a interação entre os fatores estudados para todas as características físicas avaliadas.

Observou-se na massa total interação entre clone e região, e clone e ano (Tab. 2). Para os clones nas duas regiões, verificou-se os maiores valores para o litoral, exceto o CCP 09 que não diferiu. No litoral, o clone representado por maior valor foi o PRO 555-1; já no sertão os maiores valores foram observados no CCP 09 e no PRO 555-1. Em relação aos clones em cada ano de produção, verificou-se os maiores valores no ano de 2013, exceto o BRS 265. Em 2013, a maior massa foi obtida pelo clone PRO 555-1; já em 2014 não houve diferença entre os clones.

Comportamento semelhante à massa total foi observado na massa da castanha, massa e comprimento do pedúnculo, em que observou-se as mesmas interações (clone e região; clone e ano) (Tab. 2). Para massa da castanha, observou-se as maiores massas no litoral, com os maiores valores para o PRO 555-1 em ambas as regiões. Em relação aos clones nos anos de produção, verificou-se diferença entre os anos apenas para o CCP 09, com os maiores valores no ano de 2013.

Quanto a massa do pedúnculo e seu comprimento, observou-se os maiores valores nos clones produzidos no litoral, com exceção do CCP 09. Para a massa do pedúnculo, os clones com os maiores valores foram o PRO 555-1 e o CCP 09 para região litoral e sertão, respectivamente; para o comprimento foram o PRO 555-1 e CCP 09 no sertão e PRO 555-1 no litoral (Tab. 2).

Em relação aos diferentes anos de produção, verificou-se para massa do pedúnculo os maiores valores no ano de 2013, exceto o clone BRS 265 (Tab. 2). No comprimento houve diferença entre os anos apenas para o PRO 555-1 com os maiores valores no ano de 2013. Valores superiores de comprimento do pedúnculo foram observados em estudos realizados por Lopes *et al.* (2011), em que verificaram 63,60 e 57,93 mm para o CCP 09 e BRS 265, respectivamente. Esta diferença com a literatura pode estar relacionado à diferenças das condições ambientais, uma vez que os dados da literatura foram obtidos de cajus produzidos

Tabela 2. Médias das variáveis físicas de cajus (pedúnculo e castanha) de três clones de cajueiro-anão em função da variação ambiental e temporal.

Clone	Massa total (g)		Massa da castanha (g)		Massa do pedúnculo (g)	
	Sertão	Litoral	Sertão	Litoral	Sertão	Litoral
CCP 09	73,88 aA ± 4,10	70,94 aB ± 5,99	6,70 bB ± 0,33	8,19 aC ± 0,23	67,17 aA ± 3,83	62,75 aB ± 5,77
BRS 265	51,31 bB ± 2,45	83,02 aB ± 4,49	6,63 bB ± 0,15	10,91 aB ± 0,28	44,69 bB ± 2,32	72,62 aB ± 4,29
PRO 555-1	59,54 aB ± 3,87	122,24 aA ± 9,32	8,15 bA ± 0,47	14,65 aA ± 0,39	51,39 bB ± 3,43	107,59 aA ± 9,05
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
CCP 09	80,82 aB ± 4,40	63,99 bA ± 3,70	7,99 aB ± 0,29	6,90 bC ± 0,39	72,83 aB ± 4,25	57,10 bA ± 3,69
BRS 265	63,16 aC ± 4,64	71,18 aA ± 8,48	8,53 aB ± 0,70	9,00 aB ± 0,95	54,63 aC ± 4,04	62,68 aA ± 7,66
PRO 555-1	101,90 aA ± 15,50	79,88 bA ± 10,38	11,79 aA ± 1,24	11,01 aA ± 1,35	90,11 aA ± 14,30	68,88 bA ± 9,09
CV1 (%)	16,79		11,15		17,48	
CV2 (%)	17,51		7,70		19,28	

Clone	Comprimento do pedúnculo (mm)			
	Sertão	Litoral	2013	2014
CCP 09	52,19 aA ± 1,69	53,03 aB ± 1,17	54,39 aB ± 1,34	50,83 aA ± 1,26
BRS 265	38,52 bB ± 1,02	47,50 aC ± 1,43	42,10 aC ± 1,28	43,91 aB ± 2,64
PRO 555-1	56,01 bA ± 2,10	61,89 aA ± 2,58	63,91 aA ± 1,83	53,98 bA ± 1,78
CV1 (%)	7,28			
CV2 (%)	6,98			

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha, e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

em Pacajus, o qual refere-se a uma região de transição entre o litoral e o sertão.

Para os diâmetros basal e apical dos pedúnculos houve interação entre clone e região, verificando as maiores dimensões nos pedúnculos provenientes da região litoral, exceto o CCP 09 que não diferiu quanto ao diâmetro basal (Tab. 3).

Em relação a firmeza do pedúnculo, observou-se interação entre clone e região e entre ano e região (Tab. 3). Para os clones nas diferentes regiões, verificou-se diferença apenas para o PRO 555-1 com os maiores valores mostrados no litoral. Quanto as regiões nos diferentes anos, observou-se os maiores valores no ano de 2013 para os pedúnculos produzidos no litoral, ao passo que no sertão não houve diferença.

Tabela 3. Médias das variáveis físicas de pedúnculo de três clones de cajueiro-anão em função da variação ambiental e temporal.

Clone	Diâmetro basal (mm)		Diâmetro apical (mm)		Firmeza (N)	
	Sertão	Litoral	Sertão	Litoral	Sertão	Litoral
CCP 09	48,86 aA ± 0,87	49,28 aB ± 0,95	36,08 bA ± 0,86	38,53 aB ± 1,09	13,66 aB ± 0,31	14,67 aB ± 0,65
BRS 265	41,61 bB ± 0,71	49,03 aB ± 0,87	37,80 bA ± 0,43	44,78 aA ± 0,49	16,91 aA ± 0,41	15,64 aB ± 1,31
PRO 555-1	43,32 bB ± 1,09	60,07 aA ± 1,69	29,79 bB ± 0,80	45,66 aA ± 0,42	12,13 bB ± 0,46	20,13 aA ± 0,49
Ano						
2013	-	-	-	-	13,75 bA ± 0,69	17,93 aA ± 0,83
2014	-	-	-	-	14,72 aA ± 0,63	15,69 aB ± 1,06
CV1 (%)	5,23		3,96		6,48	
CV2 (%)	6,04		5,82		12,03	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha, e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Os pedúnculos em ambas as regiões expressaram elevada firmeza, com destaque para o CCP 09, que em outros estudos aparece com valores inferiores ao do presente trabalho, como verificado por Lopes *et al.* (2011), que encontraram 7,77 N em pedúnculos produzidos em Pacajus-CE.

Na região litoral, observou-se, visivelmente, que as plantas apresentaram-se com copas bem desenvolvidas, folhosas e verdes, ou seja, eram plantas mais vigorosas, provavelmente com maior taxa fotossintética, em virtude das condições nutricionais e climáticas, proporcionadas por este ambiente, de clima tropical quente e úmido. Esse ambiente, provavelmente, permite maior expressão das atividades fisiológicas e, conseqüentemente, maior acúmulo de carboidratos, que resultam no incremento de biomassa, levando a produção de caju de maior tamanho, uma vez que a quantidade de carboidratos fornecidos aos frutos depende da quantidade produzida pela fotossíntese (Léchaudel e Joas, 2007).

Por sua vez, as plantas do sertão mostraram-se com copas menos folhosas e raquíticas. Possivelmente, devido às condições do clima semiárido, quente e seco, caracterizado pelo baixo índice pluviométrico e grande irregularidade em sua distribuição, forte insolação e evaporação, temperatura média elevada e baixa umidade relativa do ar. Além disso, as condições edáficas também podem ter influenciado negativamente no estado nutricional das plantas e influenciando, conseqüentemente, o tamanho dos pedúnculos.

A expressão das características físicas dos caju de cada clone depende, além da sua genética, de fatores, como o adequado atendimento as exigências nutricionais e as condições edafoclimáticas, a fim de que as plantas possam expressar todo seu potencial genético (Aular e Natale, 2013). Quanto ao crescimento do caju, esse pode ter sido afetado de forma negativa por fatores abióticos como, por exemplo, o déficit hídrico. Fato observado nos caju (pedúnculo e castanha) do sertão, onde as plantas sofreram maior déficit hídrico, devido à menor quantidade de precipitação e, conseqüentemente, os caju apresentaram redução no tamanho e massa.

Influência das condições ambientais também foi observado no desenvolvimento dos frutos de toranjeiras, quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico em diferentes estágios fenológicos, em que verificaram a redução do tamanho do fruto (Pérez-Pérez *et al.*, 2014).

Os pedúnculos mais firmes quando produzidos na região litoral se deve, provavelmente, a maior quantidade de cálcio presente no solo (Tab. 4), uma vez que esse, em frutíferas, afeta a qualidade do produto final, apresentando relação direta entre o amolecimento do fruto, firmeza e tempo de vida útil pós colheita (Aular e Natale, 2013). A abundância de cálcio presente no solo litoral alcançou 82% a mais que o solo do sertão, assim, as plantas estavam sob maior disponibilidade de cálcio para absorção e assimilação e, conseqüentemente, maior translocação para os pedúnculos.

Além da maior quantidade de cálcio no solo litoral, a região apresenta ainda pluviosidade mais favorável a cultura, uma vez que a água desempenha papel fundamental na eficiência de aproveitamento do cálcio, visto que a maior parte do elemento é fixado pela planta via fluxo de massa. Como o vaso condutor ascendente é o xilema e a redistribuição do cálcio na planta é insignificante, quando há vários drenos envolvidos, e as folhas têm proporcionalmente maior superfície de exposição, o cálcio dirige-se, preferencialmente, a esses órgãos, em detrimento dos frutos (Aular e Natale, 2013).

Apesar das condições de solo e pluviosidade favoráveis ao aproveitamento do cálcio para formação de frutos mais firmes, o CCP 09 e o clone BRS 265 não diferiram do sertão. Isso se deve, provavelmente, a problemas como a baixa translocação de cálcio ao pedúnculo ou a não formação de complexos de pectato de cálcio no pedúnculo.

O cálcio é considerado importante para manter a estrutura da parede celular, interagindo com a pectina, para formar complexos de pectato de cálcio, que suportam a ligação entre os componentes da parede celular e reduz a atividade de enzimas associadas com a degradação da mesma (Madani *et al.*, 2014; Khaliq *et al.*, 2015), ajudando a manter a firmeza dos frutos.

Diante das diferentes condições edafoclimáticas das regiões de produção do cajueiro, notou-se, entre os clones estudados, que os pedúnculos do CCP 09 foram os únicos que apresentaram desempenho semelhante em ambas as regiões, exceto para o diâmetro apical. Além disso, no sertão, em que apresenta baixa fertilidade do solo, altas temperaturas, baixa precipitação pluviométrica e umidade relativa, foi o clone com maior pedúnculo, mostrando-se que consegue desenvolver seu potencial em diferentes ambientes. Podendo ainda, o CCP 09, atingir potencial superior ao do estudo realizado em outras condições

ambientais, como observado por Lopes *et al.* (2011) em uma região de transição entre o litoral e o sertão, em que verificaram para massa total 141,67 g, massa do pedúnculo de 131,56 e 10,18 g para massa da castanha. Os mesmos autores estudaram ainda o clone BRS 265, mostrando valores inferiores aos cajus produzidos na região litoral e superiores aos do sertão.

Os demais clones apresentaram grande diferença entre as regiões na maioria das variáveis analisadas, sendo essa diferença mais expressiva no clone PRO 555-1, que ainda encontra-se em fase experimental. O mesmo apresentou o melhor comportamento quando produzido no litoral, sempre com valores semelhantes ou superiores aos outros clones. Isso mostra ser um clone mais apropriado para regiões de boas condições ambientais, tais como alta pluviosidade, boa fertilidade do solo, entre outros, que irão favorecer a expressão do seu potencial genético, quando comparado ao sertão, que não se observou um bom desempenho do mesmo.

Com base na análise de solo, observou-se no sertão percentagem de saturação por bases (V%) menor que 50%, que o caracteriza como um solo distrófico (pouco fértil), podendo ainda caracterizá-lo como um solo álico (muito pobre), uma vez que apresenta alumínio (Al) trocável >3 mmol_c dm⁻³ e percentagem de saturação em alumínio (m%) superior a 50% (dados não apresentados). Isso significa que existe uma maior adsorção de Al³⁺ e H⁺ e quantidades menores dos cátions básicos Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, adsorvidos nos coloides do solo (Ronquim, 2010), que o caracteriza como um solo ácido, podendo comprovar pelos valores de pH, que variaram de 4,43 a 5,06, abaixo do pH ideal à cultura (Tab. 4).

A maioria das culturas apresentam boa produtividade quando no solo é obtido valor de V% entre 50 a 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5 (Ronquim, 2010). Fato observado no solo litoral, em que observou-se um V% superior a 70%, em ambos os anos e profundidades de coleta, e pH variando de 6,13 a 6,78, considerado como um solo eutrófico (fértil), o que, provavelmente, proporcionou a produção de cajus com atributos físicos superiores aos do sertão.

Diante disso, a quantidade de alumínio presente no solo do sertão (5 a 12 mmol_c dm⁻³, variando de acordo com a profundidade de coleta da amostra de solo) pode ter comprometido a assimilação dos nutrientes pelas raízes, prejudicando o bom desempenho das plantas e, conseqüentemente, a qualidade no aspecto

Tabela 4. Características químicas do solo da área experimental, sertão (Alto Santo) e litoral (Beberibe), nos anos de 2013 e 2014.

Profundidade cm	Região	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	SB	CTC	V% %	mg dm ⁻³		
											Fe	Zn	Mn
0-20	Sertão 2013	5,06	1,31	1,56	6,62	6,18	18,98	14,49	33,47	43,30	12,71	0,85	4,29
20-40		4,54	1,31	1,22	3,93	3,46	22,28	8,76	31,03	28,22	9,35	0,53	0,85
0-20	Litoral 2013	6,20	1,31	1,38	23,03	6,61	12,65	31,37	44,02	71,26	4,93	0,78	5,33
20-40		6,13	1,31	0,84	16,15	5,58	9,63	22,80	32,44	70,33	4,77	0,45	1,83
0-20	Sertão 2014	4,62	0,98	1,22	5,24	5,0	21,45	13,44	34,89	38,52	18,46	0,69	3,48
20-40		4,43	0,98	0,92	3,37	2,8	20,90	8,96	29,86	30,00	16,48	0,60	1,31
0-20	Litoral 2014	6,62	1,00	1,80	29,5	10,6	13,20	43,97	57,17	76,91	5,17	1,29	3,72
20-40		6,78	0,99	1,21	18,9	5,3	8,25	27,65	35,90	77,02	6,07	0,77	2,15

físico dos pedúnculos, uma vez que a acidez do solo vinculado ao excesso de alumínio e ferro restringe a absorção de água e nutrientes pela planta, devido a efeitos osmóticos induzidos pelo excesso da concentração de sais no solo (Prado, 2012). No entanto, o CCP 09, provavelmente, mostrou-se mais resistente a essas condições extremas, conseguindo explorar solos mais ácidos e apresentar desempenho semelhante ao litoral.

Quanto aos dados pluviométricos dos anos de 2013 e 2014, fornecidos pela FUNCEME (2014, 2015) (Tab. 1), observou-se que a região do sertão choveu abaixo da média histórica. Além disso, ainda apresentou uma redução de 99,2 mm do ano de 2013 para 2014. No litoral, as chuvas também ficaram abaixo da média histórica, porém dentro da faixa adequada ao cultivo do cajueiro, que varia entre 800 a 1.500 mm por ano. Apresentou um aumento de 122 mm do ano de 2013 para o ano de 2014.

Com isso, nota-se que o valor mínimo exigido pela cultura só foi atingido pela região litoral no ano de 2014, apresentando 340 mm de diferença do sertão. Com a pluviosidade abaixo da média exigida pela cultura, ocorre um déficit hídrico, levando a redução da extração de nutrientes do solo, limitando a solubilização dos mesmos no ambiente das raízes e alterando a morfologia do sistema radicular (Alves *et al.*, 2013). Afetando ainda o desempenho produtivo, provavelmente, por meio da redução do processo fotossintético, devido a menor folhagem da copa, assim, há uma menor quantidade de carboidratos e, conseqüentemente, afetando negativamente na produção e qualidade física dos cajus.

CONCLUSÕES

A região, o ano de produção e o genótipo influenciam a qualidade física de pedúnculos de cajus. Entre os materiais estudados, o CCP 09 foi o único que apresentou desempenho semelhante em ambas as regiões. Isso mostra que o mesmo consegue expressar qualidade satisfatória em diferentes ambientes; os demais diferiram, apresentando qualidade física superior para a região litoral. Na região do sertão, o material com melhor desempenho foi o CCP 09, e no litoral o clone PRO 555-1.

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

- Alves, E.S., J.E. Cardoso, L.G.C. Silva e J.S. Lima. 2013. Interação das condições edafoclimáticas com a resinose do cajueiro. *Enciclopédia Biosfera* 9(16), 1320-1345.
- Aular, J. e W. Natale. 2013. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, manga, banana e mamoeiro. *Rev. Bras. Frutic.* 35 (4), 1214-1231. Doi: 10.1590/S0100-29452013000400033
- Ferreira, D.F. 2008. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. *Rev. Symposium* 6(2), 36- 41.
- FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). 2014. Calendário das chuvas no estado do Ceará. Em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/calendariodaschuvas>; acessado em janeiro de 2014.
- FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). 2015. Calendário das chuvas no estado do Ceará. Em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/calendariodaschuvas>; acessado em janeiro de 2015.
- García-Tejero, I., R. Romero-Vicente, J.A. Jiménez-Bocanegra, G. Martínez-García, V.H. Durán-Zuazo e J.L. Muriel-Fernández. 2010. Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. *Agric. Water Manag.* 97 (5), 689-699. Doi: 10.1016/j.agwat.2009.12.012
- Khaliq, G., M.T.M. Mohamed, A. Ali, P. Ding e H.M. Ghazali. 2015. Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. *Sci. Hortic.* 190, 187-194. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.04.020
- Léchaudel, M. e J. Joas. 2007. An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behaviour. *Braz. J. Plant Physiol.* 19 (4), 287-298. Doi: 10.1590/S1677-04202007000400004
- Lopes, M.M.A., C.F.H. Moura, F.A.Z. Aragão, T.G. Cardoso e J. Enéas Filho. 2011. Caracterização física de pedúnculos de clones de cajueiro anão precoce em diferentes estádios de maturação. *Rev. Cienc. Agron.* 42(4), 914-920. Doi: 10.1590/S1806-66902011000400013
- Madani, B., M.T.M. Mohamed, C.B. Watkins, J. Kadir, Y. Awang e T.R. Shojaei. 2014. Preharvest calcium chloride sprays affect ripening of Eksotika II' papaya fruits during cold storage. *Sci. Hortic.* 171, 6-13. Doi: 10.1016/j.scienta.2014.03.032

- Melém Júnior, N.J., I.C.B. Fonseca, O.R. Brito, T. Decaêns, M.M. Carneiro, M.F.A. Matos, M.C. Guedes, J.A.L. Queiroz e K.O. Barroso. 2008. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. *Semina Ciênc. Agrár.* 29 (3), 499-506.
- Navarro, J.M., J.G. Pérez-Pérez, P. Romero e P. Botía. 2010. Analysis of the changes in quality in mandarin fruit, produced by deficit irrigation treatments. *Food Chem.* 119 (4), 1591-1596. Doi: 10.1016/j.foodchem.2009.09.0488
- Pérez-Pérez, J.G., J.M. Robles e P. Botía. 2014. Effects of deficit irrigation in different fruit growth stages on 'Star Ruby' grapefruit trees in semi-arid conditions. *Agric. Water Manag.* 133, 44-54. Doi: 10.1016/j.agwat.2013.11.002
- Prado, R.M. 2012. *Nutrição de plantas: Diagnose foliar em frutíferas.* Gráfica Multipress Ltda., Jaboticabal-SP, Brasil.
- Ronquim, C.C. 2010. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. *Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 8.
- Shinozaki, K. e K. Yamaguchi-Shinozaki. 2007. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *J. Exp. Bot.* 58, 221-227. Doi: 10.1093/jxb/erl164
- Silva, F.C. 2009. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.* 2. ed. EMBRAPA, Brasília, Brasil.
- Wang, G., X.Z. Zhang, Y. Wang, X. Xu e Z. Han. 2015. Key minerals influencing apple quality in Chinese orchard identified by nutritional diagnosis of leaf and soil analysis. *J. Integr. Agric.* 14(5), 864-874. Doi: 10.1016/S2095-3119(14)60877-7

Fluorescencia de la clorofila *a* en plantas de piña sometidas a aplicación de herbicidas

Fluorescence of chlorophyll *a* in pineapple plants submitted to herbicide applications

JULIANO MIARI CORRÊA¹
EVANDER ALVES FERREIRA¹
GUSTAVO ANTÔNIO MENDES PEREIRA^{2,3}
ALBA ROCIO AGUILAR PIRATOBA²
JOSÉ BARBOSA DOS SANTOS¹
CARLOS HENRIQUE DE OLIVEIRA¹
CÍCERO TEIXEIRA SILVA¹



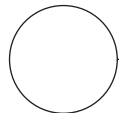
Área experimental de plantación de piña.

Foto: E.A. Ferreira

RESUMEN

El manejo químico de malezas con herbicidas es una actividad recomendada en cultivos, estrategia que permite un control eficaz para el cultivo de piña, que puede afectar su crecimiento y fisiología. De acuerdo a esto, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de herbicidas de post-emergencia en parámetros de fluorescencia de la clorofila y tasa de transporte de electrones, relacionando la fluorescencia de la clorofila *a* en plantas de piña, variedad Imperial, así como, comprobar la intoxicación causada por estos productos. El experimento se realizó en campo en bloques aleatorizados en esquema factorial 5×2, siendo cuatro herbicidas (ametrym, diuron, fluzifop y sulfentrazone) y el control (sin herbicida) y dos tiempos de evaluación (7 y 21 días después de la aplicación). El monitoreo de la fluorescencia de clorofila y las tasas de transporte de electrones también se llevaron a cabo a los 7 y 21 días después de la aplicación del tratamiento, siendo las variables: 1) fluorescencia inicial; 2) fluorescencia máxima; 3) relación de fluorescencia variable y fluorescencia total y 4) tasa de transporte de electrones. Los herbicidas evaluados afectaron negativamente el aparato fotosintético de las plantas de piña, el herbicida diuron seguido del ametrym fueron los productos que provocaron mayor estrés fisiológico en el cultivo. En la segunda época de evaluación, los efectos sobre el aparato fotosintético de las plantas se fueron intensificando, donde los productos probados redujeron los valores de la relación fluorescencia variable y máxima, indicando aumento del estrés causado por los herbicidas evaluados.

Palabras clave adicionales: *Ananas comosus*, relación F_v/F_m , ametrym, fluzifop-p-butyl.



¹ Departamento de Agronomia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina-MG (Brasil). ORCID Corrêa, J.M.: 0000-0002-6592-7523; ORCID Ferreira, E.A.: 0000-0003-4701-6862; ORCID Santos, J.B.d.: 0000-0002-5746-7248; ORCID Oliveira, C.E.d.: 0000-0001-5130-7094; ORCID Silva, C.T.: 0000-0002-5268-3742

² Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG (Brasil). ORCID Pereira, G.A.M.: 0000-0002-9063-3500; ORCID Piratoba, A.R.A.: 0000-0002-0939-3432

³ Autor para correspondencia. gustavogamp@hotmail.com

ABSTRACT

The chemical management of weeds with herbicides is recommended for crops, a strategy that allows for the effective control of pineapple crops and that can affect growth and physiology. Accordingly, the objective of this study was to evaluate the effect of post-emergence herbicides on the fluorescence parameters chlorophyll and electron transport rate, relating chlorophyll a fluorescence in pineapple plants, Imperial variety, and checking for poisoning caused by these products. This experiment was carried out in the field in randomized blocks in a 5x2 factorial scheme, with four herbicides (ametym, diuron, fluzifop and sulfentrazone), a control (without herbicide) and two evaluation times (7 and 21 days after the application). The chlorophyll fluorescence monitoring and electron transport rates were carried out 7 and 21 days after the application of the treatment. The variables were: 1) initial fluorescence; 2) maximum fluorescence; 3) variable fluorescence ratio and total fluorescence; and 4) electron transport rate. The evaluated herbicides negatively affected the photosynthetic apparatus of the pineapple plants. The herbicide diuron, followed by ametrym, caused the greatest physiological stress in the crop. In the second evaluation period, the effects on the photosynthetic apparatus of the plants intensified, where the tested products reduced the values of the variables and maximum fluorescence ratio, indicating increased stress from the evaluated herbicides.

Additional key words: *Ananas comosus*, Fv/Fm ratio, ametrym, fluzifop-p-butyl.

Fecha de recepción: 15-08-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo milenario de la humanidad la fruticultura viene proporcionando los llamados alimentos funcionales (Moura *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2017). En la actualidad es una fuente de servicios y productos, siendo materia prima básica de diferentes sectores además del alimentario y desde la perspectiva financiera se puede considerar como un producto importante, mostrando su papel trascendental en la economía mundial, contribuyendo en la seguridad alimentaria y nutricional de la población humana (Bahense *et al.*, 2015).

Las regiones de la zona tórrida de la Tierra permiten una producción significativa de frutas durante todo el año, convirtiéndose en objetivo de trabajos investigativos y búsqueda de tecnologías apropiadas para reducir costos de producción, pero aumentando la productividad (Fachinello *et al.*, 2011). Brasil se destaca por ser un importante productor de frutas de origen tropical y templado, cultivadas y nativas en sus diversos ecosistemas (MAPA, 2015).

La piña [*Ananas comosus* (L.) Merrill] es una de las frutas más tradicionales y consumidas en el mundo. Por sus cualidades y su aspecto imponente es apodado de "rey de las frutas". Originaria de Brasil, la piña tiene

una variabilidad genética demostrada en más de 700 entradas presentes en el banco activo de germoplasma en la Unidad Descentralizada de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), subdivisión "EMBRAPA Mandioca y Fruticultura Tropical", en la ciudad de Cruz das Almas, en Bahía (Oliveira, 2017).

Brasil es el segundo país productor de piña, con una producción mundial del 15%, equivalente a 1.470,3 mil toneladas y un área de plantación de 60,016 ha para el año 2010 (IBGE, 2016). Actualmente Filipinas es el mayor productor de piña y Costa Rica es el tercero (FAO, 2018).

Entre las principales variedades cultivadas la Imperial se destaca de otros genotipos, pues presenta resistencia a la fusariosis, enfermedad causada por el hongo *Fusarium subglutinans*, principal problema fitosanitario de esta planta en el país, generando pérdidas superiores al 80% de la producción. Es un híbrido resultante del cruce de 'Perolera' con 'Smooth Cayenne', obtenida por el programa de mejoramiento genético de piña de la EMBRAPA (2017). Produciendo frutos con pulpa de color amarillo, alto contenido de azúcar y excelente sabor en el análisis sensorial y tienen la ventaja de ausencia de espinas en las hojas (Oliveira, 2017).

La interferencia negativa de malezas en cultivos de piña puede causar pérdidas en la productividad y en la calidad del fruto, siendo necesario adoptar alguna acción de control, que puede representar más de la mitad del costo de producción de la cosecha cuando es adoptado el control mecánico (Sripaoraya *et al.*, 2011).

La competencia con malezas puede agravar el cultivo de piña pues al ser de aspecto menor y presentar un crecimiento vegetativo inicial muy lento, favorece la extracción de agua (especialmente en zonas influenciadas por períodos largos de sequía) y de nutrientes por parte de las malezas. La alta densidad (40 plantas/m²) de coquito (*Cyperus rotundus*) y pasto herbáceo (*Digitaria horizontalis*) disminuye significativamente los contenidos de N, P, K y Ca en la hoja D de las plantas de piña, hoja reciente entre las hojas adultas y fisiológicamente más activa a los 30 d de competencia (Maia *et al.*, 2012). La reducción de estos y otros nutrientes, interfieren en la productividad y la calidad de los frutos. Además, la morfología de la parte aérea del cultivo no permite el buen cierre del dosel facilitando la entrada de luz entre las hojas lo que permite el desarrollo de malezas, incluso en plantaciones densas (Cotunda *et al.*, 2006).

El control químico con aplicación de herbicidas es una estrategia recomendada en el cultivo de piña, permitiendo un control efectivo, menor necesidad de mano de obra y reducción de costos de hasta un 80% si comparado al uso del control mecánico (Model *et al.*, 2010). Los herbicidas más usados en cultivo de piña son los aplicados en pre-emergencia de malezas y de actividad residual relativamente larga en el suelo (Rodrigues y Almeida, 2011). Ese efecto es favorable para la piña por ser un cultivo de crecimiento lento y poca cobertura de la superficie del suelo (Maia *et al.*, 2012). En algunos casos entretanto es común los flujos de emergencia de las malezas durante el período de crecimiento de la piña (Silva y Silva, 2013), situación que requiere aplicación de herbicidas en post-emergencia. Sin embargo, el número de herbicidas registrados para este modo de aplicación en cultivos de piña es menor y pueden causar daños al fruto en caso de herbicidas no selectivos, cuando las condiciones ambientales son desfavorables y/o cuando la tecnología de aplicación es inadecuada (Model *et al.*, 2010).

Entre los herbicidas se pueden mencionar los que interfieren con la biosíntesis de la clorofila, resultando en la pérdida del pigmento, y en los cloroplastos alterándolos funcionalmente. Estos compuestos, además de interferir con la síntesis de clorofila, también pueden afectar la formación de otros pigmentos, como las

xantofilas y carotenoides, causando interferencia en el flujo de electrones y reducción en la producción de ATP por la inhibición de la actividad de la ATP-sintasa en el proceso de fotofosforilación (Silva y Silva, 2013).

Cuando hay un exceso de energía, puede disiparse en forma de fluorescencia (Taiz y Zeiger, 2017); por lo tanto, una forma de monitorear la inhibición o reducción en la transferencia de electrones entre los fotosistemas de la planta bajo tensión, que se puede observar aún en hojas intactas, es la fluorescencia de la clorofila en la que la reducción en la disipación de energía por el proceso fotoquímico es reflejada por el aumento correspondiente en la fluorescencia. El diuron y ametryn son inhibidores de la transferencia de electrones en el fotosistema II (PS II) que impediría la reducción de la quinona-A (Qa), al competir con la quinona-B (Qb) por sitios de enlaces con la proteína D, lo que provoca la salida de Qb y consecuentemente interrupción en el flujo de electrones, sin permitir la reducción del NADPH, que es esencial para la fijación de CO₂ (Taiz y Zeiger, 2017). En consecuencia, hay reducción en la generación de energía y en las tasas fotosintéticas, resultando en aumento de la emisión de fluorescencia, además de causar la muerte de los tejidos verdes afectados por el producto.

Diferentes estudios han sido realizados utilizando la fluorescencia de la clorofila, para evaluar el efecto de herbicidas en la selectividad de plantas, como Catunda *et al.* (2005) en plantas de piña, Ferreira *et al.* (2015a) en plantas de mandioca y Ferreira *et al.* (2015b) en plantas de soja transgénica.

El control de malezas en cultivos de piña es una práctica indispensable, siendo cada vez más utilizado el control químico, que permite un control eficiente y no daña a las raíces del cultivo. Sin embargo, hay pocos estudios sobre la interferencia de herbicidas en el crecimiento del cultivo de interés.

Dado lo anterior, el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de herbicidas de post-emergencia en parámetros relacionado a la fluorescencia de la clorofila *a* en plantas de piña (*Ananas comusus*), variedad Imperial, así como, evidenciar la intoxicación causada por estos productos en el cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Un ensayo de campo fue realizado en la Hacienda Experimental Río Manso, situada en Couto de

Magalhães de Minas, Minas Gerais-BR (a 18°07' S y 43°47' W; 726 m de altitud), la región presenta un índice pluviométrico anual medio de 1.269 mm, temperatura anual media de 19,4°C donde plántulas de piña de la variedad Imperial fueron trasplantadas a campo, en el cual previamente fue recolectada muestras de suelos para análisis físico-químicas.

La clasificación del suelo utilizado corresponde a un Latosol Rojo Amarillo eutrófico profundo, de textura media con 45% de arena, 35% de arcilla, 20% de limo, densidad aparente de 1,63 g cm⁻³. De acuerdo con el análisis químico el suelo presenta un pH de 5,77 y los valores de P y K (mg dm⁻³) de 5 y 84,31, respectivamente; Ca, Mg y Al⁺³ (cmol dm⁻³) de 1,64; 1,14 y 0,08, respectivamente; V%= 53, MO= 0,38 dag kg⁻¹.

Se plantaron en hoyos de 20×20×20 cm y una distancia entre las hileras dobles de 120 y 40 cm entre plantas colocadas alternativamente. Después de 30 d de adaptación de las plántulas, se aplicaron herbicidas de acuerdo a dosis comerciales como se describe en la tabla 1, esta aplicación fue realizada en el área total.

El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones, con el esquema factorial 5×2, cuatro herbicidas (ametryn, diuron, sulfentrazone y fluazifop) más un control (sin herbicida) y dos evaluaciones (7 y 21 d después de la aplicación del herbicida). Los datos se sometieron a análisis de varianza y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Evaluaciones visuales de intoxicación se llevaron a cabo a los 7 y 21 d después de la aplicación de los tratamientos (dat), en las plantas de piña adoptándose escala de porcentual, donde 0 significa que no hay síntomas, y 100% de muerte de la planta.

El monitoreo de la fluorescencia de la clorofila y la tasa de transporte de electrones (ETR) también se realizaron a los 7 y 21 dat en un tercio de la hoja D

de las plantas de piña, utilizando el fluorómetro portátil de luz modulada MINI PAM®. Las medidas de la fluorescencia de la clorofila fueron hechas después de 30 min de adaptación a la oscuridad, siendo realizadas las evaluaciones en el periodo nocturno, con emisión de pulsos de luz de 0,3 s, bajo frecuencia de 0,6 KHz. Las siguientes variables fueron evaluadas: 1) fluorescencia inicial (F₀ - electrones quantum⁻¹); 2) fluorescencia máxima (F_m - electrones quantum⁻¹); 3) relación fluorescencia variable y máxima (F_v/F_m) y 4) tasa de transporte de electrones (ETR - electrones μmols m⁻² s⁻¹) (Ferreira *et al.*, 2015a).

Los datos fueron tabulados y sometidos a análisis de varianza y al test de Tukey con una probabilidad del 5% de error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plantas de piña sometidas a la aplicación del herbicida diuron mostraron aumento de la fluorescencia inicial de la clorofila *a* (F₀) de la primera a la segunda época de evaluación, mientras que los otros tratamientos no presentaron diferencias entre las épocas con excepción del fluazifop, que a los 21 dat, las hojas seleccionadas para la lectura presentaron clorosis, evolucionando a necrosis y finalmente a la muerte de los tejidos. Al evaluar el efecto de los herbicidas dentro de cada época de evaluación, se encontró que a los 7 dat, las plantas tratadas mostraron mayor valor medio de F₀ del ametryn diferente a los otros tratamientos. Después de 21 d los mayores valores de F₀ se observaron en las plantas tratadas con ametryn y diuron (Tab. 2).

Valores mayores de F₀ pueden indicar deterioros estructurales directos en los centros de reacción o efecto indirecto de los mismos en el fotosistema II comprometiendo el transporte de energía de excitación de los complejos antena para los centros de reacción (Ferreira *et al.*, 2015a). Según los mismos autores, la F₀ no

Tabla 1. Productos comerciales probados en plantas de piña (variedad Imperial).

Marca comercial (®)	Ingrediente activo (i.a.)	Concentración (% de i.a.)	Dosis aplicada ¹
Ametrex WG	Ametryn	800 g kg ⁻¹	3,0 kg ha ⁻¹
Diuron Nortox	Diuron	800 g kg ⁻¹	3,0 L ha ⁻¹
Fusilade ²	Fluazifop-p-butyl	250 g L ⁻¹	1,0 L ha ⁻¹
Boral 500	Sulfentrazone	500 g L ⁻¹	1,2 L ha ⁻¹

¹ Dosis recomendada (Agrofit - MAPA, 2015); ²Producto no registrado para cultivo de piña.

Tabla 2. Fluorescencia inicial (F_0) electrones quantum⁻¹) en plantas de la piña sometidas a la aplicación de herbicidas.

Herbicidas	Épocas	
	7 d	21 d
Ametryn	57,30 aA	55,35 aA
Diuron	52,50 bB	58,50 aA
Sulfentrazone	49,10 aB	49,90 aB
Fluazifop	52,25 aB	00,00 bC
Control	49,80 aB	46,50 aB
CV (%)	16,11	

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

siempre es una constante, su valor puede aumentar si los centros de reacción de PSII están comprometidos, o si la transferencia de la energía de excitación de la antena para los centros de reacción este perjudicada. Se destaca que los herbicidas ametryn y diuron afectan directamente el transporte de electrones enlazándose a la proteína D1 e interrumpiendo la fotosíntesis, por lo que la planta tiende a liberar energía de otra manera como fluorescencia y calor (Tropaldi *et al.*, 2015; Silva y Silva, 2013; Taiz y Zeiger, 2017).

En la fase de transporte de electrones durante la fotosíntesis en las plantas, la luz es absorbida por complejos de pigmentos de antena, que al excitar los electrones transfieren energía a los centros de reacción de los fotosistemas II y I (Taiz y Zeiger, 2017). Cuando hay un exceso de energía, esta puede ser disipada en forma de fluorescencia. Por lo tanto, una forma de monitoreo de la inhibición o reducción en la transferencia de electrones entre los fotosistemas de las plantas bajo la aplicación de herbicidas es la fluorescencia de la clorofila (Taiz y Ziger, 2017), que puede ser observada aun en hojas intactas (Ferreira *et al.*, 2015a; Paula *et al.*, 2015; Taiz y Zeiger, 2017), en que la reducción en la disipación de la energía por el proceso fotoquímico es reflejada por un aumento correspondiente en la fluorescencia.

Al evaluar la fluorescencia máxima de la clorofila *a* (F_m) en plantas de piña, se verificó que el herbicida sulfentrazone mostró mayor valor medio de esa variable a los 7 dat diferenciándose de la segunda época de evaluación (a los 21 dat) para los otros tratamientos no hubo diferencias entre las épocas de evaluación. Al evaluar el efecto de los herbicidas dentro de cada época, se observó que el ametryn promovió el menor

valor de F_m en relación a los demás tratamientos a los 7 dat, a los 21 dat se verificó valores mayores de F_m en las plantas de piña tratadas con ametryn y diuron. De otro lado el fluazifop inhibió toda la actividad en las hojas (Tab. 3).

Tabla 3. Fluorescencia máxima (F_m - electrones quantum⁻¹) en plantas de piña sometidas a la aplicación de herbicidas.

Herbicidas	Épocas	
	7 d	21 d
Ametryn	185,00 aB	181,67 aA
Diuron	223,45 aA	194,20 aA
Sulfentrazone	213,35 aA	163,50 bB
Fluazifop	226,00 aA	00,00 bC
Control	226,80 aA	224,80 aA
CV (%)	17,1	

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

La relación de fluorescencia variable y máxima (F_v/F_m) varió en las épocas de aplicación de los herbicidas utilizados, excepto la del control. A los 7 dat sólo las parcelas tratadas con ametryn mostraron reducción en los valores de F_v/F_m por debajo del 0,75. Las plantas tratadas con herbicidas mostraron reducción en los valores F_v/F_m a los 21 dat, sin embargo, esos valores observados se encuentran fuera del intervalo ideal para todos los productos probados, lo que indica que la planta de piña estaba sobre el estrés (Tab. 4).

Es importante destacar que este intervalo ideal corresponde los valores ingresados entre 0,75 (límite inferior) y 0,85 (máximo). El rendimiento cuántico máximo de PS II (F_v/F_m) puede variar de 0,75 a 0,85 en plantas no sometidas a estrés (Corrêa y Alves, 2010), siendo la reducción de esta relación un excelente indicador del efecto fotoinhibidor cuando las plantas se someten a estrés químico (Jiménez-Suanca *et al.*, 2015).

Las plantas de piña tratadas con los herbicidas diuron y sulfentrazone mostraron reducción de F_v/F_m entre la primera y la segunda evaluación, se resalta que la F_v/F_m en la primera época estaba dentro del límite ideal (0,75 a 0,85), ya para la segunda época de evaluación los valores de F_v/F_m estaban por fuera del límite ideal (Tab. 4). Otra forma de interpretar está relacionada a valores estándar de una planta sin deterioro al aparato fotosintético, que están alrededor de 0,80 F_v/F_m ,

y cuando las plantas exhiben un valor por debajo de este se considera que la maquinaria fotosintética fue perjudicada (Chaves, 2015). No hubo evaluación en las parcelas del herbicida fluazifop, pues a los 21 d, las hojas estaban muertas.

Al evaluar el efecto de los tratamientos con herbicidas dentro de cada época, se verificó que en la primera época el herbicida ametrym afectó negativamente a F_v/F_m diferenciándose de los otros herbicidas y el control, sin embargo, a los 21 d se observó que estos afectaron negativamente a F_v/F_m , donde los valores observados estaban fuera del límite ideal de F_v/F_m , indicando estrés en el aparato fotosintético causado por todos los productos ensayados (Tab. 4).

Tabla 4. Relación fluorescencia variable y máxima (F_v/F_m) en plantas de piña sometidas a la aplicación de herbicidas.

Herbicidas	Épocas	
	7 días	21 días
Ametryn	0,655 bB	0,722 aAB
Diuron	0,765 aA	0,690 bB
Sulfentrazone	0,755 aA	0,672 bB
Fluazifop	0,760 aA	0,00 bC
Control	0,772 aA	0,757 aA
CV (%)	4,65	

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

Tanto en la presencia del herbicida ametrym como del diuron, el sistema de protección fotosintético dado por los carotenoides, es rebasado por un exceso de clorofila en el estado de energía triple, debido a que las moléculas del herbicida se enlazan a la proteína D1 del PS II, interrumpiendo el flujo de electrones (Paiva *et al.*, 2015), de esta forma, la clorofila con una carga triple, en presencia de oxígeno conduce a la peroxidación de membranas del cloroplasto, debido a la formación de peróxido de hidrógeno, lo que explica la aparición de clorosis en las hojas, pasando por la necrosis, a medida que el proceso alcanza la pared celular (Silva y Silva, 2013).

El sulfentrazone así como el ametrym y el diuron tienen acción directa sobre el aparato fotosintético (Torres *et al.*, 2012), sin embargo, el sulfentrazone funciona inhibiendo la síntesis de la clorofila, actúa en la enzima PROTOX en la ruta de síntesis de la clorofila promoviendo la producción de radicales libres altamente reactivos en el interior celular (Silva y Silva, 2013; Ferreira *et al.*, 2012).

El fluazifop-P-butyl, tiene como objetivo principal el control de monocotiledóneas (Cesarin *et al.*, 2013; Fontes *et al.*, 2013; Rezende *et al.*, 2012). El herbicida fluazifop-P-butyl actúa inhibiendo la enzima acetil-CoA carboxilasa (ACC), bloqueando la síntesis de lípidos en las plantas susceptibles (Pereira *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2014), de esta forma su acción en el aparato fotosintético es indirecto.

Las plantas de piña sometidas a aplicación de los herbicidas diuron y sulfentrazone mostraron reducción en la tasa de transporte de electrones (ETR) de la primera a la segunda época de evaluación, los otros tratamientos no presentaron diferencias significativas entre las épocas, siendo que no hubo evaluación para el herbicida fluazifop porque las plantas a los 21 d después de la aplicación tenían las hojas inertes. Al evaluar el efecto de los herbicidas dentro de cada época de evaluación, se constató que a los 7 d las plantas tratadas con ametrym mostraron menor valor medio de ETR diferente de los demás tratamientos, con relación a la segunda época de evaluación no hubo diferencias entre los tratamientos (Tab. 5).

Tabla 5. Tasa de transporte de electrones (ETR - $\mu\text{mols electrones m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en plantas de piña sometidas a la aplicación de herbicidas en piña.

Herbicidas	Épocas	
	7 días	21 días
Ametryn	12,51 aB	13,77 aA
Diuron	15,44 aAB	12,22 bA
Sulfentrazone	16,53 aAB	12,55 bA
Fluazifop	16,85 aA	0,00 bB
Control	14,61 aA	13,11 aA
CV (%)	13,10	

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

En el trabajo, llevado a cabo por Dayan *et al.* (2009), fue monitoreado el ETR en plantas de *Digitaria sanguinalis* y *Abutilon theophrasti*, sometidas a la aplicación de atrazine y amicarbazone. La tasa de transporte de electrones para ambas especies fue inhibida completamente ocho horas después de la aplicación de los herbicidas.

Araldi *et al.* (2012), evaluando el efecto del haloxyfop-methyl en la ETR en plantas de *U. decumbens*, verificaron que con la aplicación de herbicidas en *U. decumbens*, las plantas mostraron pleno funcionamiento, con 100% del ETR del control en hasta 24

h después de la aplicación; sin embargo, a partir de 72 h la reducción del ETR fue del 42%, siendo que, en intervalo de 120-312 h, el ETR se mantuvo en el rango de 50% de reducción. A las 318 h después de la aplicación la reducción del ETR pasó a 65%, y con 432 h las plantas mostraron una completa inhibición del transporte de electrones.

La piña es una planta que pertenece al grupo de *metabolismo ácido de las crasuláceas* CAM (Aragón *et al.*, 2012; Weise *et al.*, 2011). Además, existe una divergencia en el metabolismo de esta planta, clasificándola en una planta CAM facultativa, cuando las plantas se encuentran en ambientes de menor radiación y baja temperatura; con buena disponibilidad hídrica ellas se comportarían como C3, y cuando expuestas a luminosidad excesiva, déficit hídrico, o altas temperaturas que tornan la absorción diurna del CO₂ menos favorable, esas plantas pasan a presentar el comportamiento CAM (Luttge, 2004; Taybi *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

Los herbicidas evaluados afectan negativamente el aparato fotosintético de las plantas de piña, alterando la fluorescencia inicial, fluorescencia máxima, relación de fluorescencia variable y máxima, fluorescencia total y tasa de transporte de electrones, siendo que el ametrym y el diuron son los más perjudiciales. Con el tiempo los efectos en el aparato fotosintético de las plantas son intensificados, donde los productos ensayados reducen los valores de la relación de fluorescencia variable y máxima, indicando aumento del estrés causado por los herbicidas evaluados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a las agencias brasileñas: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico y Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) y Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), por las becas de estudio y ayudas concedidas.

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

- Aragón, C., L. Carvalho, J. González, M. Escalona, M. y S. Amancio. 2012. The physiology of ex vitro pineapple (*Ananas comosus* L. Merrill var MD-2) as CAM or C3 is regulated by environmental conditions. *Plant Cell Rep.* 31(4), 757-769. Doi: 1007/s00299-011-1195-7
- Araldi, R., M. Giroto, E.D. Velini, G.L.G.C. Gomes, S.P. Jasper, C.A. Carbonari y M.L.B. Trindade. 2012. Eficiência fotossintética e consumo de água de *Ipomoea triloba* após aplicação de herbicidas. *Planta Daninha* 30(3), 517-524. Doi: 10.1590/S0100-83582012000300007
- Bahiense, D.V., P.M. Souza y N.J. Ponciano. 2015. Incentivos à produção de frutas e as mudanças na agricultura da região norte do estado do Rio de Janeiro. *Rev. Bras. Frutic.* 37(2), 387-395. Doi: 10.1590/0100-2945-096/14
- Catunda, M.G., S.P. Freitas, J.G. Oliveira y C.M.M. Silva. 2005. Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comosus*). *Planta Daninha* 23(1), 115-121. Doi: 10.1590/S1413-70542010000500009
- Cesarin, A.E., J.F. Martins, P.R.F. Giancotti, M.P. Nepumuceno y P.L.C.A. Alves. 2013. Eficácia de herbicidas no controle pós-emergente de *Sisyrinchium micranthum* Cav. e *Agrostis* sp. *Rev. Bras. Herb.* 12(3), 296-306. Doi: 10.7824/rbh.v12i3.216
- Chaves, V.V. 2015. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila "a" em genótipos de cana-de-açúcar infestados por cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa
- Corrêa, M.J.P. y P.L.C.A. Alves. 2010. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. *Ciênc. Agrotec.* 34(5), 1136-1145. Doi: 10.1590/S1413-70542010000500009
- Costa, A.C., J.D. Ramos, T.P. Menezes, R.R. Laredo y M.H. Duarte. 2017. Quality of pitaya fruits submitted to field bagging. *Rev. Bras. Frutic.* 39(Spe.), 1-5. Doi: 10.1590/0100-29452017377
- Dayan, F.E., M.L.B. Trindade y E.D. Velini. 2009. Amicarbazone, a new photosystem II inhibitor. *Weed Science* 57(6), 579-583. Doi: 10.1614/WS-09-099.1
- EMBRAPA. 2017. Adubação para alta produtividade e qualidade: Fruteiras tropicais do Brasil. *Boletim Embrapa*. Doi: 10.3235/978-3-9523243-1-8
- Fachinello, J.C., M.S. Pasa, J.D. Schmitz y D.L. Betemps. 2011. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. *Rev. Bras. Frutic. (Esp.)*, 109-120. Doi: 10.1590/S0100-29452011000500014.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. FAOSTAT Countries by commodity. Pineapples. FAO, Roma.
- Ferreira, E.A., C.C. Matos, E.A. Barbosa, D.V. Silva, J.B. Santos, G.A.M. Pereira, A.T. Faria y C.T. Silva. 2015a. Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. *Semina Ciênc. Agrár.* 36(2), 645-656. Doi: 10.5433/1679-0359.2015v36n2p645.
- Ferreira, E.A., C.C. Matos, E.A. Barbosa, C.A.D. Melo, D.V. Silva y J.B. Santos. 2015b. Aspectos fisiológicos de soja transgênica submetida à competição com plantas daninhas. *Rev. Ciênc. Agrár.* 58(2), 115-121. Doi: 10.4322/rca.1745.
- Ferreira, E.A., A.F. Silva, A.A. Silva, D.V. Silva, L.L. Galon y J.B. Santos. 2012. Toxicidade de herbicidas a genótipos de cana-de-açúcar. *Rev. Tróp. Ciênc. Agrár. Biol.* 6(1), 84-92.
- Fontes, J.R., M.V. Garcia, y R.N. Rocha. 2013. Seletividade de Herbicidas para o abacaxizeiro. En: *Anais do V Simpósio brasileiro da cultura do abacaxi*. Secretaria da Agricultura e Pecuária do Estado de Tocantins. Palmas-TO, Brasil.
- Fontes, J.R.A., I.J. Oliveira y J.R.P. Gonçalves. 2013. Seletividade e eficácia de herbicidas para cultura do feijão-caupi. *Rev. Bras. Herb.* 12(1), 47-55. Doi: 10.7824/rbh.v12i1.214.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. LSPA. En: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/2016/lspa_201612_20170222_133000.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2016/lspa_201612_20170222_133000.pdf); consultado: junio de 2017.
- Jiménez-Suanca, S.C., S.O.H. Alvarado y H.H. Balaguera-López. 2015. Fluorescencia como indicador de estrés en *Helianthus annuus* L. Una revisión. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 9(1), 149-160. Doi: 10.17584/rcch.2015v9i1.3753.
- Luttge, U. 2004. Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). *Ann. Bot.* 93(6), 629-652. Doi: 10.1093/aob/mch087.
- Maia, L.C.B., V.M. Maia, M.H.M. Lima, I. Aspiazú y R.F. Pegoraro. 2012. Growth, production and quality of pineapple in response to herbicide use. *Rev. Bras. Frutic.* 34(3), 799-805. Doi: 10.1590/S0100-29452012000300020.
- MAPA. 2015. Produção integrada no Brasil: agropecuária sustentável alimentos seguros. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretária de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: Mapa/ACS. En: <http://www.agricultura.gov.br>; consultado: junio de 2017.
- Model, N.S., R. Favreto y A.E.C. Rodrigues. 2010. Efeitos de tratamentos de controle de plantas daninhas sobre produtividade, sanidade e qualidade do abacaxi. *Pesq. Agropecu. Gaúcha* 16(1), 51-58.
- Moura, G.C.M., M. Vizzotto, L. Picoletto y L.E.C. Antunes. 2017. Production, physical-chemical quality and bioactive compounds of misty blueberry fruit under different pruning intensities. *Rev. Bras. Frutic.* 39(Spe), 1-6. Doi: 10.1590/0100-29452016158.
- Oliveira, C.H. 2015. Ação de herbicidas sobre o abacaxizeiro micropropagado e micorrizado. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina-MG, Brasil.
- Paiva, M.C.G., L.H. Barcellos Jr., G.A.M. Pereira, V.A. Gonçalves, R.S. Felipe, M.S. Machado y A.A. Silva. 2015. Fitotoxicidade de herbicidas aplicados em pós transplantio de mudas de maracujá amarelo. *Rev. Bras. Frutic.* 14(4), 280-287. Doi: 10.7824/rbh.v14i4.446.
- Paula, S.M., E.R. Naves, I.M. Franco, K.J.M. Padua, K.R. Silva, W.P. Fernandes, D.C. Oliveira, J.P. Lemos-Filho y A.S.F.P. Moreira. 2015. Desempenho fotossintético de folhas jovens e maduras de *Vochysia cinnamomea* (Vochysiaceae) em áreas de cerrado rupestre intactas e pós-queimada. *Biosci. J.* 31(2), 591-600. Doi: 10.14393/BJ-v31n2a2015-23474.
- Pereira, G.A.M., L.H. Barcellos Jr., D.V. Silva, R.R. Braga, A.A. Silva, M.M. Teixeira y J.L. Ribeiro Jr. 2015. Application height in herbicides efficiency in bean crops. *Planta Daninha* 33(3), 607-614. Doi: 10.1590/S0100-83582015000300023.
- Rezende, B.P.M., C.J. Tavares, R.E. Marangoni, P.C.R. Cunha y A. Jakelaitis. 2012. Efeito do fomesafen + fluzifop-p-butil associados com inseticidas no controle das plantas daninhas na cultura da soja. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár.* 7(4), 608-613. Doi: 10.5039/agraria.v7i4a1842.
- Rodrigues, B.N. y F.S. Almeida. 2011. Guia de herbicidas. 6ª ed. Edição dos autores, Londrina-PR, Brasil.
- Silva, A.A., J.F. Silva. 2013. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil.
- Silva, D.V., H.M. Silveira, E.A. Ferreira, F.P. Carvalho, M.D. Castro Neto, A.A. Silva y T. Sedyama. 2014. Aspectos fisiológicos da mandioca após a aplicação dos herbicidas fluzifop-p-butil e fomesafen. *Rev. Ceres* 61(2), 178-183. Doi: 10.1590/S0034-737X2014000200004.
- Sripaoraya, S., M.R. Davey y P. Srinives. 2011. F1 hybrid resistant pineapple to bialaphos herbicide. *Acta Hort.* 902(1), 201-207. Doi: 10.17660/Acta Hort.2011.902.20.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2017. Fisiologia vegetal. Artmed, Porto Alegre-RS, Brasil.
- Taybi, T., J.C. Cushman y A.M. Borland. 2002. Environmental, hormonal and circadian regulation of crassulacean acid metabolism expression. *Functional Plant Biol.* 29(6), 669-678. Doi: 10.1071/PP01244.

- Torres, L.G., E.A. Ferreira, P.R.R. Rocha, A.T. Faria, V.A. Gonçalves, L. Galon, A.F. Silva y A.A. Silva. 2012. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. *Planta Daninha* 30(3), 581-587. Doi: 10.1590/S0100-83582012000300014.
- Tropaldi, L., E.D. Velini, C.A. Carbonari, R. Araldi, N. Corniani, M. Girotto y I.P.F. Silva. 2015. Detecção da tolerância de diferentes espécies de capim-colchão a herbicidas inibidores do fotossistema II utilizando a técnica da fluorescência. *Ciênc. Rural* 45(5), 767-773. Doi: 10.1590/0103-8478cr20140506.
- Weise, S.E., K.J.V. Wijk y T.D. Sharkey. 2011. The role of transitory starch in C3, CAM, and C4 metabolism and opportunities for engineering leaf starch accumulation. *J. Exp. Bot.* 62(9), p 3109-3118. Doi: 10.1093/jxb/err035.

Efecto de la fertilización mineral y de un fertilizante biológico en piña [*Ananas comosus* (L.) Merr.] en el cultivar MD2 ('Golden')

Effect of mineral fertilization and organic fertilization on pineapple [*Ananas comosus* (L.) Merr.] cultivar MD2 ('Golden')



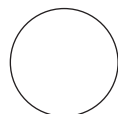
CARLOS MARCA-HUAMANCHA¹
RICARDO BORJAS-VENTURA^{1, 3}
DIANA REBAZA-FERNÁNDEZ²
SEGUNDO BELLO-AMEZ¹
ALBERTO JULCA-OTINIANO¹

Campo de 'Cayena lisa' en la Libertad, Perú.

Foto: A. Julca-Otiniano

RESUMEN

En el cultivo de piña en el Perú existe carencia de estudios sobre la fertilización, con fuentes orgánicas e inorgánicas. Por tal motivo, se llevó a cabo este experimento cuyos objetivos fueron determinar la influencia del abono orgánico Alopes Forte, con y sin una fertilización mineral, sobre el crecimiento vegetativo, la productividad, la calidad del fruto y aspectos económicos en la producción de este cultivo. El material vegetal usado fue la piña cultivar 'Golden', la cual fue sometida a los siguientes tratamientos: T1: Testigo; T2: Alopes Forte (25 ‰); T3: Alopes Forte (50 ‰); T4: Alopes Forte (20 ‰) + N150-P75-K200-Mg25-Ca25; T5: Alopes Forte (20 ‰) + N250-P125-K300-Mg50-Ca50; T6: N300-P150-K400-Mg50-Ca50 y T7: N500-P250-K600-Mg100-Ca100. Los resultados muestran que no hubo diferencias entre los tratamientos para el número de hojas, sin embargo en la longitud, peso fresco y seco de la hoja D, se destaca el tratamiento T7, mientras que en tenor nitrógeno (hoja D) fueron los tratamientos T4, T5, T6 y T7 los que mostraron mejor resultado. Tanto en las variables de calidad del fruto (diámetro inferior, medio, superior, diámetro del eje central del fruto, número de frutillos por fruto, longitud del fruto, peso fresco del fruto con corona y sin corona, y tenor de sólidos solubles) como en el ingreso y rentabilidad en la producción de piña se destacó el tratamiento T7. Estos resultados demuestran que el abono orgánico usado no tuvo influencia sobre las variables evaluadas, además, que el uso de fertilizantes sintéticos afectó positivamente a las variables en estudio.



Palabras clave adicionales: costos, producción, rentabilidad, calidad del fruto, hoja D.

¹ Facultad Agronomía, Departamento Fitotecnia, Grupo Investigación Agricultura y Desarrollo Sustentable en el Trópico Peruano, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). ORCID Marca-Huamancha, C.: 0000-0002-1718-6804; ORCID Borjas-Ventura, R.: 0000-0001-7819-1810; ORCID Bello-Amez, S.: 0000-0002-2405-7138; ORCID Julca-Otiniano, A.: 0000-0002-2405-7138

² Facultad de Economía y Planificación, Departamento de Estadística e Informática, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). ORCID Rebaza-Fernández, D.: 0000-0002-6105-5588

³ Autor para correspondencia. rborjas@lamolina.edu.pe

ABSTRACT

In Peruvian pineapple cultivation, there is a lack of fertilizer studies with organic and inorganic sources. For that reason, a study was done in order to determine the influence of Alopes Forte organic fertilizer, with and without mineral fertilization, on some aspects of pineapple cultivation, such as vegetative growth, productivity, fruit quality and economic variables. The pineapple cultivar 'Golden' was used, which was subjected to the following treatments: T1: Control; T2: Alopes Forte (25 ‰); T3: Alopes Forte (50 ‰); T4: Alopes Forte (20 ‰) + N150-P75-K200-Mg25-Ca25; T5: Alopes Forte (20 ‰) + N250-P125-K300-Mg50-Ca50; T6: N300-P150-K400-Mg50-Ca50 and T7: N500-P250-K600-Mg100-Ca100. The results showed that there were no differences between the treatments for the number of leaves; however, treatment T7 had higher values for leaf D length and weight (fresh and dry), while treatments T4, T5, T6 and T7 presented the better result for nitrogen (leaf D). Fruit quality variables (lower, middle and upper diameter, central axis fruit diameter, number of berries per fruit, pineapple length, fruit fresh weight (with and without crown) and content of soluble solids, as well as the pineapple production income and profitability, showed the highest values in T7. These results indicate that the organic fertilizer did not influence on the evaluated variables; on the contrary, the use of synthetic fertilizers had a positive effect.

Additional key words: costs, production, profitability, fruit quality, D leaf.

Fecha de recepción: 06-11-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

La piña [*Ananas comosus* (L.) Merr.] es originaria de América tropical y tiene importancia económica en diversos países del mundo. Es consumida como fruta fresca, en jugos, conservas y otros derivados. Según el Ministerio de Agricultura y Riego (2016) el Perú tuvo una producción de 130 mil TM en 15.182 ha. A pesar de la poca área de producción, la piña es una especie muy importante en la economía peruana, principalmente para los pequeños agricultores, ya que es cultivada en regiones con poco desarrollo industrial, tornándose en una fuente de trabajo importante.

El manejo de la fertilización es uno de los factores de mayor relevancia en el cultivo de piña. Una fertilización equilibrada asegura una buena producción, y consecuentemente una alta rentabilidad para los agricultores que dependen de este cultivo. A pesar de estos beneficios, en Perú, hay pocos trabajos que fueron realizados sobre dicho tema (Bello *et al.*, 2015). Por otro lado, el desconocimiento de las dosis ideales de fertilización, en función del tipo de suelo donde es plantada esta especie, puede acarrear grandes perjuicios para los productores, pues el exceso o falta de nutrientes, puede causar una baja en la productividad, aumentar los costos de producción, bajar la calidad de los frutos y contaminar los suelos y aguas. Estos

perjuicios no solo pueden afectar la economía del pequeño agricultor sino también al propio agroecosistema (Almaguer, 2013).

Una de las formas de disminuir los posibles perjuicios económicos y ambientales, causados por la mala utilización de fertilizantes sintéticos, es el empleo de forma simultánea de fuentes sintéticas y orgánicas, de forma que se tenga un menor uso de las primeras. Diversos trabajos verificaron las ventajas de la utilización de fertilizantes orgánicos sobre el desarrollo de diferentes especies (Aseri *et al.*, 2008; Mujica *et al.*, 2014). Así también, el uso conjunto de abonos orgánicos y sintéticos, viene siendo usados cada vez más en otros cultivos de importancia económica como el banano (Ramos *et al.*, 2016) y la papa (Luna *et al.*, 2016).

Actualmente, en el Perú, existen diversos fertilizantes orgánicos que precisan ser probados bajo diferentes condiciones agroecológicas, para determinar el efecto de ellos sobre el crecimiento y desarrollo de plantas. Entre estos fertilizantes, presentes en el mercado peruano, se destaca Alopes Forte (de la empresa Noga-Fer Perú), el cual es producido por la fermentación de subproductos de la industria hidrobiológica y que además presenta certificación para uso en la agricultura orgánica.

En este contexto de incertidumbre, el trabajo tiene como objetivo general evaluar las respuesta de *Ananas comosus*, cultivar MD2 ('Golden'), a la fertilización orgánica, mineral y a la aplicación conjunta de estas formas de fertilización. Asimismo, los objetivos específicos fueron la evaluación del efecto de las fuentes de abono sobre variables vegetativas, productivas y económicas en la producción de piña.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado desde noviembre del 2011 hasta marzo del 2013, en el fundo Santa Teresa, localizado en el municipio de Río Negro, Satipo Junín (Perú), cuyas coordenadas geográficas son 11°02'00" S y 74°02'00" W, con una altitud de 850 msnm. El ensayo tuvo una duración de 16 meses donde se evaluó

un ciclo de producción. En la figura 1 se encuentran los datos mensuales de temperatura y precipitación pluvial durante el período experimental.

Antes de la instalación del experimento, se realizó el análisis de los primeros 30 cm de suelo, obteniéndose: pH de 5,32 (determinado en agua, en relación suelo-agua 1:1), un tenor de materia orgánica de 3,14%, 6,90 mg kg⁻¹ de P disponible, 183 mg kg⁻¹ de K disponible, 9,28 cmol₍₊₎ kg⁻¹ de CIC y un porcentaje de saturación de bases de 75,65%. Respecto al calcio y al magnesio, el suelo tuvo 5,82 y 0,33 cmol₍₊₎ kg⁻¹ de estos nutrientes respectivamente (Soil Science Society of America, 1982). El análisis físico mostró que el suelo del experimento se encuentra dentro de la clase textural franco-arenoso.

Se usó material vegetal del cultivar MD2 ('Golden'), obtenido de la cosecha de piña anterior en el fundo

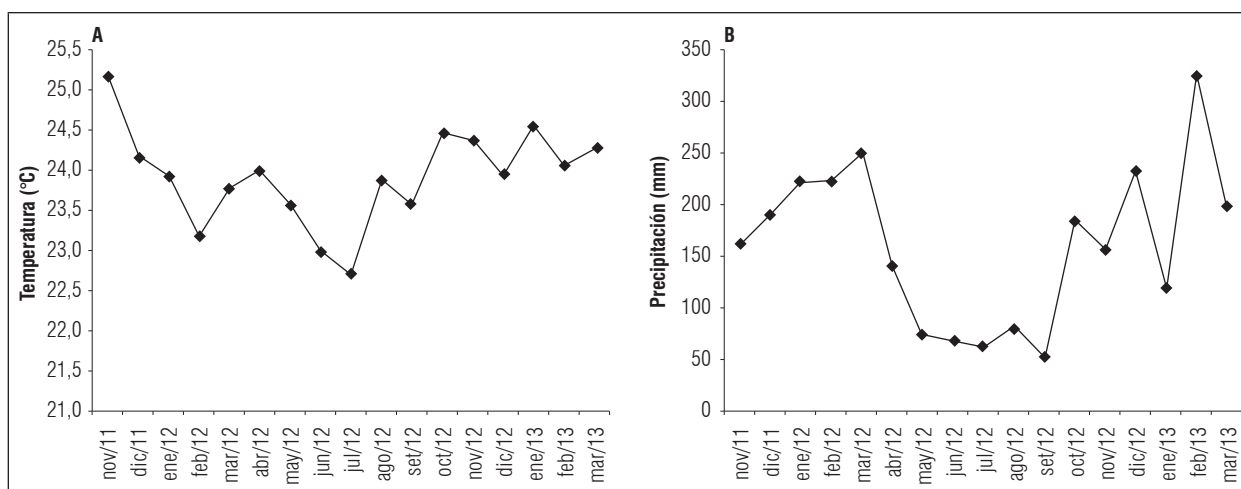


Figura 1. Temperatura (A) y precipitación (B) durante el ensayo de piña. Datos de la estación meteorológica del fundo Santa Teresa.

Tabla 1. Tratamientos de los fertilizantes sintéticos y orgánico aplicados durante el ensayo de piña.

Tratamientos	Fertilizante orgánico	Fertilizante sintético (kg ha ⁻¹)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
T1	0	0	0	0	0	0
T2	Alopes Forte (25‰)	0	0	0	0	0
T3	Alopes Forte (50‰)	0	0	0	0	0
T4	Alopes Forte (20‰)	150	75	200	25	25
T5	Alopes Forte (20‰)	250	125	300	50	50
T6	0	300	150	400	50	50
T7	0	500	250	600	100	100

Santa Teresa. El material vegetal consistió en hijuelos de plantas con un promedio de 250 g. Antes de ser plantado, todo el material de propagación fue sometido a tratamientos fitosanitarios (fosetil aluminio) a fin de evitar la entrada de patógenos.

La preparación del suelo fue de tipo convencional, siendo incorporado los residuos vegetales de la cosecha anterior (tanto malezas como los restos de piña). Después de la preparación del suelo, se inició la siembra (noviembre 2011) del material vegetal. Para aumentar la densidad de plantas se usó la siembra en doble hilera con un distanciamiento entre líneas de 0,3 m y entre plantas de 0,4 m, con un ancho de cama de 1,4 m. Cada hilera tuvo nueve plantas, dando una densidad total de 48.000 plantas/ha.

El control de plagas y enfermedades (*Phytophthora* spp. y *Dysmicoccus brevipes*, además de *Thecla basilides*) fue realizado con Mancozeb + Metalaxil y Clorpyrifos, en este caso la aplicación de estos plaguicidas fue realizado en todos los tratamientos de forma homogénea. El control de malezas fue realizado manualmente.

La inducción floral (IF) se realizó 10 meses después de la siembra (agosto 2012), tiempo que coincidió con la llegada de las lluvias. Para la IF se usó Etefon (48%) a una dosis de 0,15%. A los 100 d de la IF, los frutos fueron cubiertos con bolsas plásticas para el control de *Melanoloma viatrix*. En marzo del 2013 se realizó la cosecha de frutos (16 meses después de la siembra).

El diseño usado en el experimento fue el de bloques al azar con siete tratamientos (Tab. 1) y cuatro repeticiones. Por tanto, se tuvo 28 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo formada por 54 plantas. La toma de muestra fue hecha en las plantas centrales de cada unidad experimental.

El nitrógeno (N), magnesio (Mg), calcio (Ca) y potasio (K) fueron divididos en cuatro partes iguales, mientras que el fósforo (P) en su totalidad fue aplicado durante la siembra. Las fuentes utilizadas fueron fosfato diamónico (18% de N y 46% de P_2O_5), urea (46% de N), cloruro de potasio (60% de K_2O), sulfato de magnesio y potasio (22% de K_2O y 18% de MgO) y nitrato de calcio (15% de N y 26% de CaO). En los tratamientos con Alopes Forte (Tab. 2) se usó las siguientes dosis: 20‰, 25‰ y 50‰. La dosis de 2‰ fue aplicado solo una vez en fondo de surco 1 d antes de la siembra y con adición de abono sintético. Las dosis de 25 y 50‰ fueron aplicados sin adición de

fertilizantes minerales en cinco partes iguales de 5 y 10‰, respectivamente, a los 0, 45, 90, 135 y 180 días después de la siembra (dds) y antes de la inducción floral (descrito anteriormente).

Tabla 2. Característica química de Alopes-Forte¹.

Característica	Concentración	Características	Concentración
pH	4,0	Magnesio	384,00 mg L ⁻¹
Materia orgánica	311,00 g L ⁻¹	Hierro	32,40 mg L ⁻¹
Nitrógeno	22,50 g L ⁻¹	Cobre	0,80 mg L ⁻¹
Fósforo	2,10 g L ⁻¹	Zinc	3,10 mg L ⁻¹
Potasio	3,70 g L ⁻¹	Manganeso	1,20 mg L ⁻¹
Cálcio	1,40 g L ⁻¹	Boro	250,80 mg L ⁻¹

¹ Recomendación de la empresa Noga-Fer, Lima, Perú.

Según los datos proporcionados por el fabricante (Noga-Fer, Lima, Perú), Alopes Forte es un fertilizante orgánico que puede ser usado tanto en la agricultura orgánica como convencional. Entre las principales características del producto se encuentra la capacidad de estimular la actividad microbiana del suelo.

En la fase vegetativa, a los 90, 135 y 180 dds, se evaluó el número de hojas, la longitud, peso fresco, peso seco y concentración de nitrógeno en la hoja D (método Kjeldahl) (Gutián y Carballas, 1976). Se evaluaron estas características de la hoja D, puesto que ella se encuentra fuertemente relacionada con el crecimiento del fruto.

Una vez cosechado el fruto (16 meses después de la siembra), se midió el diámetro inferior, medio y superior, para esto se usó una regla milimetrada y se cortó el fruto en la parte central, superior e inferior, siendo en esos cortes donde se midieron los diámetros. El diámetro del eje central del fruto también fue medido con una regla en la parte central del fruto. Además, fueron evaluados el número de frutillos ("ojos" del fruto), para lo cual se contaron el número de frutillos por piña. También, se cuantificó la longitud de cada fruto (que tuvo como base la parte inferior y llegó hasta la parte superior del mismo), el tenor de sólidos solubles totales (con el uso de un Brixómetro), así como el peso de frutos con y sin corona (Bello *et al.*, 2015).

Se realizó una clasificación de frutos, en cinco calibres diferentes en función del peso, los cuales fueron codificados como C6, C8, C10, C12 y C14 cada uno

correspondiente a 2,5-3,2 kg; 2,1-2,5 kg; 1,7-2,1 kg; 1,4-1,7 kg; 1,2-1,4 kg, respectivamente. Se determinó la productividad, contando y pesando el número de frutos totales en cada tratamiento (llevándolo todo a hectárea). Para determinar el ingreso bruto, se cuantificó el número y el peso de frutos/calibre (5), luego se multiplicó por el precio de cada tipo de piña (calibre) para cada tratamiento. Asimismo, se anotó la utilidad, siendo esta la diferencia entre el ingreso bruto y los costos totales, y finalmente se evaluó la rentabilidad (%), dividiendo la utilidad entre el costo total y multiplicando el resultado por 100. Es importante resaltar que, a pesar que la moneda nacional peruana es el Sol (S/), los valores monetarios, en este ensayo, están presentados en US\$, siendo el tipo de cambio: US\$1=S/ 3,20. Este tipo de cambio se tomó de la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (SUNAT).

Los datos de las variables evaluadas fueron sometidas al análisis de variancia (ANOVA) y las medias fueron comparadas por el test de Tukey ($P \leq 0,05$), asimismo, se empleó el software estadístico AGROSTAT (Barbosa y Junior, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que el número de hojas entre los 90 y 180 dds no

presentó diferencia significativa entre las medias ($P \leq 0,05$). Por otra parte, a los 135 dds se notó mayor número de hojas en los tratamientos T6 y T7. De forma general se notó un aumento de las cantidades de hojas, entre la primera y la última evaluación, de más del 70% (Tab. 3).

Es importante mencionar que solo en la segunda evaluación se encontró diferencia estadística, siendo los mayores valores para los tratamientos con mayor cantidad de abono sintético (T6 y T7), especialmente nitrógeno (N). En este sentido, Omotoso y Akinrinde (2013) reportaron que a mayor cantidad de N, mayor cantidad de hojas en piña se formaron.

Asimismo, estos resultados indicarían que a los 180 dds la planta comienza a prepararse para pasar a la etapa productiva (cabe resaltar que a los 10 meses después de la siembra se inició la inducción floral), siendo innecesario aumentar el número de hojas, teniendo mayor importancia la acumulación de mayores cantidades de nutrientes para que sean trasladados al fruto, lo que podría explicar la ausencia de diferencias en la última evaluación.

La falta de emisión de hojas, antes de pasar a la etapa productiva, es un fenómeno que fue observado por Bello *et al.* (2015) en piña 'Cayena Lisa' en condiciones agroecológicas semejantes. La hoja D tiene importancia práctica en el manejo de la piña, ya que la longitud

Tabla 3. Número de hojas y longitud de hoja D de piña, cultivar MD2 ('Golden'), en tres épocas de evaluación, en función de la aplicación de abono sintético y con el fertilizante biológico.

Tratamientos	Número de hojas			Longitud de hoja D (cm)		
	90 dds	135 dds	180 dds	90 dds	135 dds	180 dds
T1	3,75 a	3,73 c	6,63 a	45,19 d	40,76 c	58,64 d
T2	4,05 a	4,05 bc	6,90 a	49,64 bcd	55,88 bc	63,62 cd
T3	3,98 a	3,83 c	6,78 a	46,85 cd	54,78 bc	62,00 d
T4	4,50 a	4,33 abc	7,50 a	49,89 bcd	57,65 bc	67,23 bc
T5	4,40 a	4,10 bc	7,60 a	54,69 ab	62,43 ab	70,25 b
T6	4,28 a	4,65 ab	7,53 a	52,70 abc	57,80 bc	69,06 b
T7	4,33 a	4,80 a	7,50 a	57,00 a	68,00 a	76,57 a
CV	9,11	6,16	6,90	5,40	7,13	3,30
EE	0,19	0,13	0,25	1,40	2,07	1,10

T1: Testigo; T2: Alopes Forte 25%; T3: Alopes Forte 50%; T4: Alopes Forte 20% + 150N-75P₂O₅-200K₂O-25MgO-25CaO; T5: Alopes Forte 20% + 250N-125P₂O₅-300K₂O-50CaO-50MgO; T6: 300N-150P₂O₅-400K₂O-50MgO-50CaO; T7: 500N-250P₂O₅-600K₂O-100MgO-100CaO. dds: días después de la siembra; CV: coeficiente de variación; EE: error estándar.

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

de ella está fuertemente relacionada con el crecimiento del fruto (Lacoeuilhe, 1987). Así también, esta variable puede mostrar indicios de alguna diferencia en el manejo agronómico y nutricional de este cultivo (Rodríguez *et al.*, 2016; Guarçoni y Ventura, 2011). En este experimento, con el paso del tiempo, se notó un aumento longitudinal de la hoja D con 76,57 cm a los 180 dds, mientras que los menores valores fueron observados en los tratamientos T1, T2 y T3 con 58,64; 63,62 y 62,00 cm, respectivamente ($P \leq 0,05$) (Tab. 2). Cardoso *et al.* (2013), evaluando dos fuentes nitrogenadas en la dinámica de crecimiento de la hoja D, relataron que la fuente sintética tuvo efectos significativamente superior a la fuente orgánica, semejante a lo notado en este trabajo.

Por otra parte, Vilela *et al.* (2015) relataron que tanto el peso seco como fresco de la hoja D, tienen una correlación de 82 y 84% con el crecimiento del fruto, respectivamente. En todos los momentos de evaluación, el peso seco y fresco de la hoja D fueron superiores en el tratamiento T7, el cual tuvo las mayores dosis de fertilizante sintético (Tab. 4). Asimismo, el menor efecto del fertilizante orgánico observado en este experimento, podría explicarse por la baja tasa de mineralización de la materia orgánica contenida en este producto. En otro ensayo con 'Golden', se encontró una relación directa entre el aumento de la dosis de fertilizantes sintéticos y el aumento del peso seco de la hoja D (Guarçoni y Ventura, 2011).

Los tenores de nitrógeno en la hoja D mostraron una tendencia de aumento en los tratamientos T5, T6 y T7, todos con aplicación de abono sintético ($P \leq 0,05$). Este hecho se debe, posiblemente, a que los nutrientes contenidos en los fertilizantes sintéticos estaban disponibles con mayor rapidez para ser utilizados por las plantas. Para el caso del N, la mineralización de este nutriente hasta alcanzar un tenor de 100 mg kg⁻¹ de suelo, puede llevar hasta 270 d, estando influenciado por las condiciones climáticas y los tipos de abonos usados (Carneiro *et al.*, 2013).

Dentro de los macronutrientes, el N es de suma importancia, ya que podemos encontrarlo formando parte de biomoléculas importantes como la clorofila (Lacoeuilhe, 1987; Schlemmer *et al.*, 2013), la cual se encuentra directamente relacionada con la fotosíntesis, que, a su vez, influencia el aumento de peso seco. En este sentido, Caetano *et al.* (2013) y Bello *et al.* (2015) demostraron que con el aumento en las dosis de N, hubo un incremento en el peso seco de la hoja D en los cultivares 'Vitoria' y 'Cayena Lisa'. En este trabajo de forma general, en los tratamientos con mayor materia seca, se detectó también mayores tenores de N en la hoja D.

La evaluación del diámetro de fruto es importante pues la agroindustria tiene preferencia por aquellos de forma cilíndrica, ya que permiten obtener mayor rendimiento agroindustrial (Bello *et al.*, 2015).

Tabla 4. Peso fresco y peso seco de la hoja D de piña, cultivar MD2 ('Golden'), en tres momentos de evaluación, en función de la aplicación de abono sintético y el fertilizante orgánico. Tenor de nitrógeno en la hoja D.

Tratamientos	Peso fresco (g)			Peso seco (g)			N %
	90 dds	135 dds	180 dds	90 dds	135 dds	180 dds	
T1	15,17 c	20,68 c	31,00 e	1,66 c	2,32 c	3,07 d	1,60 abc
T2	18,66 bc	29,00 b	38,30 cde	2,15 abc	3,12 b	3,61 cd	1,50 bc
T3	18,66 bc	29,00 b	35,35 de	1,83 bc	3,14 b	4,00 bc	1,44 c
T4	20,60 b	33,04 b	42,97 bcd	2,28 ab	3,90 a	4,32 bc	1,68 abc
T5	20,60 b	34,60 b	47,70 b	2,23 ab	2,98 b	4,58 ab	1,80 a
T6	19,20 bc	32,23 b	45,49 bc	2,12 abc	3,15 b	4,01 bc	1,71 ab
T7	25,29 a	42,40 a	56,00 a	2,49 a	4,10 a	5,12 a	1,78 a
CV	9,90	9,60	7,80	11,50	0,86	0,80	6,60
EE	0,97	1,51	1,70	1,20	0,14	0,17	0,05

T1: Testigo; T2: Alopes Forte 25%; T3: Alopes Forte 50%; T4: Alopes Forte 20% + 150N-75P₂O₅-200K₂O-25MgO-25CaO; T5: Alopes Forte 20% + 250N-125P₂O₅-300K₂O-50CaO-50MgO; T6: 300N-150P₂O₅-400K₂O-50MgO-50CaO; T7: 500N-250P₂O₅-600K₂O-100MgO-100CaO. dds: días después de la siembra; CV: coeficiente de variación; EE: error estándar.

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

Tabla 5. Diámetro inferior (DI), medio (DM), superior (DS) y diámetro del eje central (DEC) del fruto, longitud del fruto (LF), número de frutillos por fruto (NFF), peso fresco del fruto con corona (PFCC) y sin corona (PFSC) y tenor de sólidos solubles (TSS) de piña, cultivar MD2 ('Golden'), en función de la aplicación de abono sintético y del fertilizante orgánico.

Tratamientos	DI	DM	DS	DEC	LF	NFF	PFCC	PFSC	TSS
	cm					-	kg		°Brix
T1	10,12 c ¹	11,17 f	10,28 d	2,64 c	11,53 e	77,16 e	1,23 d	1,10 c	12,90 e
T2	10,29 c	11,25 f	10,26 d	2,51 d	11,93 de	79,18 e	1,24 d	1,10 c	13,02 de
T3	10,26 c	11,48 e	9,83 e	2,56 cd	12,30 d	83,95 d	1,22 d	1,10 c	13,46 bcd
T4	10,26 c	11,91 d	10,12 d	2,24 e	13,50 c	89,63 c	1,50 c	1,40 b	13,57 bc
T5	10,81 b	12,27 c	10,92 b	2,78 b	13,21 c	85,68 cd	1,61 b	1,50 b	13,89 b
T6	10,96 b	12,42 b	10,74 b	2,55 cd	14,28 b	95,52 b	1,63 b	1,50 b	13,41 cd
T7	11,90 a	12,78 a	11,61 a	3,01 a	15,84 a	103,25 a	1,81 a	1,65 a	15,10 a
CV ²	0,81	0,39	0,67	1,54	2,30	2,21	2,84	3,41	1,50
EE	0,04	0,02	0,04	0,02	0,15	0,97	0,02	0,02	0,02

T1: Testigo; T2: Alopes Forte 25‰; T3: Alopes Forte 50‰; T4: Alopes Forte 20‰ + 150N-75P₂O₅-200K₂O-25MgO-25CaO; T5: Alopes Forte 20‰ + 250N-125P₂O₅-300K₂O-50CaO-50MgO; T6: 300N-150P₂O₅-400K₂O-50MgO-50CaO; T7: 500N-250P₂O₅-600K₂O-100MgO-100CaO. dds: días después de la siembra; CV: coeficiente de variación; EE: error estándar.

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

De acuerdo con la tabla 5, para el diámetro inferior, medio, superior y diámetro del eje central del fruto, el tratamiento T7 fue superior a los otros tratamientos. Por otro lado, los tratamientos T1, T2 y T3 mostraron menores valores. Los resultados obtenidos se deben, probablemente, a la mayor disponibilidad de nutrientes por los tratamientos aplicados (fertilizante sintético), que a su vez, fueron aprovechados por las plantas para el crecimiento del fruto.

En investigaciones hechas con N, Bello *et al.* (2015), Caetano *et al.* (2013) y Omotoso y Akinrinde (2013) verificaron que a medida que aumentaba la cantidad de N aplicado, también se aumentaba el diámetro de fruto de piña. Efectos parecidos para el potasio (K) fueron relatados por Annisa *et al.* (2013).

Para el número de frutillos por fruto (NFF), longitud del fruto (LF), peso de fruto con corona (PFCC) y peso del fruto sin corona (PFSC), se observó que el tratamiento T7 fue superior a los demás (Tab. 4). Por otro lado, los tratamientos T1, T2 y T3 tuvieron los menores valores. Los resultados obtenidos, se deben probablemente al mejor aprovechamiento de los nutrientes durante el crecimiento vegetativo de las plantas, lo que a su vez reflejó un mayor crecimiento de fruto. De acuerdo con Pegoraro *et al.* (2014), la piña exporta nutrientes, durante el desarrollo del fruto, en el siguiente orden: $K > N > S > Ca > P > Mg$, los cuales son fundamentales en el desarrollo cuantitativo y cualitativo del mismo. Resultados similares

fueron encontrados por Guarçoni y Aires (2011) en piña 'Golden'.

En relación al tenor de sólidos solubles totales (SST), se verificó que el tratamiento T7 fue superior a los demás tratamientos con aproximadamente 15,1 °Brix. Caetano *et al.* (2013) y Oliveira *et al.* (2015) informaron que con el aumento de N y K, también hubo incrementos en los SST.

Para la venta de piña en el mercado peruano, es necesario que el fruto este clasificado, ya que el precio que recibe el agricultor estará en función del tamaño de este. En cuanto al porcentaje de fruto comercializable, se notó que el mayor porcentaje de fruto no comercializable fue obtenido por los tratamientos T2 y T3, mientras el T7 tuvo mayor porcentaje de frutos con peso fresco entre 1,7 y 2,1 kg. Se notó que a medida que se incrementaba la dosis de fertilizantes, también aumentaba la productividad (Tab. 6). Omotoso y Akinrinde (2013) y Spironello *et al.* (2004) verificaron que la aplicación de mayor cantidad de abono mineral, promovió el aumento en la productividad de piña. Además, constataron mayor rentabilidad por hectárea a medida que aumentaba la dosis de abono aplicado, lo que demuestra la importancia de un buen manejo de la fertilización de suelo, que a su vez se puede ver reflejado en el aumento de ingresos, lo que de hecho sucedió en este trabajo, notándose un incremento del 199% en el ingreso bruto entre el tratamiento T1 y T7 (Tab. 6).

Tabla 6. Clasificación de frutos, productividad e ingreso bruto de piña, cultivar MD2 ('Golden'), en función de la aplicación de abono sintético y fertilizante orgánico.

Tratamientos	Clasificación de frutos						Productividad	Ingreso bruto
	C-6	C-8	C-10	C-12	C-14	Descarte		
	%						kg ha ⁻¹	US\$
T1	0	0	0	10,00	45,00	45,00	59.280	8.134,82
T2	0	0	2,50	5,00	45,00	47,50	59.160	8.132,95
T3	0	0	0	2,50	52,50	45,00	58.380	7.556,25
T4	0	0	5,00	67,50	20,00	7,50	71.220	14.681,52
T5	0	0	30,00	57,50	12,50	0	77.940	18.775,72
T6	0	0	35,00	60,00	5	0	79.680	19.894,28
T7	0	5,00	60,00	35,00	0	0	86.280	24.330,00

T1: Testigo; T2: Alopes Forte 25%; T3: Alopes Forte 50%; T4: Alopes Forte 20% + 150N-75P₂O₅-200K₂O-25MgO-25CaO; T5: Alopes Forte 20% + 250N-125P₂O₅-300K₂O-50CaO-50MgO; T6: 300N-150P₂O₅-400K₂O-50MgO-50CaO; T7: 500N-250P₂O₅-600K₂O-100MgO-100CaO.

Clasificación de frutos: C6: 2,5-3,2 kg; C8: 2,1-2,5 kg; C10: 1,7-2,1 kg; C12: 1,4-1,7 kg; C14: 1,2-1,4 kg.

Tabla 7. Análisis económico de piña, cultivar MD2 ('Golden'), en función de la aplicación de abonos sintético y fertilizante orgánico. Valores en US\$.

Estado de pérdidas y ganancias							
Entradas	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Ventas	8.134,82	8.132,95	7.556,25	14.681,52	18.775,72	19.894,28	24.330,00
Total de entradas	8.134,82	8.132,95	7.556,25	14.681,52	18.775,72	19.894,28	24.330,00
Salidas							
Costo de producción	9.494,69	10.525,94	10.994,69	10.759,69	11.136,85	10.815,32	11.569,63
Gastos administrativos	1.753,42	1.753,42	1.753,42	1.753,42	1.753,42	1.753,42	1.753,42
Impuesto a la renta	-	-	-	650,52	1.765,63	2.197,67	3.302,08
Total de salidas	11.248,21	12.279,36	12.748,11	13.163,63	14.655,90	14.766,41	16.625,13
Utilidad	-3.113,39	-4.146,41	-5.191,86	1.517,89	4.118,82	5.127,87	7.704,87
Rentabilidad	-28%	-34%	-41%	12%	28%	35%	46%

T1: Testigo; T2: Alopes Forte 25%; T3: Alopes Forte 50%; T4: Alopes Forte 20% + 150N-75P₂O₅-200K₂O-25MgO-25CaO; T5: Alopes Forte 20% + 250N-125P₂O₅-300K₂O-50CaO-50MgO; T6: 300N-150P₂O₅-400K₂O-50MgO-50CaO; T7: 500N-250P₂O₅-600K₂O-100MgO-100CaO.

En 'Cayena Lisa', con el aumento de abono sintético a base de potasio, Teixeira *et al.* (2011) obtuvieron también un aumento de los ingresos brutos.

La rentabilidad fue diferente en función de las fuentes de abonos usadas (Tab. 7). Las rentabilidades más bajas fueron observadas en la producción de piña sin abono sintético, mientras que con el uso de fuentes minerales de rápida absorción, hubo mayor rentabilidad en este cultivo. Este hecho, puede estar relacionado, al incremento del peso fresco a medida que se aumentó la dosis de abono sintético aplicado.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este ensayo demuestran que Alopes Forte, en las dosis usadas, con o sin abono sintético, no mejoró el crecimiento vegetativo ni productivo de la piña. El uso de fertilizantes sintéticos promovió un mayor crecimiento vegetativo, el aumento de la productividad y mayor calidad del fruto, los cuales trajeron consigo una mayor utilidad y rentabilidad, como fue observado en los tratamientos T6 (300N-150P₂O₅-400K₂O-50MgO-50CaO) y T7 (300N-150P₂O₅-400K₂O-50MgO-50CaO).

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

- Almaguer, J. 2013. Fertilización nitrogenada, impactos sobre los rendimientos y el medio ambiente. *Desarrollo Local Sostenible* 6(16), 1-8.
- Annisa, W., A. Susilawati y A. Jumberi. 2013. Response of pineapple on organic fertilizer and potassium on sulphate soil. *Agroscentia* 20(1), 37-40.
- Aseri, G., N. Jain, J. Panwar, A. Rao y P. Meghwal. 2008. Biofertilizer improve plant growth, fruit yield, metabolism and rhizosphere enzyme activities of pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. *Sci. Hortic.* 117, 130-135. Doi: 10.1016/j.scienta.2008.03.014
- Barbosa, J. y M. Junior. 2010. Agrostat–Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Versão 1.0. Departamento de Ciências Exatas. Jaboticabal-SP, Brasil.
- Bello, S., A. Julca, C. Echevarria y R. Cruz. 2015. Efecto del nitrógeno en la piña (*Ananas comosus* var. *comosus* L. Merr.) ‘Cayena Lisa’ en Chanchamayo, Perú. *J. Interamer. Soc. Trop. Hortic.* 56, 20-24.
- Cardoso, M., R. Pegoraro, V. Maia, M. Kondo y L. Fernandes 2013. Crescimento do abacaxizeiro ‘Vitoria’ irrigado sob diferentes densidades populacionais, fontes e doses de nitrogênio. *Rev. Bras. Frutic.* 35(3), 769-781. Doi: 10.1590/S0100-29452013000300014
- Carneiro, W., C. Silva, J. Muniz y T. Savian. 2013. Mineralização de nitrogênio em Latossolos adubados com resíduos orgânicos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 37(3), 715-725. Doi: 10.1590/S0100-06832013000300018
- Caetano, L., J. Ventura, A. Costa y R. Guarçoni. 2013. Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi ‘Vitoria’. *Rev. Bras. Frutic.* 35(3), 883-890. Doi: 10.1590/S0100-29452013000300027
- Guarçoni, A. y J. Ventura. 2011. Adubação N-P-K e o desenvolvimento, produtividade e qualidade dos frutos abacaxi Gold (MD-2). *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 35(4), 1367-1376. Doi: 10.1590/S0100-06832011000400031
- Gutián, F. y T. Carballas. 1976. Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela, España.
- Lacoeuilhe, J. 1987. Pineapple. In: P. Martin Prevel, J. Gagnard y P. Gautier (eds.). *Plant analysis as a guide nutrient requirements of temperate and tropical crops*. Ed. Technique and Documentation, Lavoisier, Francia.
- Luna, R., K. Espinosa, R. Trávez, C. Ulloa, A. Espinoza y A. Bejarano. 2016. Respuesta de variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) a la aplicación de abonos orgánicos y fertilización química. *Cienc. Agrar.* 9(1), 11-16.
- Ministerio de Agricultura y Riego. 2016. Boletín Estadístico de Producción Agrícola, Pecuaria y Avícola. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas, Lima Perú.
- Mujica, Y., A. Mena, A. Medina y P. Rosales. 2014. Respuestas de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la biofertilización líquida con *Glomus cubensis*. *Cultivos Trop.* 35(2), 21-26.
- Oliveira, A., M. Pereira, W. Natale, W. Nunes y C. Ledo. 2015. Qualidade do abacaxizeiro ‘BRS Imperial’ em função de dose de N-K. *Rev. Bras. Frutic.* 37(2), 497-506. Doi: 10.1590/0100-2945-056/14
- Omotoso, S. y E. Akinrinde. 2013. Effect of nitrogen on some growth, yield and fruit quality parameters in pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) plant at Ado-Ekiti Southwestern, Nigeria. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci.* 3(1), 11-16.
- Pegoraro, R., B. Souza, V. Maia, D. Silva, A. Medeiros y R. Sampaio. 2014. Macronutrients uptake, accumulation and export by irrigated ‘Vitoria’ pineapple plant. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 38, 896-904. Doi: 10.1590/S0100-06832014000300021
- Ramos, D., A. Terry, F. Soto, A. Cabrera, G. Martín y L. Fernández. 2016. Respuesta del cultivo de plátano a diferentes proporciones de suelo y bocashi, complementadas con fertilizante mineral en etapa de vivero. *Cultivos Trop.* 37(2), 165-174.
- Rodríguez, R., I. Rodríguez, G. Lorente, D. López, R. Izquierdo, L. Borroto, C. Bonet, Y. Garza, C. Aragón, F. Podestá, R. Rodríguez y J. González. 2016. Efecto del déficit hídrico sobre cambios morfo-fisiológicos y bioquímicos en plantas micropropagadas de piña MD-2 en la etapa final de aclimatación. *Cultivos Trop.* 37, 64-73.
- Schlemmer, M., A. Gitelson, J. Schepers, R. Ferguson, Y. Peng, J. Shanaban y D. Rundquist. 2013. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.* 25, 47-54. Doi: 10.1016/j.jag.2013.04.003
- Soil Science Society of America. 1982. *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. Madison, WI, USA.
- Spironello, A., J. Quaggio, L. Teixeira, P. Furlani y J. Sigríst. 2004. Pineapple yield and fruit quality affected by NPK fertilization in a tropical soil. *Rev. Bras. Frutic.* 26(1), 155-159. Doi: 10.1590/S0100-29452004000100041

Teixeira, L., J. Quaggio, H. Cantarella y E. Mellis. 2011. Potassium fertilization for pineapple: Effects on plant growth and fruit yield. *Rev. Bras. Frutic.* 33(2), 618-626. Doi: 10.1590/S0100-29452011000200035

Vilela, G., R. Pegoraro y V. Maia. 2015. Predição de produção de abacaxizeiro 'Vitoria' por meio de características fitotécnicas e nutricionais. *Rev. Ciênc. Agron.* 46(4), 724-732. Doi: 10.5935/1806-6690.20150059

Nuevos registros de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) y de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en fresas cultivadas en Venezuela

New records of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) and *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in strawberries crops in Venezuela



YOHAN SOLANO-ROJAS^{1, 5}
ARACELIS GIMÉNEZ²
MARÍA PÉREZ DE CAMACARO²
JOSÉ MORALES-SÁNCHEZ³
GUSTAVO ZURITA⁴

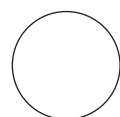
Fruto de fresa de la variedad Camino Real en Bailadores, estado Mérida, Venezuela.

Foto: Y. Solano-Rojas

RESUMEN

Con la finalidad de conocer las especies de trips y ácaros presentes en cultivos comerciales de fresa, se realizaron estudios en las localidades de Bailadores (estado Mérida), Cabimbú (estado Trujillo), La Colonia Tovar (estado Aragua), Cubiro, Paso Real, Páramo Abajo y Tarabana (estado Lara), en Venezuela. En el campo, se examinaron brotes foliares, hojas, botones florales, flores y frutos, para coleccionar inmaduros y/o adultos de trips y/o ácaros en diferentes cultivares de fresa. En el laboratorio, los trips y/o ácaros en estado inmaduro, fueron criados hasta la fase adulta. Los especímenes adultos fueron montados en láminas microscópicas, etiquetados y depositados en la colección de insectos del Museo de Entomología José M. Osorio (MJMO) de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA). De la revisión taxonómica realizada, fue posible identificar las especies *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) y *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). El reporte de estas especies en cultivos de fresa, constituye nuevos registros para Venezuela.

Palabras clave adicionales: ácaro, distribución geográfica, plaga, trips.



¹ Departamento de Ecología y Control de Calidad, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), Lara (Venezuela). ORCID Solano-Rojas, Y.: 0000-0001-9762-2815

² Departamento de Procesos Agroindustriales, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), Lara (Venezuela). ORCID Giménez, A.: 0000-0001-5333-4299; ORCID Pérez de Camacaro, M.: 0000-0002-9423-1824

³ Departamento de Ciencias Biológicas, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), Lara (Venezuela). ORCID Morales-Sánchez, J.: 0000-0002-2125-5905

⁴ Investigador independiente, Mérida (Venezuela). ORCID Zurita, G.: 0000-0002-4514-2542

⁵ Autor para correspondencia. yohansolano@gmail.com

ABSTRACT

In order to observe species of thrips and mites found in commercial strawberry crops in Venezuela, studies were conducted in Bailadores (Mérida State), Cabimbú (Trujillo State), La Colonia Tovar (Aragua State), Cubiro, Paso Real, Páramo Abajo and Tarabana (Lara State). We examined leaf buds, leaves, flower buds, flowers and fruits in the field in order to collect immature and adult thrips/mites in strawberry cultivars. Then, thrips and mites in the immature stage were reared in a laboratory until adults emerged. Specimens were pinned, tagged and deposited at the Museum of Entomology José M. Osorio (MJMO) collection at the Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA). In the taxonomic review, it was possible to identify the species *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and *Tetranychus urticae* Koch. This is the first report of these species in strawberry crops in Venezuela.

Additional key words: mite, geographical distribution, pest, thrips.

Fecha de recepción: 01-07-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

El cultivo de fresa en Suramérica es dominado por Brasil, Argentina y Chile, los cuales concentran su producción en el consumo local y en un modesto nivel a la exportación (Gambardella y Pertuzé, 2006; Corrêa y Peres, 2013). En otros países de la región como Venezuela, Perú, Paraguay, Uruguay, Bolivia y Ecuador, la producción se encuentra en desarrollo (Corrêa y Peres, 2013), mientras que Colombia ha tenido un crecimiento importante, en superficie y rendimiento, en los últimos años (Grijalba *et al.*, 2015; López-Valencia *et al.*, 2018).

En Venezuela, el área sembrada se estima en 1.840 ha y para el año 2010 su producción alcanzó 24,95 t (FAO, 2016), con los estados Aragua, Mérida, Miranda, Monagas, Táchira, Trujillo y Lara, como los principales productores de fresa, y con las variedades Camino Real, Camarosa, Ventana, Festival, Chandler, Oso Grande, Sabrosa, Cristal, Diamante, Seascape y Aroma como las más cultivadas en el país (Pérez de Camacaro *et al.*, 2013; Pérez de Camacaro *et al.*, 2014).

El cultivo de la fresa puede ser atacado por diversos grupos de insectos incluyendo áfidos, chinches, curculiónidos y gusanos cortadores. No obstante, diversas investigaciones han indicado que los trips y ácaros constituyen los dos grupos de artrópodos más dañinos en el cultivo (Steiner y Goodwin 2005; Villegas *et al.*, 2010; Atakan, 2011; Vásquez *et al.*, 2016; Sampson y Kirk 2016). En el caso de los trips, el raspado que producen durante su alimentación ocasiona manchas

en pétalos, caída de flores y frutos, producción de frutos necróticos y/o distorsionados por daños en ovarios, anteras, estigmas y receptáculos florales (Colls *et al.*, 2006; Cluever *et al.*, 2015; Sampson y Kirk, 2016). Por su parte, los ácaros succionan los fotosintatos en hojas, pistilos florales y frutos de fresa, lo cual reduce el rendimiento del cultivo cuando el nivel poblacional es alto (Klamkowski *et al.*, 2006; Cerna *et al.*, 2009; Villegas *et al.*, 2010).

Entre los trips registrados en plantaciones de fresa se encuentran *Frankliniella occidentalis* (Pergande), *F. shultzei* (Trybom), *F. bispinosa* (Morgan), *F. intosa* (Trybom), *F. tritici* (Fitch) y *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) (Atakan 2011; Albendin *et al.*, 2012; Cluever *et al.*, 2015), mientras que entre los ácaros se indica a *Tetranychus urticae* Koch, *T. telarius* L., *T. lobustus* Boudreau, *T. turkestanii* (Ugarov y Nikolski), *T. cinnabarinus* (Boisduval), *Eotetranychus lewisi* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) y *Phytonemus pallidus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) (Hancock, 1999; Handley y Price 2003; Vásquez *et al.*, 2016). La amenaza tanto de los trips como de los ácaros se acrecienta cuando son capaces de favorecer el ataque de fitopatógenos, como ha sido señalado por González-Bustamante (1996) para *P. pallidus* cuyo daño produce agrietamientos que permiten el ingreso de *Botrytis cinerea* (Helotiales: Sclerotiniaceae) y *Rhizopus* sp. (Mucorales: Mucoraceae), hongos que también han sido asociados a la presencia de *F. occidentalis* (Colls *et al.*, 2006). Adicionalmente, Dara (2015) indicó que

la enfermedad de la pallidosis de la fresa, puede ser ocasionada por un complejo de virus transmitidos por mosca blanca, áfidos y *F. occidentalis*.

En Venezuela, investigaciones sobre las plagas que atacan el cultivo de fresa han reportado la presencia de los áfidos *Aphis forbesi* Weed., *Capitophorus minor* (Forbes) y *Chaetosiphon fragaefolli* (Cockerell) (Hemiptera: Aphididae), la escama *Orthezia insignis* Browne (Hemiptera: Ortheziidae), el cicadélido *Erythrogonia quadriguttata* (Fabricius) (Hemiptera: Cicadellidae), el chinche *Largus cinctus* Herrich-Schaeffer (Hemiptera: Largidae) y el ácaro *P. pallidus* (Doreste, 1984; UCV, 2003), los cuales son capaces de causar daños económicos al cultivo, al reducir el rendimiento y la calidad de los frutos. Recientemente, Solano *et al.* (2015) señalaron los noctuidos *Spodoptera cosmioides* (Walker), *S. dolichos* (Fabricius), *S. frugiperda* (J.E. Smith) y *Peridroma saucia* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) como plagas potenciales en plantaciones de fresa en el occidente del país. En este sentido, la presente investigación se realizó con el propósito de obtener nueva información sobre la distribución y especies de trips y ácaros asociados al cultivo de la fresa en Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos bimensuales en plantaciones comerciales de fresa, ubicadas en las localidades de Bailadores (estado Mérida), Cabimbú (estado Trujillo), La Colonia Tovar (estado Aragua), Cubiro, Paso Real, Páramo Abajo y Tarabana (estado Lara), desde Noviembre de 2013 a Noviembre de 2016. En el campo, los lotes cultivados fueron recorridos siguiendo un patrón tipo Z y se examinaron los brotes foliares, hojas, botones florales, flores y frutos de plantas de fresa visiblemente afectadas, con la finalidad de detectar la presencia de inmaduros y/o adultos de trips y/o ácaros. Las observaciones se realizaron con ayuda de una lupa de mano (10x).

Los órganos vegetales afectados fueron cortados y colocados en bolsas plásticas de cierre hermético, internamente recubiertas con papel absorbente y externamente etiquetadas con lugar de colecta, fecha, variedad de fresa, datos geográficos y colector. Una vez finalizada la colecta, las muestras fueron llevadas al laboratorio de Biología y Fisiología Poscosecha del Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA) en cavas refrigeradas.

En el laboratorio, los trips y/o ácaros en estado inmaduro fueron colocados en envases de vidrio de 3,8 L de capacidad, en cuyo fondo se colocó papel absorbente humedecido con agua destilada y se tapó con tela organdí. Estas muestras fueron observadas diariamente hasta la emergencia de adultos. Los envases se mantuvieron en cuarto climatizado a $25 \pm 2^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ HR y 12:12 (D:N) horas de fotoperiodo. Los trips y ácaros fueron montados en láminas microscópicas, etiquetados y depositados en el Museo de Entomología José Manuel Osorio (MJMO) de la UCLA. El Dr. Laurence Mound, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Camberra, Australia, identificó el género de los trips, mientras que la especie fue determinada por comparación con ejemplares de referencias depositados en el Museo de Entomología MJMO. Los ácaros fueron determinados por el Dr. Carlos Vásquez, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registra la presencia del trips *Frankliniella occidentalis* y del ácaro bimaculado *Tetranychus urticae*, alimentándose de diferentes variedades de fresa, cultivadas en casas de cultivo y en campo abierto, en las principales zonas productoras en Venezuela (Tab. 1).

Las larvas y adultos del trips se encontraron alimentándose en el interior de los botones florales, en flores y sobre frutos en formación. En las flores, el daño ocasionado por *F. occidentalis* se caracterizó por manchas marrones en la base de los pétalos, necrosis de los estilos y raspado de la superficie del ovario, mientras que en frutos en formación, se evidenciaron pequeñas cicatrices y manchas de color marrón y/o bronceado, lo cual deforma los frutos (Fig. 1A) y reduce su calidad. En el caso de *T. urticae*, sus huevos, ninfas y adultos fueron conseguidos en el envés de las hojas de fresa, las cuales se tornaban de color amarillo o rojizo (Fig. 1B) cuando la densidad poblacional fue alta o baja, respectivamente.

F. occidentalis no se encontró sobre la variedad Chandler cultivada en las localidades de Tarabana y El Páramo Abajo, estado Lara, tanto en casa de cultivo como en campo abierto (Tab. 1), respectivamente. Esta situación sugiere posible resistencia de esta variedad a los ataques del trips, toda vez que esta plaga estuvo presente en el resto de los cultivares producidos a diferentes altitudes y condiciones de manejo del cultivo.

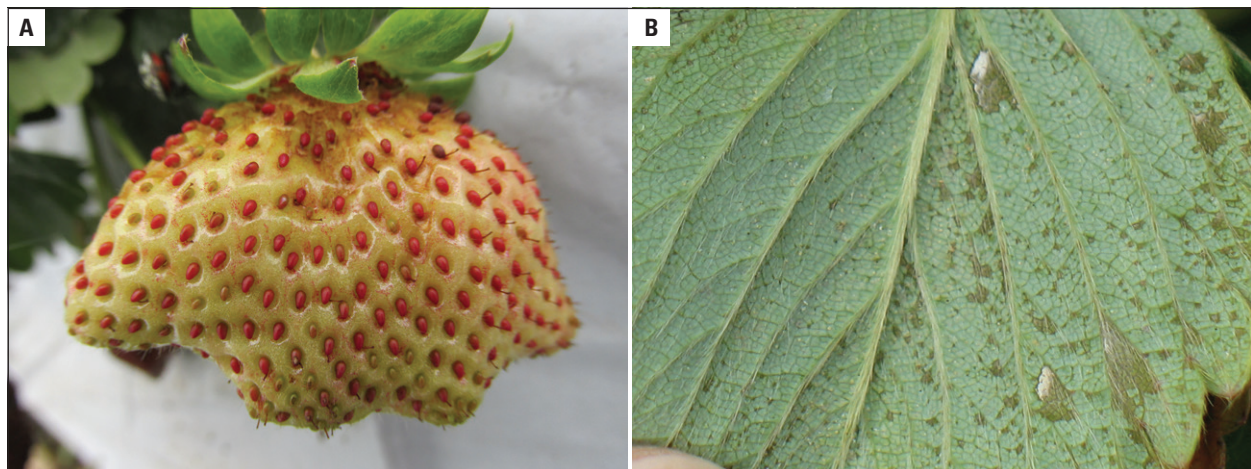


Figura 1. A. Fruto de fresa con daño por *F. occidentalis*; B. Hoja con daño ocasionado por *T. urticae*.

Tabla 1. Localidades y variedades de fresa con presencia de *F. occidentalis* (T) y *T. urticae* (A), en las principales zonas productoras de Venezuela.

Localidad, municipio, estado	Altitud (msnm)	Modalidad de producción	Variedad	T	A
Tarabana, Palavecino, Lara	550	Casa de cultivo	Chandler	-	+
Paso Real, Jiménez, Lara	1.200	Campo abierto		+	+
El Páramo Abajo, Jiménez, Lara	1.200			-	+
Cubiro, Jiménez, Lara	1.400		Camarosa	+	+
Bailadores, Rivas Dávila, Mérida	1.750	Casa de cultivo	Camino Real y San Andrea	+	+
La Colonia Tovar, Tovar, Aragua	2.200	Casa de cultivo y campo abierto	Capitola, Alvión, Camino Real, Camarosa y Festival	+	+
Cabimbú, Urdaneta, Trujillo	2.800	Campo abierto	Capitola, Camarosa y Festival	+	+

+: presente; -: ausente

Las características morfológicas y composición química (fenoles, taninos, entre otros) presentes en las diferentes estructuras de las plantas de fresa de los distintos cultivares, pueden asociarse con la susceptibilidad y/o resistencia a los ataques de *F. occidentalis* y *T. urticae*. Al respecto, Rahman *et al.* (2010) observaron que *F. occidentalis* mostró mayor preferencia alimenticia, tasa de oviposición y supervivencia, sobre Camarosa que sobre 'Alvión' y 'Camino Real'.

Estudios conducidos por Afifi *et al.* (2010) confirmaron que 'Camarosa' resultó más susceptible a *T. urticae* que la variedad Sweet Charlie, argumentando que tal diferencia se debió a la menor cantidad de fenoles y aminoácidos, mayor cantidad de azúcar, y menor cantidad de tricomas en las hojas de Camarosa que en las de 'Sweet Charlie'. No obstante, Monteiro *et al.* (2014) señalaron que las variedades Camarosa,

Diamante y Seascape fueron más resistentes a los ataques de *T. urticae* que Camino Real, Aroma, Festival, Diamante 10 y Diamante 50, ya que las primeras ofrecieron al ácaro un mayor costo adaptativo, lo cual se interpretó como un efecto de antibiosis. Por su parte, Livinali *et al.* (2014) indicaron que *T. urticae* afectó las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la variedad Camarosa, debido a que las plantas infestadas presentaron fresas con altos niveles de acidez y bajos niveles de antocianinas y fenoles, con lo cual la calidad de los frutos disminuyó.

En relación a la modalidad de cultivo y su incidencia sobre plagas en fresa, Rubio *et al.* (2014) indicaron que la frecuencia de aplicación de insecticidas fue mayor en fresas cultivadas en macrotúneles que aquellas producidas a campo abierto. Al respecto, Flórez y Mora (2010) señalaron que estructuras como macrotúneles

o casas de cultivo, ofrecen resguardo a factores climáticos adversos a ácaros y/o trips, lo cual estimula el crecimiento poblacional de estas plagas.

Con base en estos argumentos, resulta necesario dirigir más investigaciones con el fin de evaluar la resistencia y/o susceptibilidad de las variedades de fresa cultivadas en el país, a los ataques de *F. occidentalis* y *T. urticae*, bajo condiciones climáticas y modalidad de cultivo de las diferentes zonas productoras. Adicionalmente, también debe investigarse el nivel de daño económico de estas especies sobre el cultivo de fresa, así como la interrelación con sus enemigos naturales.

CONCLUSIONES

El trips *F. occidentalis* y el ácaro *T. urticae* son reportados por primera vez causando daños en algunas de las principales variedades de fresa cultivadas en Venezuela. *F. occidentalis* no se encontró sobre la variedad Chandler, lo que sugirió posible resistencia a los ataques del trips. Por su parte, *T. urticae* fue encontrado causando daños en las hojas de todas las variedades de fresa estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), por el financiamiento del Proyecto 022-AG-2013. Al Dr. Laurence Mound y Dr. Carlos Vásquez por su asistencia en la determinación de los especímenes. A los agricultores que permitieron la realización de esta investigación en sus unidades de producción.

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

- Afifi, A.A., A.Y. El-Laithy, S.A. Shehata y E.M. El-Saiedy. 2010. Resistance of strawberry plants against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). pp. 505 – 507. En: Sabelis, MW y J. Bruin (eds.). Trends in Acarology. Proc. 12th International Congress. Springer, The Netherlands. Doi: 10.1007/978-90-481-9837-5_85
- Albendin, G., M.C. García y J.M. Molina. 2012. El trips de las flores y su control en el cultivo de la fresa. En: Vida Rural, http://www.eumedia.es/portales/files/documentos/dossier_trips_VR348.pdf; consulta: mayo de 2017.
- Atakan, E. 2011. Population densities and distributions of the western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) and its predatory bug, *Orius niger* (Hemiptera: Anthoridae), in strawberry. Int. J. Agric. Biol. 13, 638-644.
- Cerna, E., Y. Ochoa, L. Aguirre, M. Badii, G. Gallegos y J. Landeros. 2009. Niveles de resistencia en poblaciones de *Tetranychus urticae* en el cultivo de la fresa. Rev. Colomb. Entomol. 35(1), 52-56.
- Colls, M., S. Shakya, I. Shouster, Y. Nenner y S. Steinberg. 2006. Decision-making tools for *Frankliniella occidentalis* management in strawberry: Consideration of target markets. Entomol. Exp. Appl. 122, 59-67. Doi: 10.1111/j.1570-7458.2006.00488.x
- Cluever, J.D., H.A. Smith, J.E. Funderburk y G. Frantz. 2015. Thrips in Florida strawberry crops. En: UF/IFAS. <http://edis.ifas.ufl.edu/in1078>; consulta: marzo de 2017.
- Corrêa, L.E. y N.A. Peres. 2013. Strawberry production in Brazil and South America. Int. J. Fruit Sci. 13, 156-161. Doi: 10.1080/15538362.2012.698147
- Dara, S.K. 2015. Virus decline of strawberry in California and the role of insect vectors and associated viruses. Plant Health Prog. 16(4), 211-215. Doi: 10.1094/PHP-MR-14-0023
- Doreste, E. 1984. Acarología. Agroamerica, San José, Costa Rica.
- Flórez, R. y R. Mora. 2010. Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) producción y manejo poscosecha. Corredor Tecnológico Agroindustrial y Cámara de Comercio de Bogotá, Bogotá, Colombia.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2016. FAOSTAT. En: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S>; consulta: septiembre de 2016.
- Gambardella, M.I. y R. Pertuzé. 2006. Strawberry production in South America. Acta Hort. 708, 419-424.
- González-Bustamante, L.E. 1996. *Phytonemus pallidus* (Banks) y *Frankliniella* sp., dañando fresa cultivada en Huaral, Lima. Rev. Per. Entomol. 38, 35-38.
- Grijalba, C.M., M.M. Pérez-Trujillo, D. Ruiz y A.M. Ferrucho. 2015. Strawberry yields with high-tunnel and open-field cultivations and the relationship with vegetative and reproductive plant characteristics. Agron. Colomb. 33(2), 147-154. Doi: 10.15446/agron.colomb.v33n2.52000
- Hancock, J.F. 1999. Strawberries. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Handley, D.T. y J.F. Price. 2003. Insect and mites management of strawberry. pp. 94-102. En: Childers, F. (ed.).

- The strawberry. A book for growers, others. University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- Klamkowski, K., M. Sekrecka, H. Fonyodi y W. Treder. 2006. Changes in the rates of gas exchange, water consumption and growth in strawberry plants infested with the two-spotted spider mites. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 14, 155-162.
- Livinali, E., R.A. Sperotto, N. Juárez Ferla y C.F. Volken de Souza. 2014. Physicochemical and nutritional alterations induced by two-spotted spider mite infestation on strawberry plants. *Electron. J. Biotechnol.* 17, 193-198. Doi: 10.1016/j.ejbt.2014.06.002
- López-Valencia, D., M. Sánchez-Gómez, J.F. Acuña-Caita y G. Fischer. 2018. Propiedades fisicoquímicas de siete variedades destacadas de fresa (*Fragaria × ananassa* Duch.) cultivadas en Cundinamarca (Colombia) durante su maduración. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 19(1), 1-18.
- Monteiro, L.B., T.M.A. Kuhn, A.F. Mogor y E.D.B. Da Silva. 2014. Biology of the two-spotted spider mite on strawberry plants. *Neotrop. Entomol.* 43(2), 183-188. Doi: 10.1007/s13744-013-0184-7
- Pérez de Camacaro, M., M. Ojeda, N. Mogollón y A. Giménez. 2013. Efecto de diferentes sustratos y ácido giberélico sobre el crecimiento, producción y calidad de fresa (*Fragaria × ananassa* Duch) cv. Camarosa. *Bioagro* 25(1), 31-38.
- Pérez de Camacaro, M., M. Ojeda, N. Mogollón, A. Giménez y E. Suárez. 2014. Efecto de la frecuencia de aplicación del ácido giberélico y la presencia de plantas hijas sobre el crecimiento y producción del cultivo de fresa. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 1, 54-64.
- Rahman, T., H. Spafford y S. Broughton. 2010. Variation in preference and performance of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on three strawberry cultivars. *J. Econ. Entomol.* 103(5), 1744-1753. Doi: 10.1603/EC10056
- Rubio, S.A., A.M. Alfonso, C.M. Grijalba y M.M. Pérez. 2014. Determinación de los costos de producción de la fresa cultivada a campo abierto y bajo macrotúnel. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 8(1), 67-79.
- Sampson, C. y W.D.J. Kirk. 2016. Predatory mites double the economic injury level of *Frankliniella occidentalis* in strawberry. *BioControl* 61(6), 661-669. Doi: 10.1007/s10526-016-9747-y
- Solano, Y., F. Sosa y M. Pérez de Camacaro. 2015. Registros de noctuidos (Lepidoptera: Noctuidae) asociados al cultivo de fresa en el occidente de Venezuela. *Entomotrop.* 30(19), 193-200.
- Steiner, M.Y. y S. Goodwin. 2005. Management of thrips (Thysanoptera: Thripidae) in Australian strawberry crops: within-plant distribution characteristics and action thresholds. *Aust. J. Entomol.* 44(2), 175-185. Doi: 10.1111/j.1440-6055.2005.00467.x
- UCV. 2003. Entomofauna agrícola venezolana. Departamento de Zoología Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela; Fundación Polar, Caracas, Venezuela.
- Vásquez, C., Y. Colmenárez, M. Dávila, M. Pérez, H. Zurita y N. Telechana. 2016. Phytophagous mites associated to *Fragaria* spp., advances in pest management in South America. *J. Entomol.* 13(4), 110-121. Doi: 10.3923/je.2016.110.121
- Villegas, S.E., J.C. Rodríguez, S. Anaya, H. Sánchez, J. Hernández y R. Bujanos. 2010. Resistencia a acaricidas en *Tetranychus urticae* (Koch) asociada al cultivo de fresa en Zamora, Michoacán, México. *Agrociencia* 44, 75-81.

Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest quality of Roxo-de-Valinhos fresh ripe figs

Efecto del 1-metilciclopropeno en la calidad poscosecha de frutos de higos maduros de la var. Roxo-de-Valinhos



MAURO BRASIL DIAS TOFANELLI^{1, 3}
FRANCINE LORENA CUQUEL¹
JOSÉ GILBERTO SOUSA MEDEIROS²
JESSICA WELINSKI DE OLIVEIRA D'ANGELO¹

Ripe fig of the Roxo-de-Valinhos variety.

Photo: M.B.D. Tofanelli

ABSTRACT

The fig is one of the most perishable fruits during the postharvest phase, which has prompted studies to evaluate the effects of substances applied on figs after harvest in order to extend their postharvest life. The aim of this work was to evaluate the effects of different concentrations of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the postharvest quality of Roxo de Valinhos figs. The research was conducted by applying 4 concentrations of 1-MCP (0 - control, 5, 10, and 20 $\mu\text{g L}^{-1}$) on figs, after which the fruits were evaluated at five different storage times (0, 4, 8, 12, and 16 days). The results showed that 20 $\mu\text{g L}^{-1}$ of 1-MCP provided the best fruit firmness at day 12 after harvest. The 1-MCP treatments did not improve the total amount of total soluble solids (TSS), but we observed higher amount of total solids from 12 to 16 days of storage. Higher acidity was observed in the figs without a 1-MCP treatment at 8 days of storage and with 20 $\mu\text{g L}^{-1}$ of 1-MCP after 12 days of storage. 1-MCP did not affect fruit weight loss. The figs treated with 1-MCP showed promising and rising values of firmness, acidity, and TSS at the highest dose. The TSS concentration tended to increase at the higher doses. As a result, it could be interesting to assay this substance with applications with higher concentrations than those used in the present study.

Additional key words: *Ficus carica*, 1-MCP, firmness, soluble solids, titratable acidity, weight loss.

¹ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR (Brazil). ORCID Tofanelli, M.B.D.: 0000-0002-1831-3326; ORCID Cuquel, F.L.: 0000-0002-3026-2058; ORCID D'Angelo, J.W.d.O.: 0000-0001-7861-1600

² Instituto Federal de Educação, Castanhal-PA (Brazil). ORCID Medeiros, J.G.S.: 0000-0002-3287-4189

³ Corresponding author. mbrasildt@ufpr.br



RESUMEN

El higo es una de las frutas más perecederas en la poscosecha, lo cual ha promovido estudios para evaluar el efecto a aplicación de sustancias en el fruto después de la cosecha con el fin de conservar su calidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones 1-metilciclopropeno (1-MCP) en la calidad de poscosecha del higo variedad Roxo-de-Valinhos. El experimento fue realizado con aplicaciones de cuatro concentraciones de 1-MCP (0 - testigo, 5, 10 y 20 $\mu\text{g L}^{-1}$) en los frutos que fueran evaluados en cinco diferentes períodos de almacenamiento (0, 4, 8, 12 y 16 días). El tratamiento con 1-MCP no aumentó el contenido de sólidos solubles totales (SST), sin embargo se observó un considerable incremento en el período de 12 y 16 días de almacenamiento. La acidez elevada fue obtenida en los frutos no tratados con 1-MCP a los 8 días de almacenamiento y en los tratados con 20 $\mu\text{g L}^{-1}$ de 1-MCP a los 12 días de almacenamiento. El 1-MCP no influyó en la pérdida de peso de los frutos. Los higos tratados con las dosis de 1-MCP mostraron valores prometedores y crecientes de firmeza, acidez y SST. Las concentraciones de SST tendieron a aumentar a una dosis más alta, por lo que puede ser interesante probar esta sustancia aplicada en las concentraciones más altas que las utilizadas en este trabajo.

Palabras clave adicionales: *Ficus carica*, 1-MCP, firmeza, sólidos solubles, acidez titulable y pérdida de peso.

Received for publication: 23-08-2017 Accepted for publication: 30-01-2018

INTRODUCTION

Figs are one of the most important commercial fruits around the world because of their nutritional compounds, taste, and traditional production. Figs are commercially grown in Brazil and 28,044 t of the fruit were produced in 2014, mainly in the southeastern and southern Brazilian regions (IBGE, 2016), for fresh fruit consumption or for industries. In Brazil, the fig for fresh consumption - called "mature fig" - is harvested at the maturation stage and the fig for processing - called "green fig" - is harvested before ripening.

However, certain concerns about fig tree (*Ficus carica* L.) plantations have prompted studies to find solutions, such as the need to address the perishable nature of the fresh fig, which rapidly decreases the quality of the fruit after harvest, because it is subject to rapid physiological breakdown. This characteristic affects the efficiency of the commercialization and exportation of the fruit around the world (Gözlekçi *et al.*, 2008; Paula *et al.*, 2007; Sharma and Singh, 2013). The postharvest life of the fresh fig fruit is normally 7-10 d even when it is stored under low temperatures (Ozkaya *et al.*, 2014).

Some studies have been conducted to investigate the effects of substances applied on figs to improve its postharvest conservation, such as calcium chloride,

fungicides, sodium hypochlorite, and 1-methylcyclopropene (1-MCP) (Gözlekçi *et al.*, 2008; Irfan, 2013; Paula *et al.*, 2007; Watkins, 2008). 1-MCP is an unsaturated cyclic olefin that acts as a competitive ethylene antagonist, i.e. it blocks ethylene receptors and can be used to control ethylene production, respiration rate, and softening and extends the shelf-life of a wide range of fruits (Freiman *et al.*, 2012; Sozzi *et al.*, 2005; Terra *et al.*, 2014; Watkins, 2008). However, 1-MCP applications on fruits may not always have similar results on the postharvest quality since its effect has been shown to vary according to the climacteric fruit species, cultivar, maturation and ripening stages of the fruit, and 1-MCP application forms (Freiman *et al.*, 2012; Sozzi *et al.*, 2005; Watkins, 2006; Zhang *et al.*, 2017).

There are few reports on the postharvest behavior of figs treated with 1-MCP. Gözlekçi *et al.* (2008) showed that 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ of 1-MCP slowed the softening of Bardakci figs and retained fruit firmness during a 15-day storage period in styrofoam trays wrapped with commercial cling film at 0°C and 90-92% relative humidity (RH). D'Aquino *et al.* (2003) treated Bianca figs with 400 $\mu\text{g L}^{-1}$ of 1-MCP at 20°C for 24 h and concluded that 1-MCP treatment of the figs and storage for 7 d at 15°C may improve their storability.

To the best of our knowledge, very few studies have reported on the postharvest management of fresh fig cultivars and even fewer have considered postharvest behavior after 1-MCP-treatment. The aim of this work was to evaluate the effects of 1-MCP applications on the postharvest quality of Roxo-de-Valinhos figs.

MATERIALS AND METHODS

Study area

Figs were harvested from plants grown in a orchard located in Pinhais County, Paraná State, Brazil (25°26' S and 49°16' W; 947 m a.s.l.), with a Cfb Koeppen climate, average temperature of 24°C maximum and 11°C minimum, and annual rainfall average of 1,500 mm. After harvest, the figs were immediately transported to the Postharvest Laboratory for the experiment procedures.

Plant material

The fig trees were 5-year-old Roxo-de-Valinhos cultivars. The plants were cultivated in an organic system, subjected to annual drastic pruning, and spaced at 1×3 m. Annual fertilization was done using cattle manure at 60 L per plant, three times every 60 d starting from August. Diseases were controlled by spraying with lime sulfur after pruning and a Bordeaux mixture during the vegetative and production stages of the fig trees. To control weeds, mechanical weeding in the crop rows and mowing were used, integrated with black oat (*Avena strigosa* L.), planted in July once a year. The figs were hand-harvested on 12 April, 2014, collecting fruits that showed changing skin color, green to reddish, at stage 5 (Freiman *et al.*, 2012).

Experiment description

Harvested figs were separated into lots at the Postharvest Laboratory so that each lot had 10 figs, enabling storage for 0, 4, 8, 12, and 16 d, and they were placed in a paper box. Thereafter, the figs were ready to be treated with 1-MCP.

Postharvest 1-MCP treatments

1-MCP was used in the form of SmartFresh® powder (0.14% active ingredient). The figs were treated

with the 1-MCP solution of the corresponding concentration. The 1-MCP doses were measured with a precision balance, and then they were dissolved in distilled water to obtain each deluded solution. The 1-MCP concentrations were 5, 10, and 20 $\mu\text{g L}^{-1}$. The untreated control (0 $\mu\text{g L}^{-1}$) only used distilled water.

The treatments were applied in plastic gallon containers (70 L), which already contained figs indoor. The 1-MCP solutions were injected into the containers using plastic syringes, which were immediately sealed in order to preserve the vapor of the solutions. Thus, the 1-MCP powder was introduced into a syringe, supplemented with water until a specific volume for the required concentration, and immediately applied to the containers. The duration of treatments was 24 hours.

Storage conditions

Following the 1-MCP treatment, the figs were placed in paper boxes capable of storing 8 fruits and stored at $4\pm 1^\circ\text{C}$ and 90-95% RH for 16 d. For each treatment, three replicates of each sample with 10 figs per replicate were used for the physical and chemical quality analyses; two figs were analyzed immediately post 1-MCP-treatment and the other 8 figs were stored. There were five storage periods (0, 4, 8, 12, and 16 d) in order to evaluate the postharvest quality conservation.

Physical and chemical qualities

For measuring the firmness, total soluble solids (TSS) concentration, total titratable acidity (TTA), and weight loss (Instituto Adolfo Lutz, 2008; Leonel and Tecchio, 2008), samples were periodically withdrawn from the refrigerator and two figs per replicate were used for the analyses every 4 d. The peeled-fruit firmness was determined using a manual penetrometer (PTR-100) with a 7.9-mm-diameter tip and expressed in pounds (lb); the data were multiplied by 4.44 to be expressed in Newton (N). The stored figs were taken from the refrigerator to put them on the penetrometer so that they could be analyzed on the equatorial part of the fruit.

The fruit juice was extracted using a centrifuge to measure the TSS and TTA. The TSS content was measured with a handheld refractometer using a drop of juice and expressed as °Brix. The TTA, expressed as % citric acid, was measured using 100 mL of the solution (10 mL of juice + 90 mL distilled water) that

were immediately titrated with 0.1 N NaOH using three drops of phenolphthalein as an indicator.

The weight loss of the stored figs was analyzed using the relative weight variation (%) of two figs per replicate. These figs also represented a storage period of 16 d. The fruits were weighed at harvest and at every storage period, and the weight loss was also determined. The fruit weights were determined using an electronic balance.

Experiment design

The experiment was carried out as a completely randomized factorial design with three replicates and two figs per replicate. Thus, a 2^2 factorial arrangement was used: (1) 1-MCP concentration with four levels (0, 5, 10, and $20 \mu\text{g L}^{-1}$) and (2) storage period at five levels (0, 4, 8, 12, and 16 d).

Statistical analysis

The data were submitted to analysis of variance (ANOVA) using the Sisvar Statistical Program, version 5.3 (Ferreira, 2010). When treatment effects were detected with ANOVA, multiple comparisons for the mean were done using the Tukey test at a 5% probability level. Regression analysis was used when a qualitative parameter expressed significant effect.

RESULTS AND DISCUSSION

Firmness

The 1-MCP treatments showed no influence on the firmness of the fig fruits. However, there were

significant effects of the 1-MCP treatments on the fig firmness over the different storage periods (Tab. 1). The $20 \mu\text{g L}^{-1}$ 1-MCP treatment showed the best firmness result after 12 d in storage (26,8 N) although the 5 and $10 \mu\text{g L}^{-1}$ of 1-MCP showed similar results to $20 \mu\text{g L}^{-1}$ of 1-MCP after 8 and 16 storage days.

The apparent increase in fruit firmness observed during storage could be related to the fresh weight loss. Fruit shriveling may hamper penetration of a penetrometer tip into figs because weight loss causes laxity and elasticity. Pectins act as a cementing material and are found mainly in the cell wall, being responsible for fruit firmness (Álvarez-Herrera *et al.*, 2016). Thus, the 1-MCP promoted less pectin solubilization in the treated figs, which probably caused delay of the ethylene effect on the pectinase enzymes present in the cell wall; consequently, fruit firmness was promoted (Blum and Ayub, 2009; Oliveira *et al.*, 2005; Terra *et al.*, 2014).

Ribeiro *et al.* (2012) observed that the resistance grape peels increased when they shriveled in their final ripening stage. Brunini *et al.* (2011) also reported that weight loss in pitaya fruit resulted in peel laxity, causing difficulty for penetrometer tip penetration. Brackmann and Saquet (1995) and Jeronimo *et al.* (2007) also studied the firmness of persimmons and mangos, respectively, and suggested that fruit firmness may increase because of fruit shriveling.

Total soluble solids

The results of the present study showed that the 1-MCP treatment influenced the TSS concentration. The °Brix degree reduced with increasing 1-MCP doses, until $12.2 \mu\text{g L}^{-1}$ (Fig. 1). According to Blum and Ayub (2009), 1-MCP exhibits ethylene biosynthesis and consequently affects the rate of starch

Table 1. Effects of the 1-MCP treatments and storage periods on the firmness of ripe figs.

		Firmness (N)				
1-MCP	Storage period (d)					
($\mu\text{g L}^{-1}$)	0	4	8	12	16	
0	16.7 aAB	18.6 abAB	21.0 aA	6.8 bB	7.4 aB	
5	13.0 aAB	22.4 aA	19.9 aAB	21.2 aAB	9.1 aB	
10	16.0 aA	21.9 aA	22.5 aA	15.9 abA	12.3 aA	
20	12.0 aB	9.7 bB	21.1 aAB	26.8 aA	15.5 aAB	

Values followed by the same uppercase letter in a row and lowercase letter in a column are not significantly different from each other according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

degradation, which is responsible for increasing the concentration of TSS. In the present study, 1-MCP likely exhibited ethylene production mainly from the dose of $12.2 \mu\text{g L}^{-1}$. Sisler *et al.* (1996) showed that exposure to 1-MCP for 6 h at 500 mL L^{-1} made bananas insensitive to ethylene for 12 days and carnations for 24 h, but mature-green tomatoes became insensitive to ethylene for 8 days at 5000 mL L^{-1} of 1-MCP. Freiman *et al.* (2012) showed that preharvest untreated and 1-MCP-treated figs showed different concentrations of SS, implying that the level of SS in untreated figs increased significantly (about 22%), but not in treated figs.

The storage periods also demonstrated a significant effect on the SS concentration. The SS levels increased as the 1-MCP doses increased (Fig. 2). Blum and Ayub (2009) also studied the effect of 1-MCP applied on persimmon and observed that SS levels increased for

20 d. The increase of TSS in fruits can be explained by the hydrolysis of various polysaccharides, such as starch, pectins, and other oligosaccharides in the cell wall, which, when solubilized in the aqueous phase, become part of the cellular juice, as well as by starch accumulation during fruit maturation, which degrades into sugars through the enzymatic action of α -amylase, β -amylase, and starch phosphorylase, increasing TSS concentration (Deaquiz *et al.*, 2014). There was no interaction effect of the levels of 1-MCP treatment and storage time.

Total titratable acidity

The acidity of the figs was affected by the interaction between the 1-MCP treatment and storage time (Tab. 2). Higher acidity was observed in the 1-MCP-untreated figs stored for 8 d and in the figs treated with $20 \mu\text{g L}^{-1}$ of 1-MCP stored for 12 d. In general, little

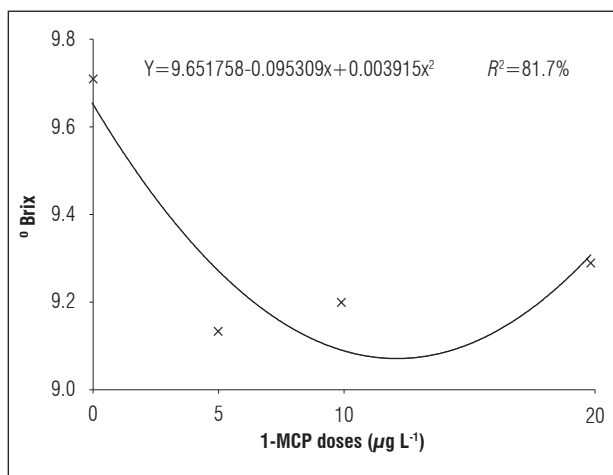


Figure 1. Effects of the 1-MCP treatments on the total soluble solids ($^{\circ}\text{Brix}$) in the ripe figs.

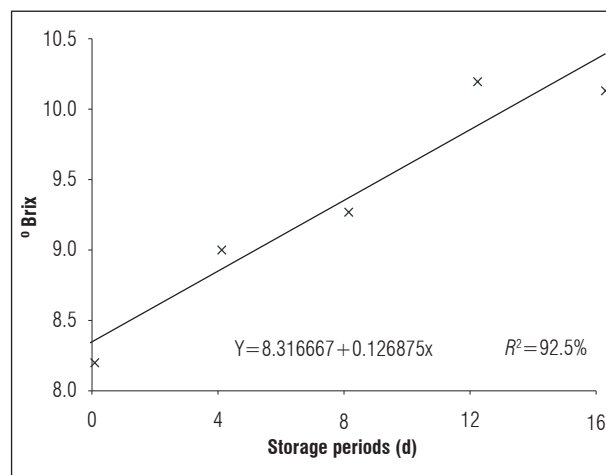


Figure 2. Concentration of total soluble solids ($^{\circ}\text{Brix}$) in the ripe figs after different storage periods after harvest.

Table 2. Effects of the 1-MCP treatments and storage periods on the total titratable acidity (TTA) of ripe figs.

1-MCP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Total titratable acidity (%)				
	Storage period (d)				
	0	4	8	12	16
0	0.17 aC	0.21 abB	0.28 aA	0.17 bC	0.20 aB
5	0.16 aB	0.21 aA	0.21 bA	0.20 aA	0.19 abAB
10	0.16 aB	0.22 aA	0.21 bA	0.18 abB	0.17 bB
20	0.16 aC	0.19 bB	0.22 bA	0.24 aA	0.19 abAB

Values followed by the same uppercase letter in a row and lowercase letter in a column are not significantly different from each other according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

increase in acidity was observed during the initial of storage period and, thereafter, it decreased during the final of storage period for all treatments, indicating an apparent acidity establishment. Candan *et al.* (2011) treated plums with 1-MCP and observed that Royal Zee cultivar fruits showed similar values of TTA in both control and in treated fruits. According to the authors, maintained TTA levels might affect a fruit's final sensory quality. Paula *et al.* (2007) also observed increased acidity initially, and, later, decreasing acidity in figs treated with fungicide and calcium chloride, which they attributed to fruit quality improvement through mainly lower weight loss and higher firmness.

Weight loss

As expected, the fruit weight loss was very prominent as the storage period was prolonged (Fig. 3). Paula *et al.* (2007) also showed similar results. The 1-MCP did not significantly influence the fruit weight loss; neither did the interaction between storage time and 1-MCP. However, Ozkaya *et al.* (2014) showed that a 1-MCP treatment inhibited ethylene evolution and decreased fruit respiration in 'Bursa Siyahi' figs, which likely resulted in less weight loss in the 1-MCP treated fruit. They highlighted the fact that weight loss is one of the most important causes of fruit quality deterioration.

Figs are highly perishable fruits, in which events such as respiration, dehydration, and degradation happen very fast (Gözlekçi *et al.*, 2008; Ozkaya *et*

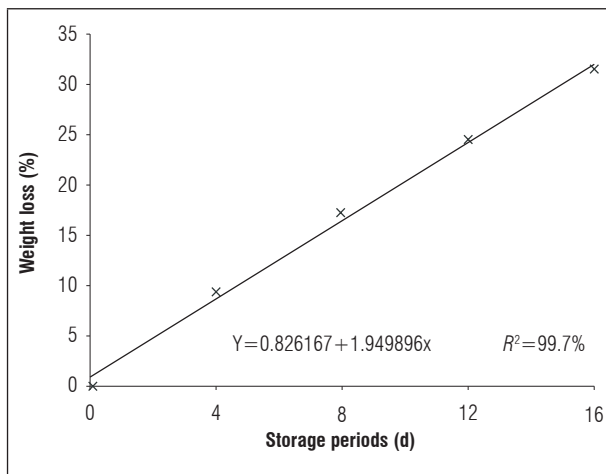


Figure 3. Weight loss in the ripe figs after different storage periods after harvest.

al., 2014). In addition to this, figs are morphologically interesting fruits that have a particular structure called ostiole that increases water loss through evaporation by exudation of a syrupy liquid through this orifice (Campos, 1994; D'Aquino *et al.*, 2003; Freiman *et al.*, 2012). It is possible that the ostiole is one factor masking 1-MCP treatments of fig. For this reason, it may be interesting to investigate the effects of higher 1-MCP-doses and longer treatment periods combined with other techniques, such as bagging or wrapping, on the conservation and quality of Roxo-de-Valinhos figs.

CONCLUSION

The 1-MCP treatment improved the quality (firmness and acidity) of ripe Roxo-de-Valinhos figs during storage. Testing doses higher than $20 \mu\text{g L}^{-1}$ of 1-MCP would be interesting because it was observed that the soluble solids tended to increase from 10 to $20 \mu\text{g L}^{-1}$. On the other hand, the 1-MCP treatment was not able to reduce the high weight loss in the Roxo-de-Valinhos fresh ripe figs.

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

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Álvarez-Herrera, J.G., Y.A. Deaquiz, and A.O. Herrera. 2016. Effect of different 1-methylcyclopropene doses on the postharvest period of pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 69(2), 7975-7983. Doi: 10.15446/rfna.v69n2.59142
- Blum, J. and R.A. Ayub. 2009. Amadurecimento do caqui Quioto tratado com 1-Metilciclopropeno e armazenado à temperatura de $20 \pm 4^\circ\text{C}$. *Ceres* 56(2), 119-123.
- Brackmann, A. and A.A. Saquet. 1995. Efeito da temperatura e condições de atmosfera controlada sobre a conservação de caqui (*Diospyrus kaki*, L.). *Ciênc. Rural* 25(3), 375-378. Doi: 10.1590/S0103-84781995000300007
- Brunini, M.A. and S.S. Cardoso. 2011. Qualidade de pitaias de polpa branca armazenadas em diferentes temperaturas. *Rev. Caatinga* 24(30), 78-84.
- Campos, A.D. 1994. Aspectos pós-colheita do figo. *Informe Agropecuário* 17, 19-21.
- Candan, A.P., J.Graell, and C. Larrigaudière. 2011. Postharvest quality and chilling injury of plums: benefits of

- 1-methylcyclopropene. *Span. J. Agric. Res.* 9(2), 554-564. Doi: 10.5424/sjar/20110902-259-10
- D'Aquino, S., A. Palma, A. Dore, and M. Agabbio. 2003. Non conventional treatments to reduce figs decay. *Acta Hort.* 604, 817-821. Doi: 10.17660/ActaHortic.2003.604.105
- Deaquiz, Y.A., J. Álvarez-Herrera, and G. Fischer. 2014. Ethylene and 1-MCP affects the postharvest behavior of yellow pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Agron. Colomb.* 32(1), 44-51. Doi: 10.15446/agron.colomb.v32n1.41950
- Ferreira, D.F. 2010. *Sisvar. Sistema de análise de variância. Versão 5.3.* UFLA, Lavras-MG, Brazil.
- Freiman, Z.E., V. Rodov, Z. Yablovitz, B. Horev, and M.A. Flaishman. 2012. Preharvest application of 1-methylcyclopropene inhibits ripening and improves keeping quality of 'Brown Turkey' figs (*Ficus carica* L.). *Sci. Hortic.* 138, 266-272. Doi: 10.1016/j.scienta.2012.01.007
- Gözlekçi, S., M. Erkan, I. Karaşahin, and G. Şahin. 2008. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fig (*Ficus carica* 'Bardakci') storage. *Acta Hort.* 798, 325-330. Doi: 10.17660/ActaHortic.2008.798.47
- Instituto Adolfo Lutz. 2008. *Métodos físicos e químicos para análise de alimentos.* Instituto Adolfo Lutz, São Paulo-SP, Brazil.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. 2016. *Sistema IBGE de Recuperação Automática - Sidra.* In: <http://www.sidra.ibge.gov.br>; consulted: July, 2016.
- Irfan, P.K., V. Vanjakshi, M.K. Prakash, R. Ravi, and V.B. Kudachikar. 2013. Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica* L.) during storage and shelf-life. *Postharvest Biol. Technol.* 82, 70-75. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2013.02.008
- Jeronimo, E.M., M.A. Brunini, M.C. de Arruda, J.C.S. Cruz, I.H. Fischer, and G.J. de C. Gava. 2007. Conservação pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas sob atmosfera modificada. *Semin. Ciênc. Agrár.* 28(3), 417-426. Doi: 10.5433/1679-0359.2007v28n3p417
- Leonel, S. and M.A. Tecchio. 2008. Produção da figueira submetida a diferentes épocas de poda e irrigação. *Rev. Bras. Frutic.* 30(4), 1015-1021. Doi: 10.1590/S0100-29452008000400029
- Oliveira, F.E. da R., C.M.P. de Abreu, S.A. Asmar, A.D. Corrêa, and C.D. dos Santos. 2005. Firmeza de pêssegos 'diamante' tratados com 1-MCP. *Rev. Bras. Frutic.* 27(3), 366-368. Doi: 10.1590/S0100-29452005000300007
- Ozkaya, O., S. Çömlekçioglu, and H. Demircioglu. 2014. Assessment of the potential of 1-methylcyclopropene treatments to maintain fruit quality of the common fig. *Not. Bot. Horti. Agrobo.* 42(2), 516. Doi:10.1583/nbha4229647
- Paula, L.A. de, J. dos S. Isepon, and L. de S. Corrêa. 2007. Qualidade pós-colheita de figos do cv Roxo-de-Valinhos com aplicação de cloreto de cálcio e fungicidas. *Acta Sci. Agron.* 29(1), 41-46. Doi: 10.4025/actasciagr.v29i1.64
- Ribeiro, T.P., M.A.C. de Lima, and R.E. Alves. 2012. Maturação e qualidade de uvas para suco em condições tropicais, nos primeiros ciclos de produção. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 47(8), 1057-1065. Doi: 10.1590/S0100-204X2012000800005
- Sharma, S.P. and P. Singh. 2013. Extending the post-harvest life of unrefrigerated fig (*Ficus carica* L.) fruits by modified packaging system in India. *Progress. Res.* 8, 89-94.
- Sisler, E.C., M. Serek, and E. Dupille. 1996. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3,3-dimethylcyclopropene as ethylene antagonists in plants. *Plant Growth Regul.* 18, 169-174. Doi: 10.1007/BF00024378
- Sozzi, G.O., M. A. Abraján-Villaseñor, G.D. Trincherro, and A.A. Fraschina. 2005. Postharvest response of 'Brown Turkey' figs (*Ficus carica* L.) to the inhibition of ethylene perception. *J. Sci. Food Agric.* 85, 2503-2508. Doi: 10.1002/jsfa.2296
- Terra, F.D.A.M., F. K. Edagi, F.F.C. Sasaki, M.E. Frassetto Filho, M. M. da Silva, B. Giro, N.D. Berno, and R.A. Kluge. 2014. Aplicação do 1-metilciclopropeno e sua influência no processo de remoção da adstringência com etanol em caqui 'Giombo' refrigerado. *Ciênc. Rural* 44(2), 210-216. Doi: 10.1590/S0103-84782014000200003
- Watkins, C.B. 2008. Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops. *Hort-Science* 43(1), 86-94.
- Zhang, J., D. Cheng, B. Wang; I. Khan, and Y. Ni. 2017. Ethylene control technologies in extending postharvest shelf life of climacteric fruit. *J. Agric. Food Chem.* 65(34), 7308-7319. Doi: 10.1021/acs.jafc.7b02616

Applications of calcium and boron increase yields of Italian tomato hybrids (*Solanum lycopersicum*) in two growing seasons

Aplicaciones de calcio y boro aumentan la producción de híbridos de tomate Italiano (*Solanum lycopersicum*) en dos temporadas de cultivo

DÉBORA T. ZAMBAN¹
DAIANE PROCHNOW²
BRAULIO O. CARON¹
MÔNICA TURCHETTO³
DANIELE CRISTINA FONTANA^{1,4}
DENISE SCHMIDT¹



Italian tomato fruits with symptoms of apical rot.

Photo: D.T. Zamban

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of boron soil treatments and the frequency of calcium applications on the flowering, agronomic performance, and incidence of blossom end rot in Italian tomato hybrids grown in conventional systems during two growing seasons. Two experiments were carried out in the experimental area of the Federal University of Santa Maria, Frederico Westphalen campus (Brazil) during 2012 and 2013. A randomized block experiment design was used in a $2 \times 2 \times 3 \times 3$ factorial scheme with two hybrids (San Vito and Netuno) in two growing seasons (Spring-Summer and Summer-Fall), three boron doses (0.0, 2.0, or 4.0 g/hole), and three frequencies of calcium application (absence of application, weekly, or biweekly application) with four replicates. The seedlings were transplanted on September 4, 2012 for the Spring-Summer growing season and on January 26, 2013 for the Summer-Fall growing season. The Netuno hybrid was more productive in comparison to the San Vito hybrid, but more susceptible to blossom end rot. Both growing seasons can be recommended for Italian tomato production in Rio Grande do Sul although the Spring-Summer growing season was more productive than the Summer-Fall growing season. The biweekly application frequency of 0.6% CaCl_2 was the best option for fertilizer management, resulting in higher yields

¹ Department of Agronomic and Environmental Sciences, Campus of Frederico Westphalen, Federal University of Santa Maria, Frederico Westphalen-RS (Brazil). ORCID Zamban, D.T.: 0000-0003-1054-6472; ORCID Caron, B.O.: 0000-0002-6557-3294; ORCID Fontana, D.C.: 0000-0003-4285-6299; ORCID Schmidt, D.: 0000-0002-9963-4956

² Department of Plant Science, Center of Genomics and Plant Breeding, Campus of Capão do Leão, Federal University of Pelotas, Capão do Leão-RS (Brazil). ORCID Prochnow, D.: 0000-0002-5109-5789

³ Department of Food Science and Technology, Federal University of Santa Maria, Frederico Westphalen-RS (Brazil). ORCID Turchetto, M.: 0000-0003-3672-5874

⁴ Corresponding author. daani_fontana@hotmail.com

and a lower number of fruits with an incidence of blossom end rot. The increment of the boron dose defined the higher number of fruits per plant and yield increase.

Additional key words: nutrition, fruit production, blossom end rot, Solanaceae.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tratamientos de boro edáfico y frecuencia del calcio foliar en floración, sobre la producción y ocurrencia de la pudrición apical de híbridos de tomate italiano, cultivados en el sistema convencional en dos temporadas de cultivo. Se realizaron dos experimentos en el área experimental perteneciente a la Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen (Brasil), en los años 2012 y 2013. El diseño experimental fue de bloques al azar con un arreglo factorial $2 \times 2 \times 3 \times 3$ cuyos factores fueron dos híbridos (San Vito y Neptuno), en dos épocas de cultivo (primavera-verano y verano-otoño), tres dosis de boro (0; 2,0 y 4,0 g/planta) y tres frecuencias de aplicación de calcio (ausencia de aplicación, aplicación semanal y quincenal) y cuatro repeticiones. El trasplante de plántulas se realizó el día 04 de septiembre de 2012 para la primavera-verano y el 26 de enero para el verano-otoño. El híbrido Neptuno es más productivo en comparación con el híbrido San Vito, pero más susceptible a la pudrición apical. Las dos épocas de cultivo pueden ser recomendadas para el cultivo del tomate italiano en Rio Grande do Sul, aunque el cultivo de primavera-verano presenta mayor productividad cuando se compara al verano-otoño. La frecuencia de aplicación quincenal de CaCl_2 al 0,6% se constituye en la mejor opción de manejo de fertilización, en el sentido de obtener mayor productividad y menor número de frutos con incidencia de pudrición apical. El incremento de la dosis de boro condiciona mayor número de frutos por planta y aumento de la productividad.

Palabras clave adicionales: nutrición, rendimiento, pudrición apical, Solanaceae.

Received for publication: 03-07-2017 Accepted for publication: 30-01-2018

INTRODUCTION

The tomato (*Solanum lycopersicum*) can be cultivated in different cropping systems in several geographic latitudes (Shirahige *et al.*, 2010). The total cultivated area for tomato in Brazil was 55,000 ha in 2015, with the states of Goiás, Minas Gerais, and São Paulo being the largest national producers (MAPA, 2015). The tomato is a very significant crop for the Brazilian population because of its socioeconomic relevance (Schwarz *et al.*, 2013), increasing consumption because of nutritional factors (Iglesias *et al.*, 2015). Among the groups of tomato on the market, the commonly called 'Italian' type, also called the saladette tomato (Filgueira, 2000; Alvarenga, 2004), cultivations have been improving qualities associated with taste, resulting in greater versatility in culinary use (Shirahige *et al.*, 2010).

A number of complex factors and biochemical pathways can influence tomato yields; for example, calcium deficiency can lead to blossom end rot, something that has caused preventable losses for growers. Calcium, upon incorporation into cellular tissue becomes immobile and, thus, there is a need for a constant supply in order to meet fruit growth requirements. Because of the low rate of translocation, the characteristic symptom of calcium deficiency first presents as flaccidity of the tissues at the apical part of immature fruits because of low calcium translocation, which often presents as a light brown irregular soft spot that becomes darker as the fruit grows. Calcium deficiency can also result in internal browning of the fruit (Bresolin *et al.*, 2010).

Plant genetic traits, with respect to the absorption and translocation of calcium to the fruits, also interfere in the occurrence of blossom end rot (Greenleaf and Adams, 1969). Certain cultivars or hybrids function better in calcium deficient environments, and, thus, care needs to be taken when deciding which cultivar will be planted (Giordano *et al.*, 2005). Calcium applied to leaves is first transported by the phloem to new tissues and the flow is linked to the metabolic activity (Dechen and Nachtigall, 2007).

Calcium deficiencies have been studied jointly with boron deficiencies because of similarities of these elements in cell wall functions. According to Yamauchi *et al.* (1986), an absence of boron can decrease the calcium content in the pectin in the cell wall of tomato leaves. Boron deficiencies cause dark lesions and cleavages in fruits and result in a considerable depreciation in tomato yields (Malavolta *et al.*, 1989). Furthermore, boron deficiencies reduce flowering and pollination because boron acts as a regulator in carbohydrate metabolism and translocation (Silva and Faria, 2004).

In southern Brazil, tomatoes are traditionally grown in the Spring when weather conditions are more suitable for the plants, and higher prices of this vegetable are seen during the Fall when greater difficulties for its cultivation are verified, such as low temperatures and less solar radiation than is needed by the crop.

The objective of this study was to evaluate the effect of boron doses applied to the soil and the effect of frequencies of floral calcium application on the agronomic performance and the incidence of blossom end rot in Italian tomato hybrids grown in conventional system in two growing seasons.

MATERIALS AND METHODS

Two experiments were carried out in the field from August, 2012 to May, 2013 in the experimental area of the Federal University of Santa Maria, Frederico Westphalen campus (Brazil), located at 27°23'48" S and 53°25'45" W, at an altitude of 490 m. According to the Köppen climate classification, the climate is subtropical humid (Alvares, 2014) and the predominant soil in the region is classified as typical aluminoferric red Oxisol (Embrapa, 2013).

The experiment design was a randomized block in a 2×2×3×3 factorial scheme with two hybrids in

two growing seasons, three boron doses, and three frequencies of calcium application with four replicates. Each block was composed of four plants for the evaluation. The evaluated hybrids were San Vito and Netuno, both have indeterminate growth habits and belong to the Italian group cultivated in the Spring-Summer and Summer-Fall seasons. Three boron doses were applied to the soil (0.0, 2.0, and 4.0 g/hole) and three frequencies of calcium were applied to the leaves or flowers (absence of application, weekly, and biweekly application).

The boron doses were applied to individual holes when the seedlings were planted. Treatments of 0.6% calcium chloride were applied with a manual sprayer directed at the floral structures; the procedure began during the anthesis period and was carried out until the end of fruiting.

The seedlings were produced in trays containing a commercial substrate, composed of sphagnum peat in a floating system. Soil preparation for plant cultivation was carried out in a conventional system, with plowing, harrowing, and subsequent formation of ridges. Basic and topdressing fertilization were done according to the results of soil analysis. The soil analysis indicated a 6.1 pH, and values for clay of 64%, P of 6.7 mg L⁻¹, K of 239.5 mg L⁻¹, organic matter of 2.9%, cation exchange capacity of 11.3, Ca of 5.7 cmolc L⁻¹, and B of 0.4 mg L⁻¹. The seedlings were transplanted on September 4, 2012 for the first growing season and on January 26, 2013 for the second growing season when they presented approximately five leaves.

The plants were grown vertically with single-stem training by means of a ribbon, single row with spacing of 1.0 m between rows and 0.5 m between plants. Crop irrigation was performed with a drip system. A soil heaping procedure were carried out at 20 d after the transplant, jointly with the first topdressing fertilization, and the other fertilizations were performed at 10 d intervals. General cultivation practices recommended for the crop were carried out through removal of sprouts, plant tips, and bottom leaves. Control of invasive plants and phytosanitary treatments were carried out according to the technical recommendations for the crop.

Meteorological data concerning the two growing seasons were collected from an automatic station of the National Institute of Meteorology (INMET, Brazil) located approximately 300 m from the experimental

site. It was possible to determine the air temperature and global solar radiation values.

The harvest started on November 16, 2012 for the first growing season and April 6, 2013 for the second growing season. The harvest point was characterized by the appearance of a red color on the fruits. The harvests were performed daily in order to assess the agronomic performance of the hybrids. The fruits of each plot were evaluated and the following variables were measured: total number of fruits (TNF), number of commercial fruits (NCF), number of non-commercial fruits (NNCF), number of fruits with blossom end rot (NFBER), mean weight of fruits (MWF), commercial fruit weight (CFW), non-commercial fruit weight (NCFW), fresh weight of fruits (FWF), commercial fruit yield (CFY), and mean fruit diameter (MFD).

The data were submitted to an analysis of variance. If significant, the means were compared by the Tukey test at 5% probability or submitted to a process of regression model adjustment according to the factor assessed by the statistical program SAS (SAS Institute, 2002).

RESULTS

The data on the temperature and incident global solar radiation recorded during the experiment are

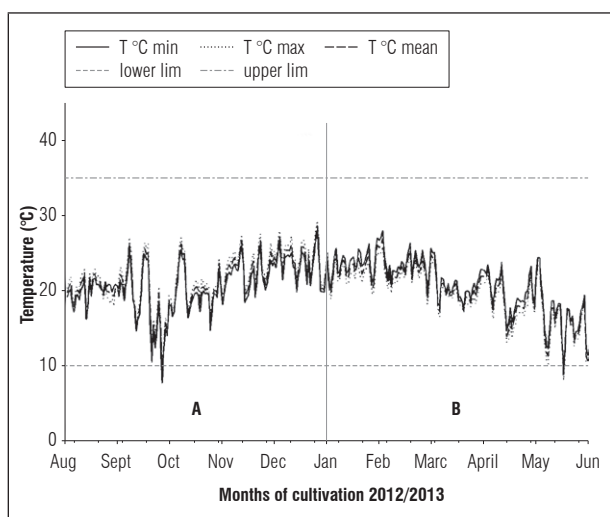


Figure 1. Mean of maximum, mean, and minimum air temperatures recorded during the growing seasons Spring-Summer (A) and Summer-Fall (B), lower limit and upper limit of temperatures during cultivation of Italian tomato hybrids.

shown in figures 1 and 2. The temperature during most of the crop period was tolerable for crop development, 10 to 35°C (Alvarenga, 2004). Temperatures below the tolerable level were recorded for crops at the beginning of the first growing season and from flowering stage until fruit maturation for the second growing season.

The observed incident global solar radiation ranged between a maximum value of 32.4 MJ m⁻² d⁻¹ and a minimum of 0.14 MJ m⁻² d⁻¹ for the first growing season and between the maximum value of 31.5 MJ m⁻² d⁻¹ with a minimum of 1.35 MJ m⁻² d⁻¹ for the second growing season (Fig. 2). In the Spring-Summer growing season, the solar radiation was lower at the beginning of the cycle, while in the Summer-Fall growing season, the solar radiation remained below the trophic limit for several days for the crop during periods of greater demand, such as flowering, fruiting, and fruit maturation.

For the total number of fruits, fresh weight of fruits, and commercial fruit yield, the analysis of variance showed interaction between the factors: hybrid × boron doses, and hybrids × frequency of calcium application. The mean fruit diameter exhibited significant effects for the factors of hybrid and frequencies of calcium application.

There were interactions between the growing seasons × frequency of calcium application and boron doses × frequency of calcium application for the

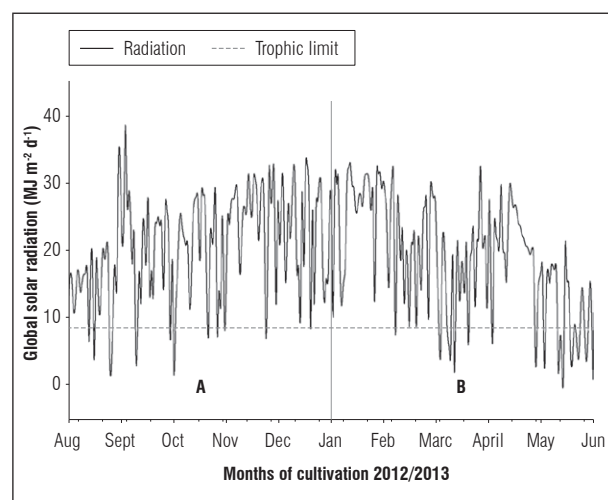


Figure 2. Mean of incident total solar radiation recorded during Spring-Summer (A) and Summer-Fall (B) during cultivation of the Italian tomato hybrids.

number of the production of commercial fruits and fresh weight of fruits. For mean weight of fruits, the interaction was observed for the factors growing seasons \times frequency of calcium application. For the number of non-commercial fruits, non-commercial fruit weight and number of fruits with blossom end rot, an analysis of variance showed interactions between the factors of growing seasons \times frequency of calcium application, hybrids \times frequency of calcium application, and boron doses \times frequency of calcium application.

The hybrid Netuno presented superior performance for the variables mean fruit diameter, fresh weight of fruit, total number of fruits, and commercial fruit yield when compared to the San Vito hybrid (Tab. 1). For the calcium application frequency, the biweekly application was similar to the weekly application, forming tomato fruits with a superior diameter (Tab. 2).

For the control treatment of frequency of application without calcium, the Spring-Summer growing season was superior to the Summer-Fall season for the variable mean weight of fruits (MWF), while the other frequencies presented similar performances in both growing seasons. The highest MWF was

observed with a biweekly application of calcium, which was not statistically different from weekly applications, and the lowest performance was verified in the absence of a calcium application (Tab. 3). For the Summer-Fall growing season, the highest MWF was verified in the biweekly and weekly frequencies of calcium application, which did not statistically differ from one another, and the lowest was verified in the absence of calcium application (Tab. 3).

For the variable commercial fruit weight (CFW), the weekly and biweekly applications provided superior performance in the Spring-Summer growing season. The greatest number of commercial fruits (NCF) and commercial fruit weight (CFW) were observed in the biweekly application of calcium, followed by the weekly application. Without calcium applications, for the variable non-commercial fruit weight (NCFW), there was a greater production of NCFW in the Spring-Summer season when compared to the Summer-Fall growing season. Lower production was observed for the biweekly application of calcium as well as the Summer-Fall growing season where greater NCFW occurred in the absence of calcium applications (Tab. 3).

For the total number of fruits per plant (TNF) as a function of frequency of calcium application, the highest TNF for the growing season was recorded for both the biweekly and weekly applications, differing from the absence of application during the Spring-Summer growing season. For the Summer-Fall season, the TNF/plant was similar to the weekly and biweekly applications, which did not statistically differ from each other and presented a lower TNF without calcium applications (Tab. 3).

The number of fruits with blossom end rot (NFBER) was greater in the Spring-Summer growing season for the treatment without calcium and weekly applications of calcium. The greatest NFBER were observed in the absence of calcium applications for both growing seasons. For the Spring-Summer growing season, the lowest number was observed in biweekly applications, differing statistically from the others. The weekly and biweekly frequencies did not differ for the Summer-Fall growing season (Tab. 3).

For the tested hybrids, Netuno performed better respective to the frequencies of biweekly and weekly calcium applications for the number of fruits per plant (TNF). The lowest TNF was observed in the absence of calcium application, differing statistically

Table 1. Mean fruit diameter (MFD), fresh weight of fruits (FWF), number of commercial fruits (NCF), and commercial fruit yield (CFY) of the Italian tomato hybrids.

Hybrids	Production parameters			
	MFD (cm)	FWF (g/fruit)	NCF/plant	CFY (kg/plant)
Netuno	4.8 a	99.6 a	19.0 a	1.9 a
San Vito	4.3 b	96.4 b	16.1 b	1.6 b
CV (%)	5.94	6.74	14.03	14.61

Means followed by the same letters in the column do not differ from each other according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Table 2. Mean fruit diameter (mm) of the Italian tomato hybrids as a function of the frequency of calcium application.

Frequency of calcium application	MFD (mm)
Without application	44.6 b
Biweekly	46.3 a
Weekly	45.2 ab
CV (%)	5.94

Means followed by the same letters in the column do not differ from each other according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Table 3. Mean fruit weight (MWF), commercial fruit weight (CFW), non-commercial fruit weight (NCFW), number of commercial fruits (NCF), number of non-commercial fruits (NNCF), and number of fruits with blossom end rot (NFBER) per plant as a function of the calcium application frequency and growing seasons Spring-Summer (Spr-Sum) and Summer-Fall (Sum-Fall).

Frequency of CaCl ₂	MWF (g/fruit)		CFW (kg/plant)		NCFW (g/plant)	
	Spr-sum	Sum-fall	Spr-sum	Sum-fall	Spr-sum	Sum-fall
Without	97.4 bA	89.6 bB	1.2 cA	1.1 cA	750.9 aA	576.7 aB
Biweekly	101.4 aA	100.7 aA	2.5 aA	1.9 aB	241.6 cA	276.4 bA
Weekly	100.0 abA	98.7 aA	2.1 bA	1.8 bB	358.6 bA	308.2 bA
CV (%)	6.74		14.61		33.83	
Frequency of CaCl ₂	NCF/plant		NNCF/plant		NFBER/plant	
	Spr-sum	Sum-fall	Spr-sum	Sum-fall	Spr-sum	Sum-fall
Without	11.4 cA	12.2 cA	8.7 aA	7.0 aB	7.9 aA	6.1 aB
Biweekly	24.3 aA	19.3 aB	2.8 cA	3.0 bA	2.1 cA	1.6 bA
Weekly	20.7 bA	17.6 bB	4.1 bA	3.7 bA	3.5 bA	2.1 bB
CV (%)	14.03		29.87		30.3	

Means followed by the same lowercase letters in column and upper case in the row do not differ from each other according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

from the other frequencies. For the San Vito hybrid, the lowest TNF was observed in the absence of a calcium application and the other frequencies presented statistical similarity (Tab. 4).

For the number of non-commercial fruits (NNCF) and number of fruits with blossom end rot (NFBER), the absence of a calcium application and the weekly application in the San Vito hybrid showed the greatest values. The biweekly applications resulted in a similar performance, reducing both NNCF and NFBER. For both tested hybrids, the weekly and

biweekly application frequencies provided lower values of NNCF and NFBER/plant, and differed statistically from the absence of a calcium application (Tab. 4).

The hybrids produced similar fresh weights and commercial fruit yields in the absence of a calcium application. In the weekly and biweekly application frequencies, the Netuno hybrid presented superior performance when compared to San Vito. Both hybrids presented a greater FWF with a biweekly application of calcium followed by the weekly application

Table 4. Total number of fruits (TNF), number of non-commercial fruits (NNCF), number of fruits with blossom end rot (NFBER), fresh weight of fruits (FWF), non-commercial fruit weight (NCFW)/plant, and commercial fruit yield (CFY) as a function of the frequencies of calcium applications and Italian tomato hybrids.

Frequency of CaCl ₂	TNF/plant		NNCF/plant		NFBER/plant	
	Netuno	San Vito	Netuno	San Vito	Netuno	San Vito
Without	19.3 cA	20.1 bA	6.1 aB	9.7 aA	5.1 aB	8.9 aA
Biweekly	25.9 aA	23.5 aB	2.7 bA	3.1 cA	1.5 bA	2.2 cA
Weekly	23.9 bA	22.1 aB	3.2 bB	4.6 bA	1.9 bB	3.6 bA
CV (%)	11.66		29.87		30.3	
Frequency of CaCl ₂	FWF (kg/plant)		NCFW (g/plant)		CFY (t ha ⁻¹)	
	Netuno	San Vito	Netuno	San Vito	Netuno	San Vito
Without	1.8 cA	1.8 cA	534.5 aB	793.1 aA	36.8 cA	36.6 cA
Biweekly	2.6 aA	2.3 aB	243.4 bA	274.6 cA	52.8 aA	47.1 aB
Weekly	2.4 bA	2.1 bB	264.6 bB	402.2 bA	48.5 bA	43.1 bB
CV (%)	11.27		33.83		11.37	

Means followed by the same lowercase letters in the column and upper case in the row do not differ from each other according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

and a lower FFW in the absence of calcium, differing statistically from each other (Tab. 4). The greatest CFY was observed for biweekly applications, reaching 52.8 t ha⁻¹ with Netuno and 47.1 t ha⁻¹ with San Vito.

For the non-commercial fruit weight (NCFW) as a function of the frequency of calcium application for the tested hybrids, the hybrid Netuno presented a lower NCFW in the absence of calcium and with a weekly application; in the biweekly application, the hybrids performed similarly. The San Vito hybrid presented a greater NCFW in the absence of calcium and a lower NCFW in the biweekly application of calcium. The Netuno hybrid exhibited a lower NCFW in the weekly and biweekly applications (Tab. 4).

The plants presented superior production in Spring-Summer when compared to summer-fall for the fresh weight of fruits and the commercial fruit yield during the different growing seasons (Tab. 5).

Table 5. Fresh weight of fruits (FWF) per plant and commercial fruit yield (CFY) of Italian tomato hybrids as a function of the growing seasons.

Growing season	FFW (kg/plant)	CFY (t ha ⁻¹)
Spring-summer	2.4 a	47.9 A
Summer-fall	2.0 b	40.5 B
CV(%)	11.27	11.37

Means followed by the same letters do not differ according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Linearity for the equation of variable total number of fruits (TNF/plant) as a function of the boron doses was verified with the regression analysis. The Netuno hybrid showed an increase of TNF with the addition of a boron dose in the soil, while the San Vito hybrid showed a similar TNF regardless of the boron dose applied (Fig. 3A). A linear regression was observed for the mean number of commercial fruits (NCF) as a function of the applied boron doses; an increase in the boron dose provided an increase in NCF. The dose of 4.0 g of boron/hole produced 18.5 commercial fruits per plant, while the non-boron application yielded 16.0 commercial fruits per plant (Fig. 3B).

Analyzing the fresh weight of fruits (FWF) per plant for different boron doses the San Vito hybrid exhibited a linear regression with an increased FWF according to increments in the boron dose. The Netuno hybrid maintained the FWF independent

of the boron addition, with a mean of 2.2 kg/plant (Fig. 3C).

The Netuno hybrid presented a greater yield with increased boron dosages and exhibited a linear regression, while the yield of the San Vito hybrid was not influenced by the increase of boron doses. The hybrids presented a mean of 44 t ha⁻¹ in the absence of boron and in the addition of 2.0 g boron/hole. On the other hand, with 4.0 g boron/hole, the Netuno hybrid presented a greater yield with a mean of 50 t ha⁻¹ (Fig. 3D).

For the commercial fruit weight (CFW) as a function of frequencies of calcium application for the boron doses, a low accumulation of CFW was observed in the absence of a calcium application, reaching a mean of 1.2 kg/plant. A linear response was observed in the weekly and biweekly applications, represented by a sharp increase in yield according to the application of boron. A higher production of commercial fruit weight was seen in the biweekly application of calcium (Fig. 3E). For the non-commercial fruit weight (NCFW), the mean yield of the three boron doses was 256.6 g/plant and 314.3 g/plant in the weekly and biweekly applications, respectively. A greater NCFW was seen in the absence of boron doses, followed by weekly and biweekly application. There were greater yields in the absence of calcium for the doses of 2.0 and 4.0 g boron than for weekly and biweekly applications (Fig. 3F).

The number of non-commercial fruits (NNCF) per plant as a function of boron doses and frequency of calcium application in the absence of a calcium application presented a crescent linear equation and an increase in NNCF with greater boron doses. Weekly and biweekly calcium applications were not influenced by the applied boron doses (Fig. 3G). The plants produced approximately 7.0 fruits with blossom end rot in the absence of a calcium application, followed by 2.0 and 3.0 fruits, respectively, for biweekly and weekly applications. The boron applications did not affect the availability of calcium or the incidence of blossom end rot (data not shown).

DISCUSSION

During the flowering and beginning of fruiting stage, the mean temperature was within the recommended range for the crop in both growing seasons, which according to Filgueira (2008) and Silva and Nascimento

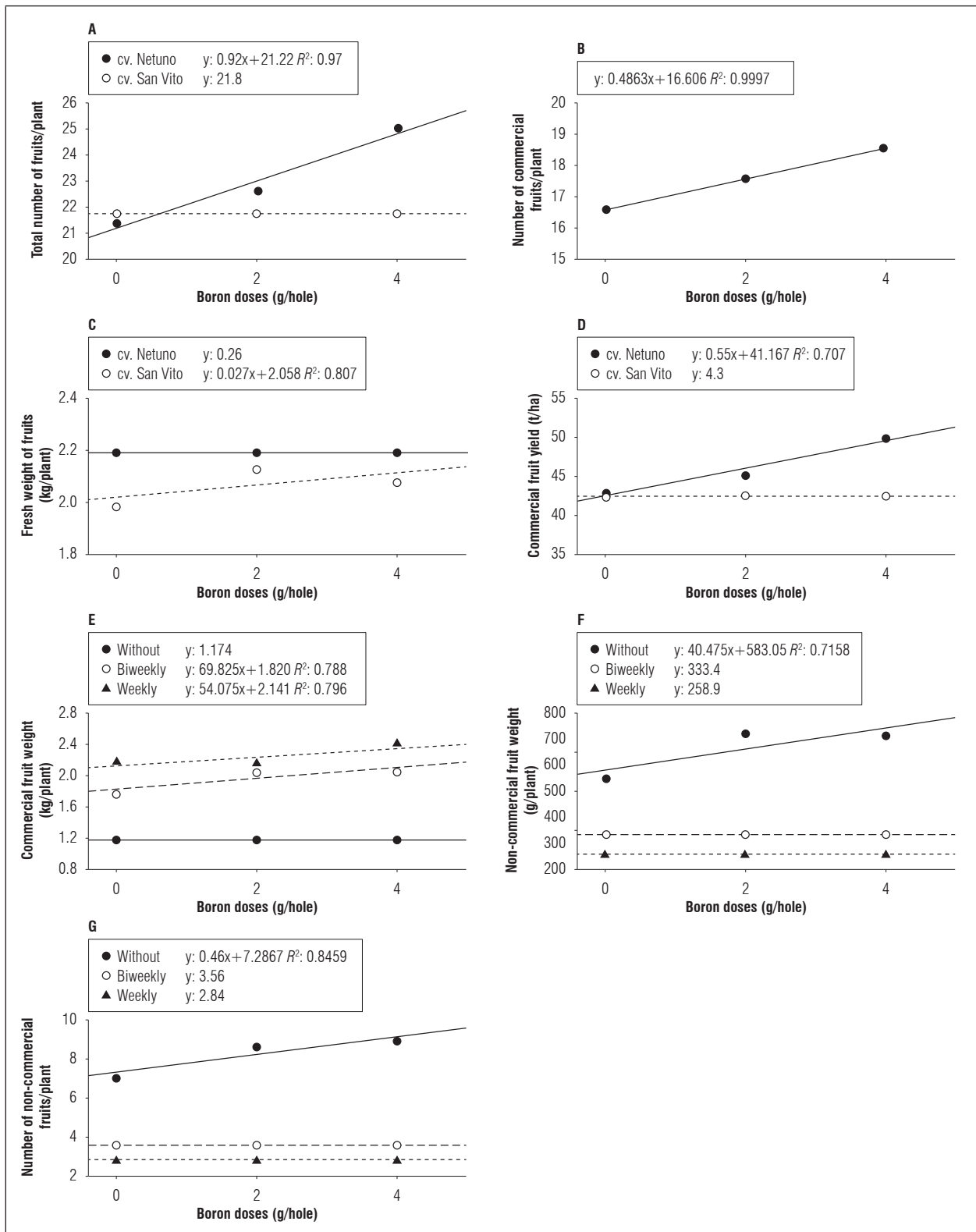


Figure 3. A. Total number of fruits/plant; B. Number of commercial fruits/plant; C. Fresh weight of fruits; D. Commercial fruit yield; E. Commercial fruit weight; F. Non-commercial fruit weight; G. Number of non-commercial fruits/plant of the Italian tomato hybrids as a function of different boron doses and frequency of calcium application.

(2007) is 18 to 24°C. Lower temperatures occurred during the Summer-Fall growing season, with the minimum temperature below the tolerable limit for the crop, which, according to Alvarenga (2004), is 10°C. This event also occurred in the fruit maturation stage because, according to Filgueira (2008), the ideal air temperature is between 20 and 24°C in this stage.

Tomatoes are adapted to warm climates, need a long growing season and its performance is closely related to the air temperature. Metabolic processes are accelerated when temperatures are higher and metabolisms tend to decrease during colder periods (Cruz *et al.*, 2008). When exposed to low temperatures, the species presents shorter internode lengths, decreased plant height, inhibition of fruit formation, and a generally late harvest (Filgueira, 2008).

This species requires approximately $8.4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ of incident solar radiation to produce the minimum quantity of photoassimilates necessary for its maintenance (Andriolo *et al.*, 2000), while the radiation intercepted during the Spring-Summer period is considered ideal. Solar radiation and air temperature are the meteorological variables that most affect tomato growth, development, and yields (Hoogenboom, 2000). According to Andriolo *et al.* (2000), plants that are in full fruiting stage are more demanding of solar radiation than plants at the beginning of vegetative growth. When solar radiation levels are not enough to meet plant demand, competition from photoassimilates occurs between the vegetative parts and the fruits, reducing the rate of emission or fixation of fruits.

The Italian tomato hybrids usually present fruits with a transverse diameter of 3 to 5 cm, as they are mainly consumed fresh and valued for the reduced weight and size (Andreuccett *et al.*, 2005). The commercial fruit weight differed among the hybrids, with Netuno presenting better results than San Vito. The results found for the hybrid Netuno are lower than those observed by Shirahige *et al.* (2010), while San Vito presented a mean weight similar to the data found by Monteiro *et al.* (2008) and those indicated by the manufacturer. According to Embrapa (2003), the San Vito hybrid has a mean weight of 95 to 105; moreover, the fruit diameter and weight are considered genetic traits, explaining the differences found in the performance of the hybrids.

For the number and weight of commercial fruits per plant, the Netuno hybrid is, probably, less susceptible

than San Vito to incident anomalies that can affect commercial production because San Vito is more sensitive to calcium deficiencies (Embrapa, 2003). The greater number of fruits produced by the Netuno hybrid is likely a result of its greater efficiency in fruit fixation. The data agreed with Silva *et al.* (2012) who evaluated Italian tomato hybrids in protected cultivation and reported that the San Vito hybrid presented a higher incidence of blossom end rot when compared to the others hybrids.

In the assessment of calcium applications in the saladette hybrid group, Silva *et al.* (2009) verified that calcium supply provided formation of fruits with a diameter greater than 40 mm, whereas the absence decreased the mean diameter of the fruits, which corroborate with the results seen in the present study. The calcium applications applied to floral provided fruit production with a larger diameter in comparison to those produced in the absence of calcium.

Calcium is essential for the maintenance of plasma membrane stability (Marschner, 1986). This element, when properly supplied, provides greater fruit establishment, greater growth, and a lower incidence of physiological disorders, along with an increasing number and weight of commercial fruits. The values obtained in this study contradict the data found by Arruda Júnior *et al.* (2011) who evaluated the saladette hybrid group and verified that, as the calcium dose increases, a decrease in the mean weight of fruits is observed.

Among other functions, calcium acts on flower fixation, acting on pollen grain germination and pollen tube growth (Malavolta *et al.*, 1997). The biweekly application of calcium provided a greater sugar accumulation in the fruit and greater fresh weight of fruits in relation to the absence of calcium. An over-application of calcium doses may have occurred in the weekly application, where biweekly applications had already met the nutritional requirements of the hybrids. The foliar application of CaCl_2 (0.6%) + borax (0.2%) resulted in the maximum plant height, branches per plant, flowers, fruits, fruit mass, yield, fruit firmness and total soluble solids and the lowest incidence of rot (Rab and Haq, 2012).

The number of fruits produced is a direct consequence of the index of fruit fixation of the plant. Contradictory data were found by Plese *et al.* (1997) in saladette type tomatoes, where the weekly application of CaCl_2 provided a greater number of fruits per plant.

In the Spring-Summer growing season, non-limiting solar radiation and elevated temperatures stimulated greater commercial fruit production. These factors did not adversely affect the physiological processes of the plant, and likely resulted in a greater amount of photoassimilates. This likely increase of photoassimilates in the plant provided a greater quantity of fruits per raceme, increased fruit size, and improvement in fruit quality, increasing commercial production (Caliman, 2003), as well as productivity, and production per plant. In the Spring-Summer growing season, the highest incidence of diseases was seen; this affected the maturation and the final quality of the fruits.

During the Summer-Fall growing season, a reduction in the availability of solar radiation and the occurrence of lower temperatures resulted in a reduction in the metabolism, formation of smaller fruits, slow ripening, and reduced productivity, which justifies the observed results.

The occurrence of higher temperatures in the Spring-Summer growing season was responsible for the increase in the transpiration rate and, consequently, stomata closure, decreasing the transpiratory flow; therefore, the lower absorption and translocation of calcium likely caused blossom end rot (Taiz and Zeiger, 2013). High temperatures (above 30°C) can lead to physiological disorders such as fruit yellowing, poor development, and hollow fruits (Embrapa, 2003). Furthermore, Carrijo *et al.* (2004) verified higher values of incidence than those found in this study, varying from 8.3 to 15 fruits with blossom end rot per plant.

Blossom end rot is considered one of the most important physiological disorders in tomato. The disorder is caused by calcium deficiency in fruits and is characterized by the appearance of necrotic tissue in the distal part of the fruit (Saure, 2001). One of the recommendations to correct calcium deficiencies is by spraying, as observed by Borkowski (1984), with 0.5% calcium chloride directed at the floral stem. The control of this disorder is important because blossom end rot is one of the components that most influences the reduction of tomato productivity (Loos *et al.*, 2008).

The yield observed in the present study can be considered adequate since the mean tomato yield in the state of Rio Grande do Sul in 2012, according to IBGE (2012), was 44.7 t ha⁻¹. The data obtained in Spring-Summer growing season were above the State mean, while, in the Summer-Fall season, the yield was

lower. Assessing the performance of Italian tomato in the field, Machado *et al.* (2007) found a mean yield of 75 and 83 t ha⁻¹ respectively for the Heinz 9780 and Kátia cultivars, which was greater than those found in the present study.

Although the yield in this study is considered adequate, the data were lower than those found by Machado *et al.* (2007) who cultivated Italian tomatoes in the field and found 28 and 32 fruits per plant respectively for the Heinz 9780 and Katia cultivars.

The proper supply of boron is of great importance because micronutrients significantly affect tomato productivity, quality, and quantity of fruits (Silva and Faria, 2004). Boron is important for pollination, fruit development, pollen tube growth, fruiting processes, and hormonal activities and has an essential role in the absorption and use of calcium (Galli *et al.*, 2012). There is poor flowering and pollination when a boron deficiency is present, and, consequently, there are lower rates of fruit fixation in the plant, lower amount of fruits per plant, and reduced fruit sizes and a greater incidence of open loci (Silva and Faria, 2004). Higher boron leaf spray rates showed a reduction in the incidence of defects (Huang and Snapp, 2004).

The elements boron and calcium act together in fruit formation, reducing the incidence of poor fruit formation and rot. According to Ramon (1990), a deficiency or excess of boron leads to a deficiency of calcium, which has a fundamental role in cell walls. The deterioration of the membranes of fruit cells occurs especially in newly formed fruits, with a consequent loss of turgor and leakage of cellular liquid (Saure, 2001). Boron deficiencies are responsible for changes in calcium translocation in shoots and fruits. In addition, boron deficiencies can cause a decrease in calcium content for leaves which affect processes of absorption and translocation in the plant (Yamauchi *et al.*, 1986).

An inadequate nutrient supply of calcium and boron can contribute to a reduction in yield because of lower rates of fruit production (Laviola and Dias, 2008). Values different than those found in this study were observed by Plese *et al.* (1998) because they were able to further reduce the occurrence of blossom end rot in tomatoes with the addition of boron and calcium. Inadequate supplies of calcium and boron contribute to a reduction in the production of commercial fruits (Laviola and Dias, 2008).

Soil correction and supply with boron sources and sprays with calcium solution in the floral stems are fundamental for ensuring high yields.

CONCLUSIONS

The Netuno hybrid is more productive in comparison to the San Vito hybrid, but more susceptible to blossom end rot.

The growing seasons of Spring-Summer and Summer-Fall can be recommended for Italian tomato cultivation in Rio Grande do Sul because they achieve yields close to the statewide means.

The frequency of the biweekly applications of 0.6% CaCl₂ is the best option for fertilizer management when attempting to improve yields and maintain a lower number of fruits with an incidence of blossom end rot.

Increment doses of boron up to 4 g/hole increased the yields of the Italian tomato hybrids.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for its scholarship.

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

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Alvarenga, M.A.R. 2004. Origem, botânica e descrição da plantas. In: Alvarenga, M.A.R. (ed.). Tomate: produção em campo, em casa de vegetação e em hidropônia. UFLA Lavras-MG, Brazil.
- Alvares, C.A., J.L. Stape, P.C. Sentelhas, J.L.M. Gonçalves, and G. Sparovek. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschr.* 22 (6), 711-728. Doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Andreuccett, C., M.D. Ferreira, A.S.D. Gutierrez, and M. Tavares. 2005. Caracterização da comercialização de tomate de mesa na CEAGESP: perfil dos atacadistas. *Hortic. Bras.* 23, 324-328. Doi: 10.1590/S0102-05362005000200033
- Andriolo, J.L., L. Ludke, T.S. Duarte, and E.C. Skrebsky. 2000. Posição dos frutos e seu efeito na repartição da matéria seca da planta do tomateiro. *Ciênc. Rural* 30 (2), 235-240. Doi: 10.1590/S0103-84782000000200007
- Arruda Júnior, S.J., E.B. Neto, L.P. Barreto, and L.V. Resende. 2011. Podridão apical e produtividade do tomateiro em função dos teores de cálcio e amônio. *Rev. Caatinga* 24 (4), 20-26.
- Borkowski, J. 1984. Study on the calcium uptake dynamic by tomato fruits and blossom end rot control. *Acta Hortic.* 145, 222-229. Doi: 10.17660/ActaHortic.1984.145.23
- Bresolin, M. 2010. O cultivo do tomate indústria na região da serra do nordeste do Estado do Rio Grande do Sul - Porto Alegre. Boletim técnico. FEPAGRO, UCS, Caxias do Sul-RS, Brazil.
- Caliman, F.R.B. 2003. Produção e qualidade de frutos de genótipos de tomateiro em ambiente protegido e no campo. Tese de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brazil.
- Carrijo, O.A., M.C. Vidal, N.V.B. Reis, R.B. Souza, and N. Makishima. 2004. Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casas de vegetação. *Hortic. Bras.* 22(1), 5-9. Doi: 10.1590/S0102-05362004000100001
- Cruz, J.C., I.A. Pereira Filho, R.C. Alvarenga, M.M. Gontijo Neto, M.F. Oliveira, and W.J.R. Matrangolo. 2008. Manejo da cultura do milho. In: Cruz, J.C. (ed.). Cultivo do milho. 4 ed. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG, Brazil.
- Dechen, A.R. and G.R. Nachtigall. 2007. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: Novais, R.F., V.V.H. Alvarez, N.F. Barros, R.L.F. Fontes, R.B. Cantarutti, and J.C.L. Neves (eds.). Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, Brazil.
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro-RJ, Brazil.
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2003. Cultivo de tomate para industrialização. Embrapa Hortaliças, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, Brasília-DF, Brazil.
- Filgueira F.A.R. 2008. Novo Manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. UFV, Viçosa-MG, Brazil.
- Galli, J.A., M.C.A. Palharini, I.H. Fischer, M.D. Michelotto, and A.L.M. Martins. 2012. Boro: efeito na produção e qualidade de frutos de diferentes variedades de manga. *Pesqu. Tecnol.* 9(2).
- Giordano, L.B., L.S. Boiteux, J.B.C. Silva, and O.A. Carrijo. 2005. Seleção de linhagens com tolerância ao calor em germoplasma de tomateiro coletado na região Norte do Brasil. *Hortic. Bras.* 23, 105-107. Doi: 10.1590/S0102-05362005000100022

- Greenleaf, W.H. and F. Adams. 1969. Genetic Control of blossom-end rot disease in tomatoes through calcium metabolism. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94, 248-250.
- Hoogenboom, G. 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. *Agric. For. Meteorol.* 103 (1), 137-157. Doi: 10.1016/S0168-1923(00)00108-8
- Huang, J.S. and S.S. Snapp. 2004. The effect of boron, calcium, and surface moisture on shoulder check, a quality defect in fresh-market tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129, 599-607.
- IBGE. 2012. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística; Cepagro (Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Rio de Janeiro-RJ, Brazil.
- Iglesias, M.J., J. García-López, J.F. Collados-Luján, F. López-Ortiz, M. Díaz, F. Toresano, and F. Camacho. 2015. Differential response to environmental and nutritional factors of high-quality tomato varieties. *Food Chem.* 176, 278-287. Doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.043
- Laviola, B.G. and L.A. Santos Dias. 2008. Teor e Acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-mansão. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 32(5), 1969-1975. Doi: 10.1590/S0100-06832008000500018
- Loos, R.A., D.J.H. Silva, P.C.R. Fontes, and M.C. Picanço. 2008. Identificação e quantificação dos componentes de perdas de produção do tomateiro em ambiente protegido. *Hortic. Bras.* 26(2), 281-286. Doi: 10.1590/S0102-05362008000200031
- Machado, A.Q., M.A.R. Alvarenga, and C.E.T. Florentino. 2007. Produção de tomate italiano (saladete) sob diferentes densidades de plantio e sistemas de poda visando ao consumo in natura. *Hortic. Bras.* 25, 149-153. Doi: 10.1590/S0102-05362007000200004
- Malavolta, E., G.C. Vitti, and S. De Oliveira. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba-SP, Brazil.
- Malavolta, E., G.C. Vitti, and S.A. Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba-SP, Brazil.
- MAPA. 2015. Tomate. In: [http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/perfil_tomate_mar_2015\[1\].pdf](http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/perfil_tomate_mar_2015[1].pdf); consulted: Abril, 2016.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, UK.
- Monteiro, C.S., M.E. Balbi, O.G. Miguel, P.T.P.S. Pentead, and S.M.C. Haracemiv. 2008. Nutritional quality the antioxidants of the tomato "Italian type". *Alim. Nutr.* 19, 25-31.
- Plese, L.P.M., C.S. Tiritan, E.I. Yassuda, L.I. Prochnow, J.E. Corrente, and S.C. Mello. 1997. Efeitos das aplicações de cálcio e de boro na ocorrência de podridão apical e produção de tomate em estufa. In: XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo.
- Plese, L.P.M., C.S. Tiritan, E.I. Yassuda, L.I. Prochnow, J.E. Corrente, and S.C. Mello. 1998. Efeitos das aplicações de cálcio e de boro na ocorrência de podridão apical e produção de tomate em estufa. *Sci. Agríc.* 55(1), 144-148. Doi: 10.1590/S0103-90161998000100023
- Rab, A. and I.U. Haq. 2012. Foliar application of calcium chloride and borax influences plant growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. *Turk. J. Agric. For.* 36, 695-701.
- Ramon, A.M., R.O. Carpena-Ruiz, and A. Garate. 1990. The effects of short term deficiency of boron on potassium, calcium and magnesium distribution in leaves and roots of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants. *Dev. Plant Soil Sci.* 21, 287-290. Doi: 10.1007/978-94-009-0585-6_48
- SAS Institute. 2002. SAS user's guide: statistics. Version 9.0. Cary, NC, USA.
- Saure, M.C. 2001. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) - a calcium- or a stress-related disorder? *Sci. Hortic.* 90(3), 193-208. Doi: 10.1016/S0304-4238(01)00227-8
- Schwarz, K., J.T.V. Resende, A.P. Preczenhak, J.T. Paula, M.V. Faria, and O.M. Dias. 2013. Desempenho agrônomico e qualidade físico-química de híbridos de tomateiro em cultivo rasteiro. *Hortic. Bras.* 31, 410-418. Doi: 10.1590/S0102-05362013000300011
- Shirahige, F.H., A.M.T. Melo, L.F.V. Purquerio, C.R.L. Carvalho, and P.C.T. Melo. 2010. Produtividade e qualidade de tomates Santa Cruz e Italiano em função do raleio de frutos. *Hortic. Bras.* 28, 292-298. Doi: 10.1590/S0102-05362010000300009
- Silva, D.J. and C.M.B. Faria. 2004. Nutrição, calagem e adubação. In: Mouco, M.A.C. (ed.). Cultivo da mangueira. Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE, Brazil.
- Silva, G.P., F.V. Resende, R.B. Souza, J.O. Albuquerque, M.C. Vidal, and J.M.M. Sousa. 2012. Desempenho agrônomico de híbridos de tomate italiano sob cultivo protegido em solo com cobertura viva de amendoim forrageiro no sistema orgânico de produção. *Hortic. Bras.* 30, S8389-S8394.
- Silva, M.W., C.J. Jadoski, E.O. Ono, and R. Goto. 2009. Cálcio, boro e reguladores vegetais na fixação de frutos em tomateiro. *Pesqu. Aplicada Agrotecnol.* 2(3), 103-112.
- Silva, S.C. and D.J. Nascimento. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Rev. Bras. Zootecnia* 36, 121-138. Doi: 10.1590/S1516-35982007001000014
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2013. Fisiologia vegetal. 5ª ed. Artmed, Porto Alegre-RS, Brazil.
- Yamauchi, T., T. Hara, and Y. Sonida. 1986. Distribution of calcium and boron in the pectin fraction of tomato leaf cell wall. *Plant Cell Physiol.* 27(4), 729-732. Doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a077155

Organic compost addition to raw rice husk substrate for tomato (*Solanum lycopersicum*) hybrid variety cultivation in a leach recirculating system

Adición de compost orgánico al sustrato de cáscara de arroz crudo para el cultivo de variedades híbridas de tomate (*Solanum lycopersicum*) en sistema con recirculación del lixiviado

FERNANDA CARINI^{1, 6}
ROBERTA MARINS NOGUEIRA PEIL²
GABRIEL NACHTIGAL MARQUES³
PAULO ROBERTO GROLI⁴
RAFAELA SCHMIDT DE SOUZA⁵



Beefsteak tomatoes in substrate cultivation.

Photo: F. Carini

ABSTRACT

The addition of organic compost (OC) to raw rice husk (RRH) may benefit the production of a tomato crop by conferring a greater buffer capacity and water holding capacity to the substrate in a leach recirculation system. At the same time, the selection of varieties that respond positively to the proposed technology is required. The objective of this work was to study the effects of adding OC to RRH on the physical and chemical properties of substrate [by comparing RRH (100%) and the mixture of RRH (80%) + OC (20%)] and on growth and yield responses of four tomato hybrid varieties [Ivety, Sofhia-F3, Sheila Victoria, and Lumi (Sakata® Seed)]. The chemical and physical properties of substrates, plant dry matter production and partitioning, fruit number, mean weight and yield, and fruit total soluble solids (TSS) content were evaluated. Fruit grading and harvest distribution along the crop cycle were also performed. The addition of OC improved the physical and chemical properties of the substrate. However, it did not affect the major growth and

¹ Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS (Brazil). Bolsista CNPQ. ORCID Carini, F.: 0000-0001-6000-7747

² Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS (Brazil). Bolsista de Produtividade em Pesquisa CNPQ. ORCID Peil, R.M.N.: 0000-0002-4855-3638

³ Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), Vacaria-RS (Brazil). ORCID Marques, G.N.: 0000-0002-5531-4475

⁴ Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS (Brazil). ORCID Grolli, P.R.: 0000-0002-5695-9072

⁵ Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS (Brazil). ORCID Souza, R.S.d.: 0000-0001-7009-3191

⁶ Corresponding author. carini.fc@gmail.com

productive characteristics of the crop. All four varieties presented similar growth and fruit yield, but Sheila Victoria stood out as having the highest TSS. The yields were considered high, ranging from 6.3 kg/plant for Sophya and Sheila Victoria, 6.5 kg/plant for Lumi, to 7.6 kg/plant for Ivety. The results indicated that the addition of OC to RRH is unnecessary and that the four varieties adapted similarly to the proposed system.

Additional key words: closed system, plant growth, fruit yield, fruit quality.

RESUMEN

La adición de compost orgánico (CO) a la cáscara de arroz cruda (CAC) podría traer beneficios productivos al cultivo del tomate, al conferirle mayor poder buffer y capacidad de retención de agua al sustrato en sistemas con recirculación del lixiviado. Asimismo, es necesaria la elección de variedades que respondan positivamente a la tecnología propuesta. El objetivo del presente trabajo fue estudiar los efectos de la adición del CO a la CAC sobre las características físicas y químicas del sustrato [a través de la comparación entre la CAIN (100%) y la mezcla de CAC (80%) + CO (20%)] sobre el crecimiento y el comportamiento productivo de cuatro híbridos de tomate salado [Ivety, Sofhia-F3, Sheila Victoria y Lumi (Sakata® Seed)]. Se evaluaron las características químicas y físicas de los sustratos, la producción (tamaño, número, peso y rendimiento de frutos a lo largo de la cosecha), partición de la materia seca y la concentración de sólidos solubles totales (SST). La adición de CO mejoró las características físicas y químicas del sustrato, pero no afectó las principales variables del crecimiento y de la producción de la hortaliza. Las cuatro variedades presentaron similar crecimiento y rendimiento de frutos pero Sheila Victoria presentó la mayor concentración de SST. El rendimiento obtenido se considera alto, con rangos que van desde 6,3 kg/planta para las variedades Sophya-F3 y Sheila Victoria, 6,5 kg/planta para la variedad Lumi, y 7,6 kg/planta obtenido con la variedad Ivety. Los resultados indican que es innecesaria la adición de CO a la CAC y que las cuatro variedades se adaptan de forma similar al sistema propuesto.

Palabras clave adicionales: sistema cerrado, crecimiento, producción, calidad de fruto.

Received for publication: 28-06-2017 Accepted for publication: 30-01-2018

INTRODUCTION

According to FAOSTAT (2012), Brazil is among the ten greatest producers of tomato (*Solanum lycopersicum*), reaching an annual production of over 3.5 million tons. In the beefsteak tomato segment, fruit quality and a steady supply to the market are factors that may ensure the success of production (Guimarães *et al.*, 2008; Schwarz *et al.*, 2013). In order to achieve high quality fruit yield, the choice of varieties adapted to the region that effectively respond to the technology and management that are used is necessary.

In recent years, among the technologies adopted in the search for better crop production, substrate cultivation under a protected environment has been advancing at an accelerated rate. It reduces the

occurrence of soil pathogens, enables the reduction of pesticide applications, increases the efficient use of inputs, and provides more stable harvests (Genuncio *et al.*, 2010; Lúcio *et al.*, 2012).

However, the use of recipients containing commercial substrates or coconut fiber in open cultivation systems (the drained nutrient solution is leached into the environment) is the most common technology adopted by Brazilian farmers. This, in addition to causing a high waste of water and fertilizers, may cause significant environmental impacts.

Thus, the development of closed cultivation systems, *i.e.* systems that promote the collection and reuse of a drained nutrient solution, is essential. However,

there is a need to adjust the substrate because materials with both a high cation exchange capacity and high water holding capacity because of the reuse of the drained nutrient solution may cause salinization of the root medium.

Raw rice husk, a low-cost, easily available material in Rio Grande do Sul, has been used alone as a cultivation substrate with a high degree of success for other fruit plants (Duarte *et al.*, 2008; Strassburger *et al.*, 2011), and even for small tomato varieties (Peil *et al.*, 2014) in closed systems. However, the presence of organic compost at a small ratio in the mixture should increase the substrate buffer capacity and facilitate nutrient solution management, increasing water and mineral nutrients storage capacity and, therefore, enhancing crop yield. On the other hand, it could also accelerate the decomposition of the rice husk with negative consequences on the chemical and physical characteristics of the substrate and cause nutritional deficiencies to the crop, particularly nitrogen.

According to Kämpf (2005), the evaluation of the physical and chemical properties of substrates is required to know and select materials that could be used as a substrate, observe the effects of interactions among components, define the irrigation management and monitor fertility.

The objective of this study was to analyze the effects of adding organic compost to raw rice husk in a closed soil-less cultivation system on the physical and chemical properties of the substrate and on the growth and yield responses of four beefsteak tomato hybrid varieties.

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted from July, 2014 to April, 2015 in a 200 m² plastic greenhouse located at 31°48' S and 53°49' W, with an altitude of 15 m a.s.l. According to the Köppen classification, the climate corresponded to CFA, humid subtropical with hot summers without a defined dry season. The temperature and air humidity inside the greenhouse during the experiment were recorded, with means of 39.6 and 3.0°C of maximum and minimum temperature, and means of 95 and 32% of maximum and minimum air humidity, respectively.

A randomized block 2×4 factorial experimental design was used with four replications. The substrate

was the first experimental factor, with two levels, and the second was the beefsteak tomato hybrid variety, with four levels. The levels of the factor substrate were raw rice husk used alone (100%) and a mixture of raw rice husk with organic compost based on orange juice industry waste "Ecocitrus" at a ratio of 80/20% (v/v). Since there is no previous research on OC addition to RRH for tomato crops, the ratio 80/20% was established based on previous indications for strawberry cultivation in closed soilless growing systems (Marques and Peil, 2016). The levels of the factor variety were Ivety, Sofhia-F3, Sheila Victoria and Lumi (Sakata Seed®). The substrate factor was allocated to the plot (16 plants) and the variety factor to the subplots (four plants). The experiment was bordered by a row of border plants.

On October 30, 2014, plants with 5-6 true leaves were individually transplanted to 8 L pots containing 500 mL of washed gravel on the base and 6 L of the studied substrates. Previous to the plant setting, the RRH in a 10 cm layer was solarized for seven days on the greenhouse floor. Since it was material from a composting process, the OC were considered free of plant plague and pathogens. The pots were placed in 12 wooden growing troughs (0.35 m wide and 7.5 m long), arranged in six double lines, with 1.2 m between the double lines and 0.50 m between the single lines. The troughs had a slope of 2% and were internally waterproofed with double-faced white-black plastic. Two 500 L tanks were placed at the lowest passage point of the system. In each growing trough, 16 pots were arranged with 0.30 m plant spacing, resulting in a 3.94 plants/m² density.

The solution was adapted from Rocha *et al.* (2010) for tomato crop. It had the following composition of macronutrients (in mmol L⁻¹): 14.0 of NO₃⁻; 1.15 of H₂PO₄⁻; 1.75 of SO₄²⁻; 1.15 of NH₄⁺; 7.0 of K⁺; 3.5 of Ca²⁺; 1.75 of Mg²⁺; and micronutrients (in mg L⁻¹): 3.0 of Fe; 0.5 of Mn; 0.05 of Zn; 0.15 of B; 0.02 of Cu; and 0.01 of Mo. The electrical conductivity was kept at 1.8 dS m⁻¹ and the pH was kept between 5.5 and 6.5.

The plants were only trained with the main stem and stacked vertically with a plastic stake attached to a wire about 3.0 m above the crop row. The plants were topped two leaves above the twelfth truss.

Two central plants from each replication were selected for evaluations. The fruits were harvested in a uniform maturation stage (completely red), counted

and weighed on a balance. The equatorial diameter of the fruits was measured with an analog caliper rule. The fruits were classified according to the CEAGESP Classification Standard (2003), excluding fruits that had cracks, rot spots, blossom-end rot, symptoms of diseases, damage from cold, radial cracks or holes. The soluble solids content was also analyzed with a manual refractometer (Akso Produtos Eletrônicos Ltda., São Leopoldo-RS, Brazil).

The accumulated shoot dry matter of the control plants was assessed at the end of the experiment (167 days after setting; das). The plants were separated into three fractions: leaves, stems and fruits. The leaf area was evaluated using a LI-COR model LI-3000C (LI-COR, Lincoln, NE, USA). The fractions were dried in a forced ventilation oven at 60°C until constant weight. The fruits harvested during the production process and the material from defoliation were added to the corresponding fractions. The shoot total dry matter of the plant corresponded to the sum of the masses of leaves, stems and fruits. From these analyses, the dry matter distribution among the aerial organs of the plants and leaf area index of the crop were determined.

The analysis of physical properties of substrates was done at the Laboratory of Substrates for Plants, in Porto Alegre-RS (Brazil). The following parameters were determined: wet density, dry matter, dry density, total porosity, aeration space, easily available water and water holding capacity. The Soil Chemistry Laboratory performed the chemical analyses in Pelotas-RS (Brazil). The following determinations (according the International Growing Media, Composting and Substrate Analysis) were made: organic

carbon, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, total calcium, total magnesium, total copper, total zinc, total iron, manganese, and C/N ratio. For both the physical and chemical properties, three samples of 3 L of each substrate were analyzed. The samples were collected at two times: at the setting day (0 das), collecting randomized samples from each substrate pile before the plant cultivation; and at end of the crop cycle (168 das), collecting the samples directly from pots chosen at random.

The data were submitted to analysis of the mathematical assumptions (normality and homogeneity), followed by analysis of variance (ANOVA), and the averages were compared with a Tukey test at 5% significance using Action and Assisat (version 7.7 beta) according to Silva and Azevedo (2002).

RESULTS AND DISCUSSION

For the physical properties of the substrates at the beginning of the experiment, the addition of organic compost to RRH greatly increased wet density, dry density, easily available water and water holding capacity (Tab. 1). On the other hand, it decreased porosity and practically did not alter the dry matter of the substrate. These changes are basically attributed to the fact that, because it is a thicker organic material with smaller particles, the OC fills the spaces between the particles of rice husk, increasing the water holding capacity by increasing the percentage of micropores.

For both substrates, the analysis at the end of the crop cycle showed that there was a similar reduction

Table 1. Physical properties of the raw rice husk substrates(RRH) and the mixture of raw rice husk with organic compost (RRH + OC), zero and 168 days after setting (das) of tomato crop in a closed soilless growing system.

Physical properties	Substrates			
	RRH		RRH+OC	
	0 das	168 das	0 das	168 das
Wet density (g L ⁻¹)	114.0	108.0	282.0	275.0
Dry matter (g 100 g ⁻¹)	89.0	55.0	87.0	54.0
Dry density (g L ⁻¹)	102.0	59.0	246.0	148.0
Total porosity (m ³ m ⁻³)	0.85	0.73	0.79	0.77
Aeration space (m ³ m ⁻³)	0.70	0.63	0.45	0.43
Easily available water (m ³ m ⁻³)	0.07	0.02	0.20	0.11
Water holding capacity at 10 cm (m ³ m ⁻³)	0.15	0.11	0.34	0.33

in percentage values for wet density, dry density and dry weight. However, the addition of organic compost to the RRH provided a greater physical stability to the substrate since it presented less reduction in porosity values, aeration space, easily available water and water holding capacity in relation to what was verified for the RRH substrate used alone. The greatest reduction in total porosity of the RRH after cultivation was probably due to the decrease in the aeration space that was occupied by the decomposed material or by the breakdown of the structure of the husks during the crop cycle.

The ideal dry density described by Kämpf (2005) for substrates in pots for plants grown in a greenhouse is 150 g L^{-1} . The RRH presented a value close to this at the beginning of the crop cycle, while for RRH + OC this occurred only after the end of cultivation.

The easily available water values decreased after cultivation for both substrates. For RRH, the decrease from 0.07 to $0.02 \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)}$ may have been due to water retention within the husk structure since, during the growth period, it was in constant contact with the nutrition solution, a fact that did not occur at the beginning of the study. For RRH + OC, the reduction of the easily available water percentage (0.20 to $0.11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}\text{}$) may have ascribed to the accommodation of the particles of the two materials during plant

cultivation, increasing the percentage of micropores that may have retained water at tensions above 100 cm of water column.

For the chemical properties (Tab. 2), the addition of OC raised the pH and electrical conductivity of the substrate at the beginning of crop cycle. The OC fibers retained the nutrient solution more easily, thereby causing an increase of 0.18 dS m^{-1} in the electrical conductivity of the substrate prior to use, as compared with the isolated RRH.

The pH values decreased for both substrates at the end of the crop cycle, but more sharply for RRH + OC. This greater pH decreased for RRH + OC may be attributed to a higher material degradation resulting from the presence of the microorganisms from OC and to the greater need for an acid solution to correct the pH of this substrate more frequently. Usually, pH values from 5.5 to 6.5 are considered the most suitable for substrates (Fermino, 2014). In the case of the addition to raw rice husk, conditioning materials that have pH values lower than those presented by the OC used in this research, around 4.0 , should be employed to reduce the use of an acid correction solution.

The analysis of the chemical composition of the substrate before cultivation indicated that the addition

Table 2. Chemical composition of the raw rice husk (RRH) and of the mixture of raw rice husk with organic compost (RRH + OC) substrates, zero and 168 days after setting (das) of tomato crop in a closed soilless growing system.

Chemical properties	Substrate			
	RRH		RRH+OC	
	0 das	168 das	0 das	168 das
Electrical conductivity (dS m^{-1})	0.06	0.23	0.24	0.61
pH (H_2O)	6.55	6.39	7.38	6.73
Organic carbon (g kg^{-1})	455.46	439.62	342.00	308.88
Nitrogen (%)	4.28	8.21	8.75	13.21
Phosphorus (%)	0.92	0.69	2.80	4.50
Potassium (%)	2.22	1.26	4.27	3.02
Calcium (%)	0.88	4.51	27.55	142.30
Magnesium (%)	0.67	0.84	6.48	4.03
Copper (mg kg^{-1})	6.17	6.86	23.14	28.42
Zinc (mg kg^{-1})	9.93	9.05	29.78	48.61
Iron (mg kg^{-1})	294.46	233.36	3,393.15	3,407.79
Manganese (mg kg^{-1})	271.29	140.13	271.29	269.73
Ratio C/N	106:1	53:1	39:1	23:1

of the organic compost to the RRH reduced the level of organic carbon and the C/N ratio. However, it elevated the levels of all mineral elements, with special emphasis on calcium and iron.

The analysis of the chemical composition of the substrates after their use indicates that the RRH used alone had a low nutrient adsorption capacity, except for nitrogen and calcium. The increase of calcium and nitrogen can be ascribed to the higher amount of these elements in the nutrient solution. Furthermore, potassium demand was proportionally higher than nitrogen and calcium demand during fruit growth, which resulted in higher levels of both elements in the substrate at the end of crop cycle. The levels of phosphorus, potassium, magnesium, copper, zinc, iron and manganese at the end of cultivation were similar or lower than the initial values. On the other hand, the presence of organic compost in the substrate provided a significant increase in the levels of nitrogen, phosphorus, calcium, copper, and zinc, and reduced potassium and magnesium levels. The microorganism activity of the OC enhanced the decomposition of the organic material, which possibly increased the availability of some elements. Moreover, the colloidal characteristics of the OC benefited the adsorption of ions. The decreased of potassium and magnesium suggests the use of these elements for the nutrition of microorganisms themselves. The level of iron remained virtually unchanged in the RRH + OC substrate. The data indicated that the organic compost provided a greater retention of chemical elements when compared with the final RRH values.

According to Fermino (2014), organic compost is the result of a process of composting of plant or animal waste; specifically, in this case, waste from the processing industry of oranges (juice). The composting process decomposes organic matter, facilitating the release of nutrient elements and forming colloids that increase the cation exchange capacity of the substrate, favoring the adsorption of elements. The higher density of the RRH + OC mixture, along with its chemical composition and the presence of colloids, increased the initial nutrient levels and the nutrient retention process. However, in the case of growing in a substrate reusing the drain solution, these characteristics may hinder the management of the nutrient solution because of strong changes in its composition resulting from the influence of the compost. It may even present salinity problems in longer cycles, making it difficult to reuse the substrate in successive crop cycles.

The analysis of variance indicated that there was no significant interaction between the substrate and variety factors for all of the analyzed growth and productive variables. The interaction was statistically significant only for the factors substrate x class and cultivar x class in the classification of the fruits according to the CEAGESP Classification Standard (2003).

For the plant growth results (Tab. 3), the addition of OC to the RRH increased production of leaf dry matter (DM), the proportional dry matter partitioning to the leaves and the leaf area index (LAI). However, it did not affect fruit and stem DM production and partitioning.

The varieties did not differ statistically for fruit DM production. However, the Ivety variety was superior to the others for leaf DM and, together with Sheyla, for stem DM production. Nevertheless, the varieties did not differ in LAI, total plant DM production or proportional DM partitioning for fruits. The fruits accounted for 58-64% of DM produced by the shoot, coinciding with the results previously obtained for other beefsteak tomato varieties (Andriolo *et al.*, 2003; Aguirre *et al.*, 2012; Lucena *et al.*, 2013; Soares *et al.*, 2013). The fruits can be considered as the most powerful photoassimilate sink. This is a decisive factor for planning and choosing varieties since their productive performance is a direct response to a higher proportion of assimilates accumulated in the fruits.

For the fruit production variables fruit number, fruit mean weight, marketable yield and fruit total soluble solid contents (Tab. 4), it was found that the addition of organic compost caused no significant effects. Different responses among varieties for these variables were also not observed, except for total soluble solid contents (TSS): the variety Sheila Victoria, with 5.0 °Brix, was superior to Sophya (4.5 °Brix) and Lumi (4.6 °Brix) varieties, without differing from the Ivety (4.8 °Brix) variety. The responses resemble those of Genuncio *et al.* (2010), who observed that only TSS statistically differed among the evaluated fruit production variables of three beefsteak tomato varieties. According to Alvarenga (2013), the TSS contents of fresh tomatoes usually remain between 3.0 and 4.5 °Brix. Previous results for fruits produced in open field conditions indicate values of 3.8 °Brix for the variety Santa Clara (Ferreira *et al.*, 2006) and 4° Brix for the variety Fanni F1 (Guimarães *et al.*, 2008). The high TSS values found for the varieties described in this study refer to fruits

Table 3. Effects of organic compost (OC) addition to the raw rice husk (RRH) substrate and the tomato beefsteak variety on the production and dry matter partitioning among the different above-ground organs and leaf area index (LAI) of plants grown in a closed soilless system.

Factor	Dry matter production (g/plant)				Dry matter partitioning (%)			
	Fruits	Leaves	Stem	Total	Fruits	Leaves	Stem	LAI
Substrate								
RRH	370.9 a	131.7 b	100.2 a	588.7 a	61.0 a	21.9 b	17.1 a	3.14 b
RRH+OC	367.2 a	151.6 a	99.7 a	603.3 a	59.0 a	24.5 a	16.5 a	4.34 a
Variety								
Ivety	412.6 a	185.8 a	101.6 a	700.3 a	58.5 a	26.8 a	14.7 b	4.14 a
Sophya	384.6 a	112.8 b	96.9 b	564.8 a	64.0 a	19.2 b	16.8 ab	3.13 a
Sheila Victoria	336.2 a	133.8 b	101.5 a	560.7 a	58.2 a	23.6 ab	18.2 a	4.53 a
Lumi	342.8 a	134.3 b	99.8 ab	558.1 a	59.4 a	23.2 ab	17.4 ab	3.16 a
CV (%)	24.4	15.7	2.5	17.1	8.2	14.1	15.0	28.6

Means followed by identical letters in the same column did not differ according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Table 4. Effect of organic compost addition (OC) to the raw rice husk (RRH) substrate and beefsteak tomato variety on the number, mean weight, marketable yield and total soluble solid contents (TSS) of fruits in a closed soilless growing system.

Factor	Number of fruits/plant	Fruit mean weight (g/fruit)	Marketable yield (g/plant)	SST (°Brix)
Substrate				
RRH	50.8 a	129.4 a	6,637.3 a	4.8 a
RRH+OC	48.8 a	133.2 a	6,731.6 a	4.7 a
Cultivar				
Ivety	50.9 a	135.4 a	7,656.4 a	4.8 ab
Sophya	53.5 a	118.7 a	6,299.1 a	4.5 b
Sheila Victoria	45.6 a	137.2 a	6,311.1 a	5.0 a
Lumi	49.1 a	133.5 a	6,471.1 a	4.6 b
CV (%)	15.0	11.1	17.4	0.3

Means followed vertically by identical letters did not differ according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

harvested during the full red coloring or deep red stages, in which the physiological processes occur naturally. According to Paula *et al.* (2015), fruits harvested with a yellowish-green tinge have a longer postharvest life and a higher resistance to transport. However, fruits have better characteristics for taste quality when they complete their maturation (red stage) while still on the plant.

The mean fresh weight of the fruits was below the range 210-230 g. This is the range reported by the seed breeding company for the evaluated varieties in field trials. It shows that new adaptations of the growing system and/or the crop management may

be necessary for the studied varieties to fully expose their genetic potential. However, the marketable yield may be considered quite high, ranging from 6.3 kg/plant (248.2 t ha⁻¹) for the Sophya and Sheila Victoria varieties, 6.5 kg/plant (256.1 t ha⁻¹) for the Lumi variety, to 7.6 kg/plant (299.4 t ha⁻¹) for the Ivety variety. Other studies using soilless cultivation systems reported a production of 3.3 kg/plant for both the Monte Carlo variety grown in organic substrate (Plantmax® Company, Brazil) (Rattin *et al.*, 2003) and the Santa Clara variety grown in a hydroponic system (Genuncio *et al.*, 2010). Lima *et al.* (2011) obtained a fruit yield of 5.7 kg/plant for the Venus variety grown in a coconut fiber substrate.

Tables 5 and 6 show the percentage classification of the fruits according to the equatorial diameter, considering the substrate x class effect and class x cultivar effect, respectively.

The fruit standard required by the Brazilian market excludes fruits with a diameter less than 40 mm and greater than 100 mm (Paula, 2015). The intermediate classes are preferred because of their convenience during the preparation of food. All fruits without defects obtained in the experiment were within the commercial classes (40-99 mm).

The addition of the organic compost to the substrate increased the percentage of fruits in class 70, with a reduction of fruits in class 50. This did not interfere with the percentage of fruits from other classes (Tab. 5).

All of the tested varieties presented the highest percentage of fruits in class 60, with no statistical differences. In this class, the percentage varied from 49.1 to 64.9% (Tab. 6). Thus, most of the harvested fruits can be considered as having a medium size according to the classification proposed by Andreuccetti *et al.* (2004) for Debora and Carmen beefsteak varieties.

Approximately 80% of the fruits of the Ivety and Sheila Victoria varieties remained in classes 60 and 70. However, most Sophya and Lumi fruits remained in classes 50 and 60.

Despite the presence of physical and chemical properties that are considered more suitable for a standard substrate provided by the organic compost (Kämpf, 2005), there was no significant effect on most of the analyzed growth variables or fruit production characteristics (Tab. 4). This may be attributed to the high frequency of nutrient solution supply imposed by a low water holding capacity of the RRH substrate (Tab. 1), which provided adequate amounts of water and nutrients. The high frequency of irrigation is not a problem in recirculating systems since the leach solution is reused. There is, however, a greater expenditure of electric power. Moreover, the fact that the organic compost is not needed is beneficial since this material is usually expensive and makes more difficult to manage the nutrient solution. Moreover, its composition varies. On the other hand, in the case of growers with electrical distribution irregularities, the substrate with the addition of organic compost may favor the retention of water, which is more suitable to the crop over a longer period.

Table 5. Classification percentage based on the equatorial diameter of the beefsteak tomato fruits grown in the raw rice husk (RRH) and the mixture of RRH and organic compost (RRH + OC) substrate in a closed soilless cultivation system.

Substrate	Class							
	0	40	50	60	70	80	90	100
RRH	0.0 aG	2.3 aD	21.8 aB	59.7 aA	14.6 bC	1.3 aE	0.5 aF	0.0 aG
RRH+OC	0.0 aG	2.3 aD	16.9 bC	56.8 bA	22.1 aB	1.3 aE	0.8 aF	0.0 aG

Classes express the equatorial diameter (mm): 0 (smaller than 40 mm), 40 (≥ 40 up to 50), 50 (≥ 50 up to 60), 60 (≥ 60 up to 70), 70 (≥ 70 up to 80), 80 (≥ 80 up to 90), 90 (≥ 90 up to 100) and 100 (> 100).

Means followed vertically by identical lowercase letter and horizontally by capital letters did not differ statistically according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Table 6. Classification percentage based on the fruit equatorial diameter of four hybrid varieties of beefsteak tomato grown in a closed substrate cultivation system.

Variety	Class							
	0	40	50	60	70	80	90	100
Ivety	0.0 aG	1.5 dD	9.5 dC	61.4 bA	24.9 aB	1.3 bE	1.3 aE	0.0 aG
Sophya	0.0 aG	3.6 aD	33.6 aB	49.3 dA	12.3 dC	1.2 cE	0.5 bF	0.0 aG
Sheila Victoria	0.0 aG	2.3 bD	17.9 bC	57.4 cA	20.2 bB	1.9 aE	0.5 bF	0.0 aG
Lumi	0.0 aG	2.02 cD	16.39 cB	64.9 aA	15.9 cC	0.8 dE	0.5 bF	0.0 aG

Classes express the equatorial diameter (mm): 0 (smaller than 40 mm), 40 (≥ 40 up to 50), 50 (≥ 50 up to 60), 60 (≥ 60 up to 70), 70 (≥ 70 up to 80), 80 (≥ 80 up to 90), 90 (≥ 90 up to 100) and 100 (> 100).

Means followed vertically by identical lowercase letter and horizontally by capital letters did not differ statistically according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

CONCLUSIONS

The addition of organic compost to raw rice husk improves the physical and chemical properties of the substrate. However, it does not affect the main growth and fruit production characteristics of the crop. Therefore, it is unnecessary for the closed soilless growing system conditions under which the experiment was conducted. The four hybrid varieties of beefsteak tomato evaluated in this study (Ivety, Sheila Victoria, Sophya and Lumi) presented similar fruit growth and production, but Sheila Victoria stood out because it produced fruits with the highest soluble solids content. The obtained yields were considered high, indicating that all four varieties are adapted to the proposed system.

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

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Aguirre, N.C. and F.A.V. Cabrera. 2012. Evaluating the fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*. 65(2), 6599-6610.
- Alvarenga, M.A.R. 2013. *Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia*. 2th. ed. UFLA, Lavras-MG, Brazil.
- Andreuccetti, C., M.D. Ferreira, A.S.D. Guitierrez, and M. Tavares. 2004. Classificação e padronização dos tomates cv. Carmem e Débora dentro da CEAGESP-SP. *Eng. Agríc.* 24(3), 790-798. Doi: 10.1590/S0100-69162004000300033
- Andriolo, J.L., M. Wilter, T. Dal Ross, and R.S. Godói. 2003. Crescimento e desenvolvimento do tomateiro cultivado em substrato com reutilização da solução nutritiva drenada. *Hort. Bras.* 21(3), 485-489. Doi: 10.1590/S0102-05362003000300015
- CEAGESP. 2003. Norma de classificação do tomate. CQC/CEAGESP, São Paulo-SP, Brazil.
- Duarte, T.S., R.M.N. Peil, S. Bacchis, and A.S. Strasburger. 2008. Efeito da carga de frutos e concentrações salinas no crescimento do meloeiro cultivado em substrato. *Hortic. Bras.* 26(3), 348-353. Doi: 10.1590/S0102-05362008000300011
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2012. In: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>; consulted: August, 2016.
- Fermino, M.H. 2014. *Substratos: composição, caracterização e métodos de análise.*: Agrolivros Guaíba, Porto Alegre-RS, Brazil.
- Ferreira, M.M.M., G.B. Ferreira, P.C.R. Fontes, and J.P. Dantas. 2006. Qualidade do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. *Hortic. Bras.* 24(2), 141-145. Doi: 10.1590/S0102-05362006000200003
- Genuncio, G.C., R.A.C. Silva, N.M. Sá. E. Zonta, and A. P. Araújo. 2010. Produção de cultivares de tomateiro em hidroponia e fertirrigação sob razões de nitrogênio e potássio. *Hortic. Bras.* 28(4), 446-452. Doi: 10.1590/S0102-05362010000400012
- Guimarães, M.A., J.H., Silva, P.C.R Fontes, and A.P. Matiedi. 2008. Produtividade e sabor dos frutos de tomate do grupo salada em função de podas. *Bioscience J.* 24(1), 32-38.
- Kämpf, A.N. 2005. *Produção comercial de plantas ornamentais*. 2th. ed. Agrolivros Guaíba, Porto Alegre-RS, Brazil.
- Lima, A.A., M.A.R. Alvarenga, L. Rodrigues, and J.G. Carvalho. 2011. Concentração de nutrientes e produtividade de tomateiro cultivado sob diferentes substratos e doses de ácido húmico. *Hortic. Bras.* 29(1), 63-69. Doi: 10.1590/S010205362011000100011
- Lucena, R.R.M., M.Z. Negreiros, J.F. Medeiros, T.M.V. Batista, A.T.M. Bessa, and W.A.R. Lopes. 2013. Acúmulo de massa seca e nutrientes pelo tomateiro 'SM - 16' cultivado em solo com diferentes coberturas. *Hortic. Bras.* 31(3), 401-409. Doi: 10.1590/S0102-05362013000300010
- Lúcio, A.D., F.M. Haesbaert, D. Santos, D.V. Schwertner, and R. R. Brunos. 2012. Tamanhos de amostra e de parcela para variáveis de crescimento e produtivas de tomateiro. *Hortic. Bras.* 30(4), 660-668. Doi: 10.1590/S0102-05362012000400016
- Marques, G.N. and R.M N. Peil. 2016. Sistemas de cultivo aberto e fechado. In: Rampazzo, E.F (ed.). *Cultivo de morangueiro em substrato*. SENAR-PR, Curitiba-PR, Brazil.
- Paula, J.T., J.T.V. Resende, M.V. Faria, A.S.T. Figueiredo, K. Schwarz, and E.R. Neumann. 2015. Características físico-químicas e compostos bioativos em frutos de tomateiro colhidos em diferentes estádios de maturação. *Hortic. Bras.* 33(4), 434-440 Doi: 10.1590/S0102-053620150000400005
- Peil, R.M.N., A.A.R. Albuquerque Neto, and C. V. Romaldi. 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
- Rattin, J.E., J.L. Andriolo, and M. Witter. 2003. Acumulação de massa seca e rendimento de frutos de tomateiro cultivado em substrato com cinco doses de solução nutritiva. *Hortic. Bras.* 21(1), 26-30. Doi: 10.1590/S010205362003000100005

- Rocha, M.Q., R.M.N. Peil, and C. M. Cogo. 2010. Rendimento do tomate cereja em função do cacho floral e da concentração de nutrientes em hidroponia. *Hortic. Bras.*, 28(4), 466-471. Doi: 10.1590/S0102-05362010000400015
- Schwarz, K., J.T.V. Resende, A.P. Preczenhak, J.T. Paula, and D.M. Dias. 2013. Desempenho agrônômico e qualidade físico-química de híbridos de tomateiro em cultivo protegido. *Hortic. Bras.* 31(3), 410-418. Doi: 10.1590/FS0102-05362013000300011
- Silva, F. de S. and C.A.V. de Azevedo. 2002. Versão do programa computacional ASSISTAT para o sistema operacional Windows. *Rev. Bras. Prod. Agroind.* 4(1), 71-78. Doi: 10.15871/1517-8595/rbpa.v4n1p71-78
- Soares, M.A., M.Z. Negreiros, A.R.L. Welder, J.L.D. Dombroski, and R.R.M. Lucena. 2013. Crescimento do tomateiro cultivado em solo coberto com polipropileno preto. *Rev. Ciênc. Agron.* 44(4), 790-797. Doi: 10.1590/S1806-66902013000400016
- Strassburger, A.S., R.M.N. Peil, L.A. Fonseca, T.Z. Aumonde, and C.R. Mauch. 2011. Dinâmica do crescimento da abobrinha italiana em duas estações de cultivo. *Acta Scientiarum* 33(2), 283-289. Doi: 10.4025/actasciagron.v33i2.5952

Flujo de savia y potencial hídrico en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero

Sap flow and water potential in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions

CRISTIAN ALEJANDRO CUELLAR-MURCIA¹
JUAN CARLOS SUÁREZ-SALAZAR^{1,2}

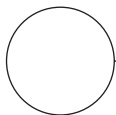
Plantas de tomate tipo chonto cultivadas bajo condiciones de invernadero en el piedemonte amazónico.

Foto: J.C. Suarez-Salazar



RESUMEN

El tomate es una de las hortalizas más importantes en el mundo, constituye un gran escalafón en la producción hortícola, en Colombia se reportó un área cultivada de 8.992 ha con una producción de 345.291 t. Este cultivo se desarrolla en su mayoría bajo condiciones controladas (invernaderos) requiriendo ciertos volúmenes de agua que puede ser limitantes al no realizar un monitoreo del estatus hídrico, siendo este último, información para la programación del riego. Por ello con el objeto de predecir el comportamiento del potencial hídrico del xilema (Ψ) y flujo de savia (F_{H_2O}) en relación a las variables ambientales ($RAFA$, HR_w , T_w , DPV) se utilizó un modelo mecánico de flujo de agua en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero en el piedemonte amazónico colombiano (Florencia, Caquetá). Las tendencias diarias monitoreadas se mantuvieron entre los 64,7 a 225,4 g h⁻¹ y -1,2 a -0,34 MPa para F_{H_2O} y Ψ respectivamente, al modelar el comportamiento de las variables estas fueron entre rangos de -0,38 a -1,30 MPa para Ψ y 58,46 a 208,55 g h⁻¹ para F_{H_2O} , siendo estos altamente correlacionados ($P < 0,0001$). El uso del modelo mecánico de flujo de agua en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero demostró ser estadística y fisiológicamente viable para para entender la demanda hídrica diaria el cual dependió de las variables ambientales.



Palabras clave adicionales: modelamiento, estatus hídrico, variables ambientales.

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad de la Amazonia, Florencia (Colombia). ORCID Cuellar-Murcia, C.A.: 0000-0001-8982-8629; ORCID Suárez-Salazar, J.C.: 0000-0001-5928-1837

² Autor para correspondencia. juansuarez1@gmail.com

ABSTRACT

The tomato is one of the most important horticultural fruits in the world, with large scale horticultural production in Colombia, as seen in the cultivated area of 8,992 and 345,291 t produced. The development of this crop requires production areas under controlled conditions (greenhouses) because it is important to monitor the water status of the plants to achieve successful development. In order to predict the behavior of the water potential of xylem (ψ) and sap flow (F_{H_2O}) in relation to environmental variables ($RAFA$, HR_w , T_w , DPV), a mechanical model of water flow in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) was used under greenhouse conditions in Colombian Amazon piedmont (Florencia, Caquetá). The daily-monitored trends remained between 64.7 and 225.4 g h⁻¹ and -1.2 to -0.34 MPa for F_{H_2O} and ψ , respectively. To model the behavior of the variables, these trends were between -0.38 and -1.30 MPa for ψ and 58.46 and 208.55 g h⁻¹ for F_{H_2O} , which were highly correlated ($P < 0,0001$). The use of a mechanical model of water flow in tomato plants under greenhouse conditions proved to be statistically and physiologically feasible for understanding the daily water demand and so can be a source of information when designing irrigation plans.

Additional key words: modeling, water status, environmental variables.

Fecha de recepción: 13-10-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

El tomate es una de las hortalizas más importantes en el mundo, constituye un gran escalafón en la producción hortícola, con alrededor de 4,7 millones de hectáreas sembradas y 163,9 millones de toneladas de frutos cosechados, donde se destacan principalmente cuatro países productores; China, India, Turquía y Nigeria con una participación del 20,9; 18,8; 6,6 y 5,8%, respectivamente (FAOSTAT, 2015). Según el DANE (2016) para el año 2015 en Colombia se reportó un área cultivada de 8.992 ha con una producción de 345.291 t. Para el desarrollo de este cultivo se requiere áreas de producción bajo condiciones controladas (invernaderos) para controlar variables ambientales como también el recurso hídrico. Este último se hace necesario monitorear para conocer el estatus hídrico ya que provee información para la programación del riego (Meng *et al.*, 2017).

El estatus hídrico de la planta de tomate es monitoreado mediante el flujo de savia y el potencial hídrico (De Swaef *et al.*, 2012) que expresan la velocidad y fuerza del agua, los cuales dependen del proceso de transpiración (Ballester *et al.*, 2013), afectando el balance hídrico. Este proceso fisiológico es fluctuante durante el día debido a los cambios en la radiación, la precipitación, la temperatura, la humedad del aire y entre otros factores (Both *et al.*, 2015). Monitorear los cambios de estatus hídrico es una herramienta de

suma importancia a la hora de establecer programas de riego los cuales pueden ser obtenidos mediante modelos matemáticos utilizando como variables de respuesta el flujo de savia y el potencial hídrico junto con las variables ambientales (De Swaef y Steppe, 2010; De Swaef *et al.*, 2013).

Una adecuada explicación del comportamiento del flujo de agua en especies vegetales mediante modelos matemáticos ha sido de amplio interés (De Swaef *et al.*, 2010, 2012, 2014; Steppe *et al.*, 2005, 2010), implicando una exhaustiva validación de los modelos por medio de pruebas experimentales (De Swaef *et al.*, 2015). En algunos estudios de especies leñosas se ha explicado exitosamente el estatus hídrico por medio de predicciones hechas a partir de las mediciones diarias del flujo de savia, el diámetro de tallo y el potencial hídrico del tallo y suelo (Steppe *et al.*, 2005; Verbeeck *et al.*, 2007; Vandegheuchte *et al.*, 2014), siendo igualmente explicado en el cultivo del tomate (De Swaef y Steppe, 2010; De Swaef *et al.*, 2013). En este sentido, el uso de modelos de predicción es capaz de ajustarse a diferentes especies y condiciones ambientales para expresar el estado hídrico en las plantas (De Swaef *et al.*, 2014). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue predecir el comportamiento del flujo de savia y potencial hídrico en relación a las variables ambientales en plantas de tomate bajo

condiciones de invernadero en el piedemonte amazónico colombiano (Florencia, Caquetá) mediante un modelo mecánico de flujo de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

Las mediciones se realizaron en plantas de tomate en el Centro de Investigaciones CIMAZ Macagual, Universidad de la Amazonía, Colombia (1°37' N y 75°36' W). El clima es de tipo cálido-húmedo, característico del ecosistema de bosque húmedo tropical con una altitud de 326 msnm, una precipitación anual promedio de 3.800 mm, un brillo solar de 1.700 h año⁻¹, una temperatura promedio de 25,5°C y humedad relativa del aire del 84%. Las plantas de tomate fueron sembradas en un invernadero con una densidad de 12 plantas/m², manejado por un sistema de riego por goteo y microaspersión, con aplicaciones diarias durante todo el monitoreo de 4 y 4,5 mm respectivamente. El material de tomate fue tipo chonto (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido certificado denominado súper Daniela producido por el laboratorio Hanzera Genetics, cuyo ciclo promedio de vida es de 130 a 180 d, una madurez relativa tardía, un vigor fuerte y una adaptabilidad desde los 300 a los 2.600 msnm. Para la etapa de establecimiento del cultivo, se usaron dos fuentes de fertilización, una de tipo orgánico (gallinaza) y otra de síntesis química (15-15-15), con una dosificación de 0,3 y 0,1 kg/planta respectivamente, posteriormente se redujo al 30 % con periodos mensuales de aplicación.

Monitoreo de variables ambientales, potencial hídrico y flujo de savia

El monitoreo de las variables ambientales y fisiológicas se realizó en el periodo comprendido entre los días julianos 94 (abril 4) al 101 (abril 11) del año 2015, época fenológica correspondiente a la de llenado de fruto. Para el monitoreo de las variables ambientales al interior del invernadero, se utilizó una estación meteorológica marca WatchDog 2900ET (Spectrum Technologies, Aurora, IL, USA) con una frecuencia de minuto a minuto para determinar la humedad relativa (HR_{ar} , %), la temperatura del aire (T_{ar} , °C), y la radiación fotosintéticamente activa (RAFA, $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Se calculó el déficit presión de vapor (DPV,

kPa) a partir de los valores máximos y mínimos de la temperatura del aire y de la humedad relativa registrada hora a hora, siguiendo la metodología propuesta por Allen *et al.* (2006).

El potencial hídrico del xilema (ψ , MPa) se determinó en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero utilizando un sensor tipo PSY1 (Stem Psychrometer ICT International, Armidale, NSW, Australia) en el tallo principal, a una altura de 20 cm. Para hacer la inserción del sensor fue necesario retirar cuidadosamente las capas de tejido de la corteza utilizando una cuchilla para exponer la capa del tejido xilemático. El sensor se fijó al xilema conductor expuesto y se utilizó grasa de silicona para sellar alrededor del psicrómetro y cubrir cualquier tejido expuesto (Patankar *et al.*, 2012).

Para la medición del flujo de savia (F_{H2O} ; g h⁻¹) se instaló un sensor tipo SFM1 (Sap Flow Meter ICT International, Armidale, NSW, Australia) en el tallo principal de la planta de tomate, a una altura de 20 cm del suelo, los cuales se basan en el principio del método pulso de calor (Heat Ratio Method, HRM). Este método ha sido ampliamente utilizados como herramienta para medir el uso del agua por las plantas (Steppe *et al.*, 2010; Miner *et al.*, 2017), permitiendo cuantificar la velocidad del flujo de savia en base a curvas de temperatura a partir de un impulso de calor (densidad y difusión térmica). El sensor SFM1 está compuesto por dos agujas y una sonda de calor integrada a un microprocesador para determinar V_s . Cada aguja está compuesta por dos termocuplas las cuales reciben el pulso de calor que incrementa la temperatura en el xilema conductor y que es proporcional a la velocidad del pulso de calor (V_s , g h⁻¹) (Burgess *et al.*, 2001).

La V_s , se calculó según la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{k}{x} \ln(V_1/V_2) \times 3600 \quad (1)$$

Dónde: k es la difusividad térmica en el área del xilema conductor (se asumió un default value of 0,0025 cm² s⁻¹), x es la distancia entre la sonda de calor y cada una de las agujas (cm), V es la aumento de la temperatura (°C) inicial con respecto a la aguja ubicada en la parte inferior (V_1) y superior (V_2).

Los sensores SMF1 y PSY1 estuvieron acoplados a un sistema de recolección de datos independiente (CR10X datalogger + multiplexor AM416, Campbell

Scientific, Logan, UT, USA) el cual almaceno una medida cada quince minutos, desde las 0:00 hasta las 23:00 h.

fisiológicas monitoreadas y simuladas, como regresiones para determinar los respectivos comportamientos durante el monitoreo.

Modelo predictivo y análisis de datos

El modelo utilizado para predecir el flujo de agua fue el propuesto Steppe *et al.* (2005), usado principalmente para plantas leñosas y posteriormente adaptado de De Swaef y Steppe (2010) para plantas herbáceas como el tomate (De Swaef *et al.*, 2013). En el modelo se incluyeron los parámetros expuestos en la tabla 1, utilizados para la simular el potencial hídrico del xilema (Ψ) y el flujo de agua en el tallo (F_{H_2O}) durante ocho días consecutivos.

Posteriormente de haber concretado los parámetros, se dio inicio a usar las ecuaciones adaptadas de De Swaef y Steppe (2010) (Tab. 2), las cuales relaciona la dinámica del flujo de agua en plantas herbáceas, bajo el concepto de resistencia al flujo, a partir de una variable de entrada que es el flujo de savia (F_{H_2O}) evaluada durante el respetivo monitoreo. Para el análisis de los datos se usó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017), donde se aplicó el análisis de estadística descriptiva para cada variable y análisis de correlación de Pearson entre las variables fisiológicas (Ψ y F_{H_2O}) y variables ambientales (*RAFA*, *DPV*, T_a y HR_a) y entre las variables

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de variables ambientales

La variables ambientales obtuvieron rangos diarios entre los 0 a 1.248,5 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para *RAFA*, 53,48 a 99,9% para HR_a , 22,1 y 33,15°C para T_a y de 0,001 y 1,81 kPa para *DPV* siendo mayor a las 13:00 h para *RAFA*, *DPV* y T_a , sin embargo, HR_a se presentó lo contrario. Al analizar el comportamiento de las variables ambientales durante el periodo de monitoreo se encontró periodos máximos promedios, como el presentado en el primer día del estudio (día 94), reportando valores promedio de 259,8 \pm 77,5 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para *RAFA*, 25,9 \pm 0,8°C para T_a , 0,5 \pm 0,1 kPa para T_a y 85,36 \pm 3,70% para HR_a . Contrario a lo presentado al octavo día del estudio (día 101) donde por efectos de precipitación se redujo en mayor medida las horas luz, incidiendo sobre las variables ambientales, llegando a valores promedios de 68,18 \pm 23,39 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para *RAFA*, 23,09 \pm 0,25°C para T_a , 0,10 \pm 0,03 kPa para T_a y 96,09 \pm 1,17 % para HR_a (Fig. 1), siendo los menores valores durante todo el periodo del estudio.

Tabla 1. Parámetros empleados en el modelo mecánico de flujo de agua en plantas herbáceas adaptado por De Swaef y Steppe (2010).

Parámetro	Unidad	Definición	Valor	Origen
R^x	MPa h g ⁻¹	Resistencia hidráulica entre el suelo y el tallo	0,00573	De Swaef y Steppe (2010)
$\Psi_{(sustrato)}$	MPa	Potencial hídrico del sustrato	-0,005	De Swaef y Steppe (2010)
	g h ⁻¹	Flujo de savia en el tallo	-	Este estudio
	MPa	Potencial hídrico del xilema conductor	-	Este estudio

Tabla 2. Modelo mecánico de flujo de agua adaptado de De Swaef y Steppe (2010) para plantas herbáceas, donde: $\Psi_{(sustrato)}$: potencial hídrico del sustrato, R^x : resistencia hidráulica entre el suelo y el tallo, F_{H_2O} : flujo de agua en el tallo, Ψ : potencial hídrico del xilema.

Descripción	Ecuación	Unidad resultado
Flujo de savia en el tallo	$F_{H_2O} = - \frac{\Psi - \Psi_{(sustrato)}}{R^x}$	g h ⁻¹
Potencial hídrico del xilema conductor	$\Psi = \Psi_{(sustrato)} - F_{H_2O} * R^x$	MPa

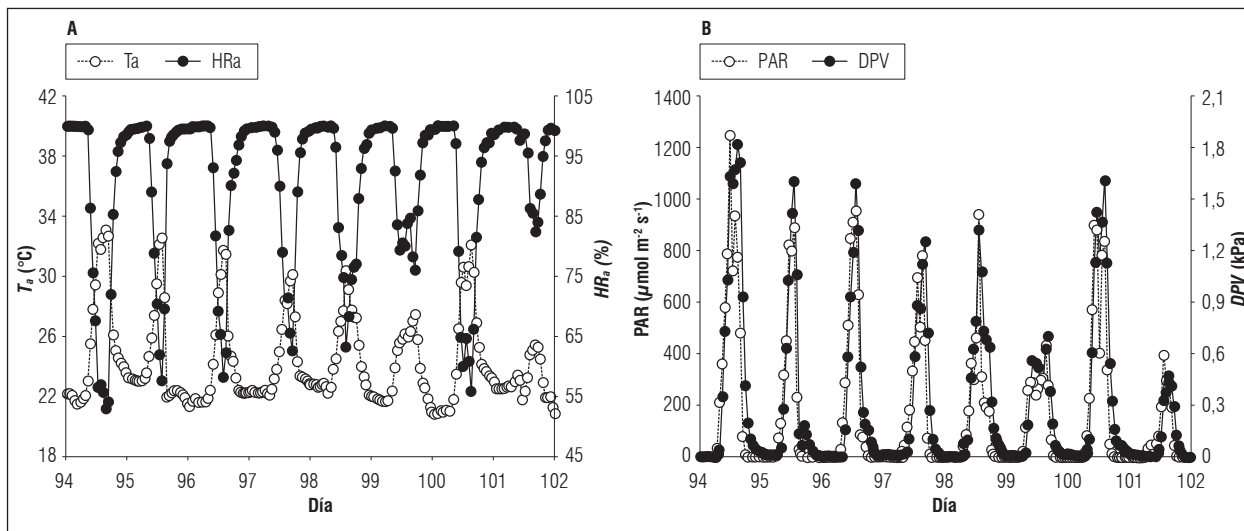


Figura 1. Comportamiento diario de las variables ambientales. A. Temperatura del aire (T_a) y Humedad relativa (HR_a); B. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) y déficit presión de vapor (DPV); durante los días 94 y 101 del 2015 bajo condiciones de invernadero.

Dinámica del potencial hídrico (ψ)

La tendencia diaria del ψ no expresó valores limitantes ($< -1,5$ MPa, Zegbe *et al.*, 2006) en el estatus hídrico, ya que se mantuvo entre los $-0,34$ a $-1,2$ MPa, presentando durante el monitoreo valores más negativos al medio día (Fig. 2A). La tendencia de ψ presentado en el cultivo de tomate fue similar a la reportada por Zhang *et al.* (2017) quienes mencionan valores entre $-0,23$ y $-1,03$ MPa cuando valores de DPV estuvo alrededor de 1 a 2 kPa. Al ser el ψ de la planta menos negativo se reduce sustancialmente la fuerza motriz para el transporte de agua y por lo tanto se disminuye su pérdida y a su vez se regula el estrés hídrico (Fricke, 2016). Tales variaciones diarias del ψ en la planta son ocasionada principalmente a los déficits hídricos presentes en la atmosfera y en el suelo, siendo consecuencia de las condiciones microclimáticas (Martínez *et al.*, 2014). El agua en el suelo es una de las variables que más fuerte se relaciona con el ψ , provocando una fluctuación directa durante el día (Vandeghechuchte *et al.*, 2014). Aunque en este estudio no se evaluó el contenido de agua en el suelo, en algunas investigaciones se ha observado el efecto positivo sobre una adecuada humedad en el mismo, el cual da como resultado un óptimo ψ , y por consiguiente la inexistencia del déficit hídrico o viceversa (Ismail, 2010; Quintal *et al.*, 2012). De esta forma el agua presente en el suelo expresa un efecto positivo sobre el crecimiento celular y sobre la elasticidad de las paredes celulares de las plantas, atributos que ayudan al aprovechamiento

del agua y a optimizar procesos dependientes como el flujo de savia y la fotosíntesis (Silva *et al.*, 2012; Both *et al.*, 2015), por tal razón los valores se mantuvieron en rangos no limitantes.

Dinámica del flujo de savia (F_{H_2O})

La tendencia diaria del F_{H_2O} durante el monitoreo fue entre $64,7$ a $22,4$ g h^{-1} , aumentando desde las 6:00 hasta las 13:00 horas, sin embargo, en las horas de la tarde se reduce el flujo de savia (Fig. 2B). El comportamiento diario de F_{H_2O} fue similar al reportado por Guangcheng *et al.* (2016) quienes en una evaluación a 80% capacidad de campo, el flujo fue savia incremento en la mañana hasta llegar a su punto máximo promedio de $297,3$ g h^{-1} en la hora 13:00, siendo este el periodo de mayor demanda hídrica. Posterior a esta hora los valores disminuyen debido al cierre estomático existiendo una reducción en la actividad transpiratoria, manteniendo así un equilibrio entre la tasa de captación de agua por la raíz y la tasa de transpiración (Gong *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2007; Qiu *et al.*, 2015).

Durante la noche, en todo el periodo de monitoreo el flujo fue positivo, movilizandole el 30,9% del agua transportada por la planta durante todo el día, con valores entre los $64,7$ a $76,6$ g h^{-1} . Los valores nocturnos en esta especie expresaron un comportamiento activo durante dicho periodo, debido a que sus estomas experimentaron un cierre parcial o incompleto,

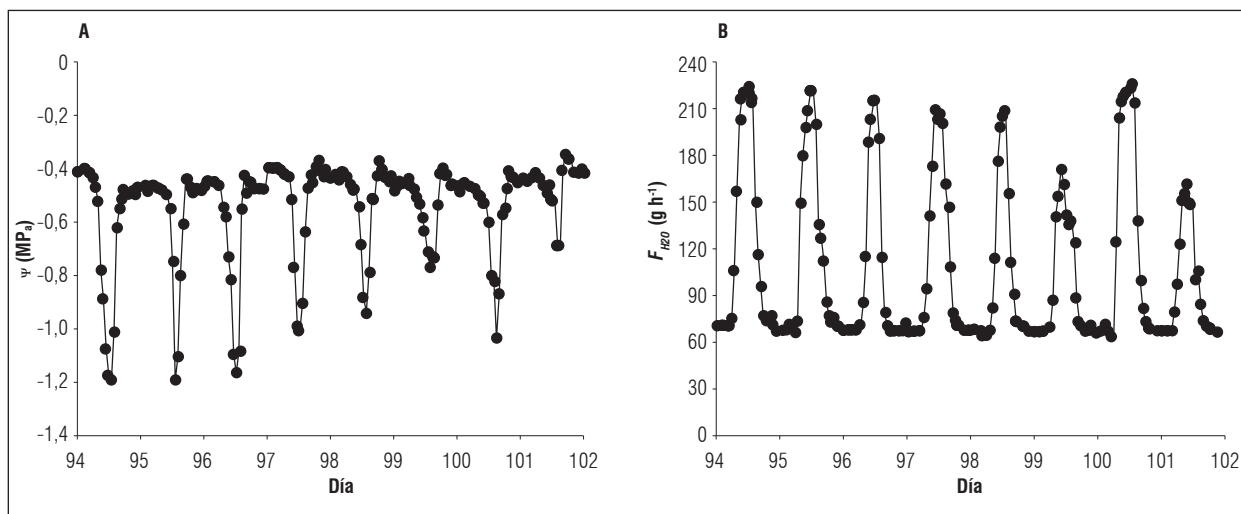


Figura 2. Comportamiento diario del potencial hídrico del xilema conductor (ψ , A) y el flujo de savia (F_{H_2O} , B) en plantas de tomate durante los días 94 y 101 del 2015 bajo condiciones de invernadero.

manteniendo así valores del flujo de agua positivos (Easlon y Richards, 2009). Este comportamiento se ha podido encontrar en muchas especies, donde los principales responsables son el transporte y pérdida de agua por consecuencia de la transpiración nocturna (Caird *et al.*, 2007; Qiu *et al.*, 2015). Las cantidades diarias reportadas se pueden atribuir a los volúmenes de agua presente en el suelo, donde el principal responsable de dichos volúmenes fueron los eventos de riego durante los días de evaluación, siendo una condición importante para mejorar los niveles de flujo de agua en esta especie (Guangcheng *et al.*, 2016).

Relación entre las variables ambientales y fisiológicas

Las tendencias obtenidas en este trabajo expresan como el ψ y el F_{H_2O} se relacionaron con las variables ambientales durante el periodo de monitoreo. El ψ obtuvo la menor explicación estadística frente al F_{H_2O} , presentando así correlación negativa con $RAFA$ (-0,78; $P < 0,0001$), T_a (-0,69; $P < 0,0001$) y DPV (-0,72; $P < 0,0001$) y positiva para HR_a (0,71; $P < 0,0001$). Por el contrario, el F_{H_2O} presentó correlación positiva con $RAFA$ (0,87; $P < 0,0001$), T_a (0,82; $P < 0,0001$) y DPV (0,81; $P < 0,0001$) y negativa para HR_a (-0,83; $P < 0,0001$). La poca correlación de ψ es explicada por las fluctuaciones de las variables ambientales en el transcurso del monitoreo afectado principalmente por la radiación ($RAFA$) y del déficit presión de vapor (DPV , García *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2017).

A su vez, el ψ es afectado por otros factores como el contenido de agua en el suelo y en la atmósfera (Martínez *et al.*, 2014; Fricke, 2016).

Por otro lado, el F_{H_2O} al ser la variable con mayor explicación estadística y correlación frente a las variables ambientales, expreso mayor relación con $RAFA$ y DPV (Qiu *et al.*, 2015). El DPV es una de las variables ambientales de mayor importancia a la hora de establecer cultivos en invernaderos, debido a que sus variaciones regulan la temperatura y la humedad relativa ambiental, siendo dos factores esenciales para mantener niveles adecuados de agua en el suelo y en la atmósfera (Zhu *et al.*, 2010; Both *et al.*, 2015). De esta forma repercute directamente en la absorción y transporte de líquidos a través de la planta, procesos esenciales para el incremento de la actividad fotosintética y de la productividad (Guangcheng *et al.*, 2016). Un DPV elevado (mayor a -1,5 MPa) implica una respuesta fisiológica inmediata en la planta, donde sus estomas expresarían un cierre parcial para evitar las pérdidas de agua, principalmente en forma de vapor (Qiu *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2017). En consecuencia, se afectarían procesos esenciales como el intercambio gaseoso, la actividad fotosintética y el rendimiento de la planta, siendo este último de gran importancia económica, dado que se reduce el potencial productivo de la especie (Bobich *et al.*, 2010). Caso contrario es visto para un DPV bajo y optimo en el cual la planta aumentaría el desempeño de sus actividades fisiológicas (Zhang *et al.*, 2017).

Predicciones

En la figura 3 se observan la modelación de ψ y F_{H_2O} durante el periodo de monitoreo cuyos rangos fueron entre -0,38 y -1,30 MPa para ψ y con 58,46 y 208,55 g h⁻¹ para F_{H_2O} . Los resultados obtenidos de las modelaciones se encuentran entre los rangos reportados por la literatura, compartiendo las mismas tendencias diarias obtenidos en otros estudios (De Swaef y Steppe, 2010; De Swaef *et al.*, 2013; Qiu *et al.*, 2015; Guangcheng *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2017), a su vez se encontró una alta correlación (0,82; $P < 0,0001$).

La amplia correlación se debe a la dependencia entre sí de dichas variables para expresar el estado hídrico en la planta. A la medida que el F_{H_2O} aumenta el ψ se vuelve más negativo y viceversa, expresando de esta forma una mayor fuerza motriz para el transporte de agua a través del tallo (Steppe *et al.*, 2005), siendo consecuencia directa de tres factores; la transpiración, el volumen de agua presente en el suelo y la demanda atmosférica (Vandeghechuchte *et al.*, 2014; Martínez *et al.*, 2014; Qiu *et al.*, 2015). Los eventos de riego además de regular las condiciones ambientales aumentaron la disponibilidad de agua, siendo resultado del incremento directo del gradiente de potencial de agua entre el suelo y los tejidos de almacenamiento del tallo, por lo cual dichos tejidos se reponían y aumentaban así el nivel de agua transportada por la planta (De Swaef y Steppe, 2010). Tal tendencia ha sido explicada por medio del concepto de resistencia al flujo, donde

se expresa como el gradiente del potencial hídrico varía directamente por el contenido de agua presente en los tejidos de almacenamiento, generando así una mayor tensión en el xilema que impulsara el flujo vertical de agua a través del tallo (De Swaef *et al.*, 2013). Tal como se ha visto en especies leñosas (Steppe *et al.*, 2005) y en herbáceas (De Swaef y Steppe, 2010) con los ajustes y resultados exitosos respectivos. De igual forma en este estudio el modelo se aplicó con resultados satisfactorios para entender el estado hídrico diario de esta especie en relación a la respuesta fisiológica derivada de la demanda atmosférica.

CONCLUSIONES

El modelo mecánico utilizado en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero tuvo un alto nivel de predicción ($r=0,82$; $P < 0,0001$) del potencial hídrico del xilema (ψ) y flujo de savia (F_{H_2O}). Así mismo se encontró que el comportamiento diario de F_{H_2O} fue sensiblemente afectado de manera positiva por las variables ambientales basado en las correlaciones obtenidas con $RAFA$ (0,87; $P < 0,0001$), T_a (0,82; $P < 0,0001$) y DPV (0,81; $P < 0,0001$) y negativa para HR_a (-0,83; $P < 0,0001$), aumentando desde las 6:00 hasta las 13:00 h, sin embargo en las horas de la tarde se reduce el flujo de savia. Así mismo, el ψ fue afectado de manera negativa por $RAFA$ (-0,78; $P < 0,0001$), T_a (-0,69; $P < 0,0001$) y DPV (-0,72; $P < 0,0001$) y positiva para HR_a (0,71; $P < 0,0001$).

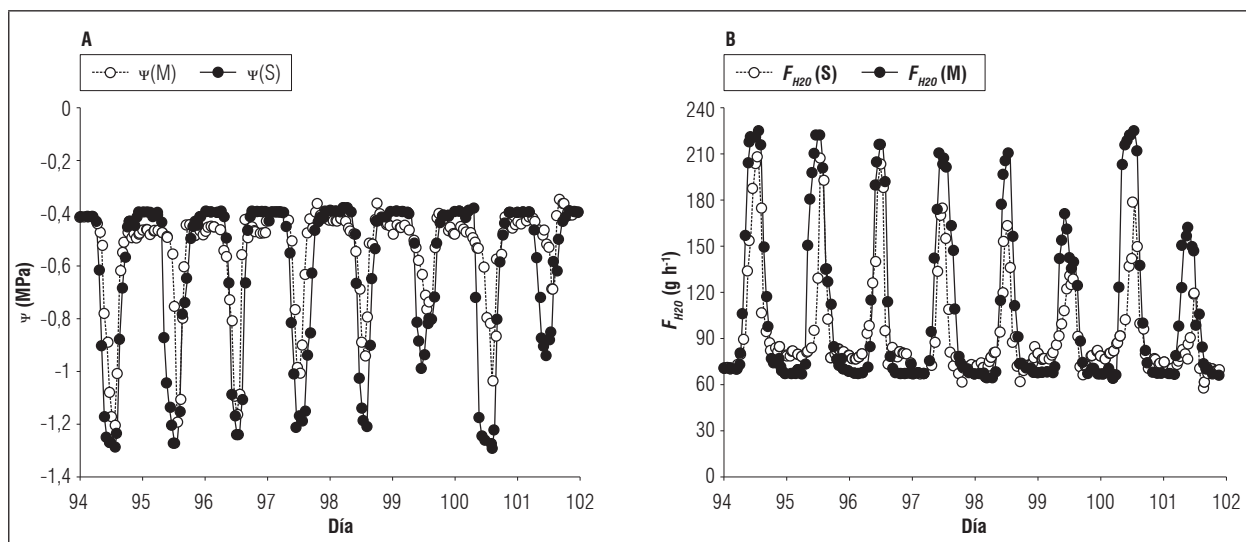


Figura 3. Comportamiento del potencial hídrico del xilema (ψ , A) y flujo de savia (F_{H_2O} , B) en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero. M: monitoreada, S: simulada.

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

- Allen, R., S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para determinación los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio Riego e Drenaje 56. FAO, Roma, Italia
- Ballester, C., J. Castel, L. Testi, D. Intrigliolo y J.R. Castel. 2013. Can heatpulse sap flow measurements be used as continuous water stress indicators of citrus trees?. *J. Irrig Sci.* 31, 1053-1063. Doi: 10.1007/s00271-012-0386-5
- Bobich, E., G. Barron, K. Rascher y R. Murthy. 2010. Effects of drought and changes in vapour pressure deficit on water relations of *Populus deltoides* growing in ambient and elevated CO. *Tree Physiol.* 30, 866-875. Doi: 10.1093/treephys/tpq036
- Both, A., L. Benjamin, J. Franklin, G. Holroyd, L. Incoll, M. Lefsrud y G. Pitkin. 2015. Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for experiments in greenhouses. *Plant Methods* 11, 43-68. Doi: 10.1186/s13007-015-0083-5
- Burgess, S., M. Adams, N. Turner. C, Beverly. C. Ong, A. Khan y T. Bleby. 2001. An improved heat pulse method to measure low and reverse rates of sap flow in woody plants. *Tree physiology.* 21(9): 589-598. Doi: 10.1093/treephys/21.9.589
- Caird, M., J. Richards y T. Hsiao. 2007. Significant transpirational water loss occurs throughout the night in field-grown tomato. *Funct. Plant Biol.* 34, 172-177. Doi: 10.1071/FP06264
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) 2016. Encuesta nacional agropecuaria ENA 2015. Cód.: DIE-020-PD-01-r5_v7. Bogotá, Colombia
- De Swaef, T., V. De Schepper, M. Vandegehuchte y K. Steppe. 2015. Stem diameter variations as a versatile research tool in ecophysiology. *Tree Physiol.* 35(10), 1047-1061. Doi: 10.1093/treephys/tpv080
- De Swaef, T., J. Hanssens, A. Cornelis y K. Steppe. 2013. Non-destructive estimation of root pressure using sap flow, stem diameter measurements and mechanistic modelling. *Ann. Bot.* 111, 271-282. Doi: 10.1093/aob/mcs249
- De Swaef, T., C. Mellisho, A. Baert, V. De Schepper, A. Torrecillas, W. Conejero y K. Steppe. 2014. Model-assisted evaluation of crop load effects on stem diameter variations and fruit growth in peach. *Trees* 28(6), 1607-1622. Doi: 10.1007/s00468-014-1069-z
- De Swaef, T. y K. Steppe. 2010. Linking stem diameter variations to sap flow, turgor and water potential in tomato. *Funct. Plant Biol.* 37, 429-438. Doi: 10.1071/FP09233
- De Swaef, T., K. Verbist, W. Cornelis y K. Steppe. 2012. Tomato sap flow, stem and fruit growth in relation to water availability in rockwool growing medium. *Plant Soil* 350(1-2), 237-252. Doi: 10.1007/s11104-011-0898-4
- Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. Robledo. 2017. Infostat versión 2017. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Easlon, H. y J. Richards. 2009. Drought response in self-compatible species of tomato (*Solanaceae*). *Amer. J. Bot.* 96, 605-611. Doi: 10.3732/ajb.0800189
- FAOSTAT. 2015. Production/yield quantities of tomatoes in world. En: FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>; consulta: agosto de 2017.
- Fricke, W. 2016. Water transport and energy. *Plant Cell Environ.* 40, 977-994. Doi: 10.1111/pce.12848
- García, A., R. Cun y L. Montero. 2010. Efecto de la hora del día en el potencial hídrico foliar del sorgo y su relación con la humedad en el suelo. *Rev. Cienc. Téc. Agropecu.* 19(3), 7-11.
- Gong, D., J. Wang y S. Kang. 2001. Variations of stem and root sap flow of peach tree under different water status. *Transactions of the CSAE* 17(4), 33-37.
- Guangcheng, S., H. Doudou, C. Xi, C. Jingtao y Z. Zhenhua. 2016. Path analysis of sap flow of tomato under rain shelters in response to drought stress. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 9(2), 54-62.
- Ismail, S. 2010. Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum* L.). *Meteor. Environ. Arid Land Agric. Sci.* 21, 29-43. Doi: 10.4197/met.21-2.3
- Liu, H., M. Genard, S. Guichard y N. Bertin. 2007. Model-assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes. *J. Exp. Bot.* 58, 3567-3580. Doi: 10.1093/jxb/erm202
- Martínez, J., R. Poyatos, D. Aguadé, J. Retana y M. Mencuccini. 2014. A new look at water transport regulation in plants. *New Phytologist* 204(1), 105-115. Doi: 10.1111/nph.12912
- Meng, Z., A. Duan, D. Chen, B. Dassanayake, X. Wang, Z. Liu y S. Gao. 2017. Suitable indicators using stem diameter variation-derived indices to monitor the water status of greenhouse tomato plants. *PloS one* 12(2), e0171423. Doi: 10.1371/journal.pone.0171423
- Miner, G., J. Ham y G. Kluitenberg. 2017. A heat-pulse method for measuring sap flow in corn and sunflower using 3D-printed sensor bodies and

- low-cost electronics. *Agric. For. Meteor.* 246, 86-97. Doi: 10.1016/j.agrformet.2017.06.012
- Patankar, R., W. Quinton y J. Baltzer. 2013. Permafrost-driven differences in habitat quality determine plant response to gall-inducing mite herbivory. *J. Ecol.* 101, 1042-1052. Doi: 10.1111/1365-2745.12101
- Qiu, R., T. Du, K. Shaozhong, R. Chen y L. Wu. 2015. Influence of water and nitrogen stress on stem sap flow of tomato grown in a solar greenhouse. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 140(2), 111-119.
- Quintal, W., A. Pérez, L. Latournerie, C. May, E. Ruiz y A. Martínez. 2012. Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Rev. Fitotec. Mex.* 35(2), 155-160.
- Silva, C., G. Sellés, R. Ferreyra y H. Silva, 2012. Variation of water potential and trunk diameter answer as sensitivity to the water availability in table grapes. *Chil. J. Agric. Res.* 72(4), 459-469. Doi: 10.4067/S0718-58392012000400001
- Steppe, K., D. De Pauw, T. Doody y R. Teskey. 2010. A comparison of sap flux density using thermal dissipation, heat pulse velocity and heat field deformation methods. *Agric. For. Meteor.* 150(7), 1046-1056. Doi: 10.1016/j.agrformet.2010.04.004
- Steppe, K., D. De Pauw, R. Lemeur y P. Vanrolleghem. 2005. A mathematical model linking tree sap flow dynamics to daily stem diameter fluctuations and radial stem growth. *Tree Physiol.* 26, 257-273. Doi: 10.1093/treephys/26.3.257
- Vandegehuchte, M., A. Guyot, M. Hubeau, T. De Swaef, D. Lockington y K. Steppe. 2014. Modelling reveals endogenous osmotic adaptation of storage tissue water potential as an important driver determining different stem diameter variation patterns in the mangrove species *Avicennia marina* and *Rhizophora stylosa*. *Ann. Bot.* 114, 667-676. Doi: 10.1093/aob/mct311
- Verbeeck, H., K. Steppe, N. Nadezhkina, M. De Beeck, G. Deckmyn, L. Meiresonne y I. Janssens. 2007. Model analysis of the effects of atmospheric drivers on storage water use in Scots pine. *Biogeosci.* 4(4), 657-671. 10.5194/bg-4-657-2007
- Zegbe, J., M. Behboudian y B. Clothier. 2006. Responses of 'Petopride' processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages. *Irrig. Sci.* 24(3), 203-210. Doi: 10.1007/s00271-005-0018-4
- Zhang, D., Q. Du, Z. Zhang, X. Jiao, X. Song y J. Li. 2017. Vapour pressure deficit control in relation to water transport and water productivity in greenhouse tomato production during summer. *Scient. Rep.* 7, srep43461.
- Zhu, X., S. Long y D. Ort. 2010. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61, 235-261. Doi: 10.1146/annurev-arplant-042809-112206

Evaluación del rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero

Yield and phenology evaluation of three tomato cherry genotypes (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions



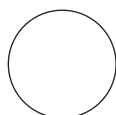
HENRY ALEXANDER CORDOBA¹
SANDRA VICTORIA GÓMEZ¹
CARLOS EDUARDO ÑÚSTEZ^{1, 2}

Frutos de tomate cherry híbrido Tangerino.

Foto: S.V. Gómez

RESUMEN

La evaluación de características agronómicas de materiales genéticos disponibles en el mercado de tomate cherry es información relevante para la elección de materiales de siembra. Fueron evaluados tres genotipos de tomate cherry, dos híbridos: Tangerino y Tropical Cherry y la variedad Red Cherry. Las plantas fueron sembradas a una distancia de 0,5 por 1,0 m entre surcos y se evaluaron variables de fenología y las variables cuantitativas: número de flores por inflorescencia, frutos por planta, diámetro de frutos y rendimiento. En poscosecha se evaluó la colorimetría del fruto en dos temperaturas de almacenamiento durante 28 días, realizando mediciones cada 4 días. Los genotipos presentaron diferencias con respecto al número de flores por inflorescencia, número total de frutos por planta y rendimiento en g/planta, siendo Tangerino el que presentó la mejor respuesta en estas variables con un total de 25 flores por inflorescencia, 79 frutos por planta y 750 g/planta. En fenología no se presentaron diferencias en la duración de los estadios principales, fueron evidentes algunas variaciones de los estadios secundarios tales como aparición de brotes, órgano floral y maduración del fruto. El híbrido Tangerino fue el genotipo de mejor comportamiento por su rendimiento y maduración de frutos bajo las condiciones de evaluación.



Palabras clave adicionales: cerasiforme, evaluación agronómica, poscosecha, índice de color.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Cordoba, H.A.: 0000-0002-2679-0456; ORCID Gómez, S.V.: 0000-0001-7950-0814; ORCID Núñez, C.E.: 0000-0003-2000-022X

² Autor para correspondencia. cenuztezl@unal.edu.co

ABSTRACT

The evaluation of agronomic characteristics of genotypes available on the cherry tomato market is necessary for choosing the best material. Three cherry tomato genotypes (two hybrids: Tangerino and Tropical Cherry and the Red Cherry variety) were evaluated under greenhouse conditions. The plants were spaced at 0.5 m between plants and 1.0 m between rows. The phenology and quantitative variables, such as the number of flowers per inflorescence, fruits per plant, fruit diameter and yield, were determined. In the postharvest period, the fruit colourimetry was evaluated under two storage temperatures. The genotypes showed differences in the number of flowers per inflorescence, total number of fruits per plant and fruit yield, with Tangerino being the best in terms of these variables, with 25 flowers per inflorescence, 79 fruits per plant and 750 g/plant. In the phenology, there were no differences in the duration of the main stadiums, but there were small variations in the secondary stadiums, such as the appearance of branches, inflorescence and fruit ripening. The hybrid Tangerino had the best behavior in terms of yield and fruit ripening under the tested conditions.

Additional key words: cerasiforme, agronomic evaluation, postharvest, color index.

Fecha de recepción: 27-06-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

El tomate es una de las hortalizas más consumidas en el mundo debido a los diversos tipos y formas que presenta para su consumo. Es una de las hortalizas de mayor valor económico (Marim *et al.*, 2005) con 5,02 millones de hectáreas plantadas en el mundo y una producción total reportada de 170,7 millones de toneladas de frutos cosechados al año (FAOSTAT, 2014). En Colombia, la producción total de tomate para el año 2014 se estimó en 606.151 t y rendimiento de 33,98 t ha⁻¹ (FAO, 2014). Actualmente, la producción de tomate tipo cherry (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) se ha incrementado notoriamente a nivel mundial, debido a su reporte de ser fuente importante de antioxidantes, de reducir el riesgo de contraer enfermedades crónicas y por su buen posicionamiento gastronómico para el consumo en ensaladas, salsas y cocteles, que lo hacen deseable en el mercado (Santiago *et al.*, 1998; Giovannucci, 1999; CIT, 2000; Machado *et al.*, 2003).

Una característica importante del tomate tipo cherry es su capacidad de aclimatarse adecuadamente en invernaderos fríos. Aunque presenta un mayor costo de mano de obra a cosecha, el buen precio que logra en el mercado lo compensa, por lo cual constituye una opción prometedora como hortaliza cultivable en condiciones de invernadero. Lo anterior, sumado a la aplicación de técnicas eficientes de agricultura limpia, otorga un valor agregado para la producción de este

cultivo, notables ventajas a nivel comercial que se acentúan gracias a la creciente demanda del producto (García *et al.*, 2004; Hernández, 2013).

Para responder a la demanda en aumento de tomate cherry, es necesario mejorar las condiciones de producción, entre las cuales debe considerarse la selección adecuada del material genético a utilizar. Un aspecto clave en la evaluación de genotipos es que cada uno presenta diferentes características en cuanto al crecimiento, tolerancia a problemas fitosanitarios, respuesta a las variables ambientales, rendimiento y cualidades del fruto (Abadie y Berretta, 2001). Un genotipo deseable para siembra deberá tener características sobresalientes, entre las que se incluyen: óptimo crecimiento y desarrollo, buen rendimiento denotado por número y peso de frutos, buena calidad del fruto, de buena adaptación al ambiente donde se pretende cultivar, aceptación en el mercado y buena poscosecha (Castellanos, 2009; Garzón, 2011). Sin embargo, hay que tener en cuenta que la respuesta esperada de un genotipo no es la misma bajo diferentes ambientes de cultivo, un comportamiento se tendrá en ambiente protegido y seguramente otro diferente en campo abierto, debido a que las variables climáticas son diferentes. También es posible que la respuesta de un genotipo sea diferente bajo ambientes protegidos distintos, debido a otras diferencias de cultivo tales como: la altitud, la localización geográfica, la

tecnología de producción, las variaciones en la infraestructura del ambiente protegido, entre otros. Esta situación genera la recomendación de realizar ensayos de evaluación de los genotipos que se dispone para el sistema productivo, bien sea campo o invernadero, para escoger el de mejor comportamiento en dichas condiciones, sin olvidar las condiciones específicas del mercado de destino de la producción (Márquez *et al.*, 2006; Castellanos, 2009).

Existe poca información relacionada con la evaluación de materiales genéticos de tomate tipo cherry, en particular orientada a la valoración de genotipos disponibles en el mercado y su producción bajo condiciones de invernadero. Es importante resaltar que el incremento del consumo y áreas de producción en los últimos años, principalmente con diversos materiales genéticos demanda evaluaciones agronómicas pertinentes. Generar información al respecto significa aportar en el conocimiento de este cultivo en el país y generar bases para posibles programas de mejoramiento. Por esta razón, el objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry cultivados bajo invernadero en la Sabana de Bogotá e identificar el de mejores características agronómicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y establecimiento del experimento

El experimento se realizó en los invernaderos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, situada a 4°38'08" N y 74°04'58" W a 2.640 msnm, con temperatura entre 14 y 30°C y humedad relativa que osciló entre 42 y 79%. El experimento tuvo una duración de 6 meses de acuerdo con el ciclo del cultivo.

Los genotipos evaluados fueron los híbridos Tangerino y Tropical Cherry, junto con la variedad Red Cherry, todos de crecimiento indeterminado y adquiridos en el mercado de semillas de tomate cherry en Bogotá. Las semillas fueron embebidas durante 24 h en cajas Petri con papel absorbente húmedo, posteriormente se sembraron en semilleros con sustrato de turba Klasmann® de origen alemán. Transcurridos 38 d, las plantas fueron trasplantadas a una distancia entre surcos de 1 m y de 0,5 m entre plantas, para una densidad de siembra de 20.000 plantas/ha.

Fenología y rendimiento

Para cada genotipo se evaluó la fenología de acuerdo a los días después de trasplante (ddt) y según la escala BBCH para solanáceas (Feller *et al.*, 1995). Se evaluaron características de momentos de aparición y desarrollo de órganos vegetativos (hojas verdaderas y brotes laterales) y reproductivos (botones, flores y frutos).

Se evaluaron las variables cuantitativas: número de flores por inflorescencia, diámetro promedio del fruto, número de frutos por planta, peso promedio de frutos cosechados y rendimiento por planta. La cosecha de los frutos se realizó a partir de los 88 ddt para los tres genotipos.

Maduración poscosecha

Se llevó a cabo la cosecha de frutos en los estados de maduración *torneado* (estado 3) y *rojo claro* (estado 5) de acuerdo con la escala de clasificación por color de tomate del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA (UCDAVIS, 2016). La tabla 1 presenta la descripción de los estados de madurez según el cambio de coloración en la superficie del fruto.

Los frutos fueron almacenados bajo dos condiciones de temperatura; en cuarto frío ($5 \pm 1^\circ\text{C}$) y temperatura ambiente (19°C promedio); en ambos casos se determinó la colorimetría de los frutos cada cuatro días después de cosecha (ddc). El color de la epidermis de los frutos en cada estado de madurez se hizo con base en el sistema CIELab y con el uso del colorímetro digital Konica Minolta CR400. L indica la luminosidad, donde 0 es negro y 100 blanco; valores de (a) <0 indican tendencia hacia el verde y >0 hacia el rojo; (b) tiene el mismo rango pero valores <0 indican tendencia hacia el azul y >0 hacia el amarillo (Hernández *et al.*, 2007). Se realizaron tres lecturas en la sección ecuatorial del fruto para determinar el índice de color (IC) con base en el índice propuesto por Hunter Lab $IC = (1000 \cdot a)/(L \cdot b)$.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento en campo se estableció bajo un diseño en bloques completamente al azar donde el tratamiento es genotipo, y para la evaluación de la maduración en poscosecha como un diseño completamente al azar con estructura factorial 3×2 , donde el

Tabla 1. Escala de clasificación por color de tomate del USDA (UCDAVIS, 2016).

Estado	Nombre	Descripción
1	Verde	La superficie del tomate es totalmente verde en color. El tono de verde puede variar de claro a oscuro.
2	Quebrante	Se presenta un quiebre en la coloración verde del fruto por la aparición de pequeñas coloraciones amarillas, rosas o verdes en no más del 10% de la superficie.
3	Torneado	Más del 10% pero no más del 30% de la superficie presenta un cambio de coloración de verde a amarillo, rosa, rojo o la combinación de los mismos.
4	Rosa	Más del 30% pero no más del 60% de la superficie del fruto muestra una coloración rosa o rojiza.
5	Rojo claro	Más del 60% de la superficie del fruto muestra una coloración rosa-rojiza o roja. No más del 90% de la superficie es de color rojo.
6	Rojo	Más del 90% de la superficie del fruto muestra una coloración roja.

primer factor correspondió al genotipo y el segundo factor a los ambientes de almacenamiento. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS v. 9.4 (Statistical Analysis System) con un nivel de significancia de $P \leq 0,05$. Se validaron los supuestos de normalidad y de homocedasticidad en las variables por medio de las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett, respectivamente. A los resultados obtenidos se les realizó análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de Tukey ($P \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo fenológico

Se encontró que en los tres materiales genéticos evaluados el inicio de los estadios fenológicos principales ocurrió en los mismos ddt. Solo se encontraron variaciones en cuanto a los estadios fenológicos secundarios. Tangerino evidenció un desarrollo más precoz en el caso de formación de brotes laterales. Para los tres materiales evaluados, la aparición del órgano floral ocurrió en un periodo aproximado de 22 ddt, mientras que la floración se evidenció a los 44 ddt y la formación del fruto una vez transcurridos 74 ddt (Figs.1, 2 y 3). No obstante, en cuanto a la aparición

del órgano floral, floración y formación del fruto, 'Tropical Cherry' y 'Red Cherry' evidenciaron un comportamiento más precoz respecto a 'Tangerino', ya que alcanzaron los estadios secundarios dentro de estas etapas en un menor número de ddt (Figs. 1, 2 y 3). En cuanto a la maduración del racimo, 'Tropical Cherry' fue más precoz, completando la totalidad del proceso de maduración del racimo en 30 d, respecto a los 41 d que tardaron los otros materiales evaluados.

En tomate común (*Solanum lycopersicum*) se reporta una duración promedio de la etapa vegetativa de entre 22 y 40 d. Luego del trasplante, el tomate continúa en esta etapa por 30 a 35 d más y a los 50 o 60 d inicia la floración, aunque se reporta que estos periodos dependen ampliamente de la variedad (Pérez *et al.*, 2002). Por otra parte, se ha reportado que para el caso del tomate tipo cherry, el tiempo transcurrido desde el trasplante a campo hasta la aparición de la primera inflorescencia, corresponde a un periodo de 3 a 4 semanas (Fullelove *et al.*, 1998). Lo anterior concuerda con el tiempo aproximado hasta la aparición del órgano floral que se encontró en el experimento para los tres materiales genéticos estudiados. En el caso de la floración, los tres materiales evaluados presentaron un inicio tardío de la misma respecto a lo reportado para el tomate común, ya que ésta se produjo a los 44 ddt, es decir aproximadamente a los 82 d después de siembra.

En plantas de tomate la floración comienzan hacia los 45 d después de la emergencia en el campo y sus flores perfectas son agrupadas en inflorescencias tipo racemoso. Se afirma que en la floración del tomate, tanto cultivado como silvestre, el genotipo es uno de los factores relevantes para la respuesta de esta variable (Nuez, 1995; Restrepo *et al.*, 2008). En evaluación realizada a la colección de *Solanum* sección *Lycopersicum* de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, se encontró importante variación en la variable de inicio de floración, dos introducciones de *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* fueron las más precoces con 41 d después de la emergencia para el inicio de la floración (Restrepo *et al.*, 2008). Los tiempos de floración encontrados por Restrepo *et al.* (2008) coinciden con los hallados en el experimento, lo que permite concluir que si bien se encontró un retraso en la época de floración para estos materiales respecto al tomate común, las épocas de aparición del órgano floral y floración sí coinciden con lo reportado para el tomate tipo cherry en otros estudios realizados.

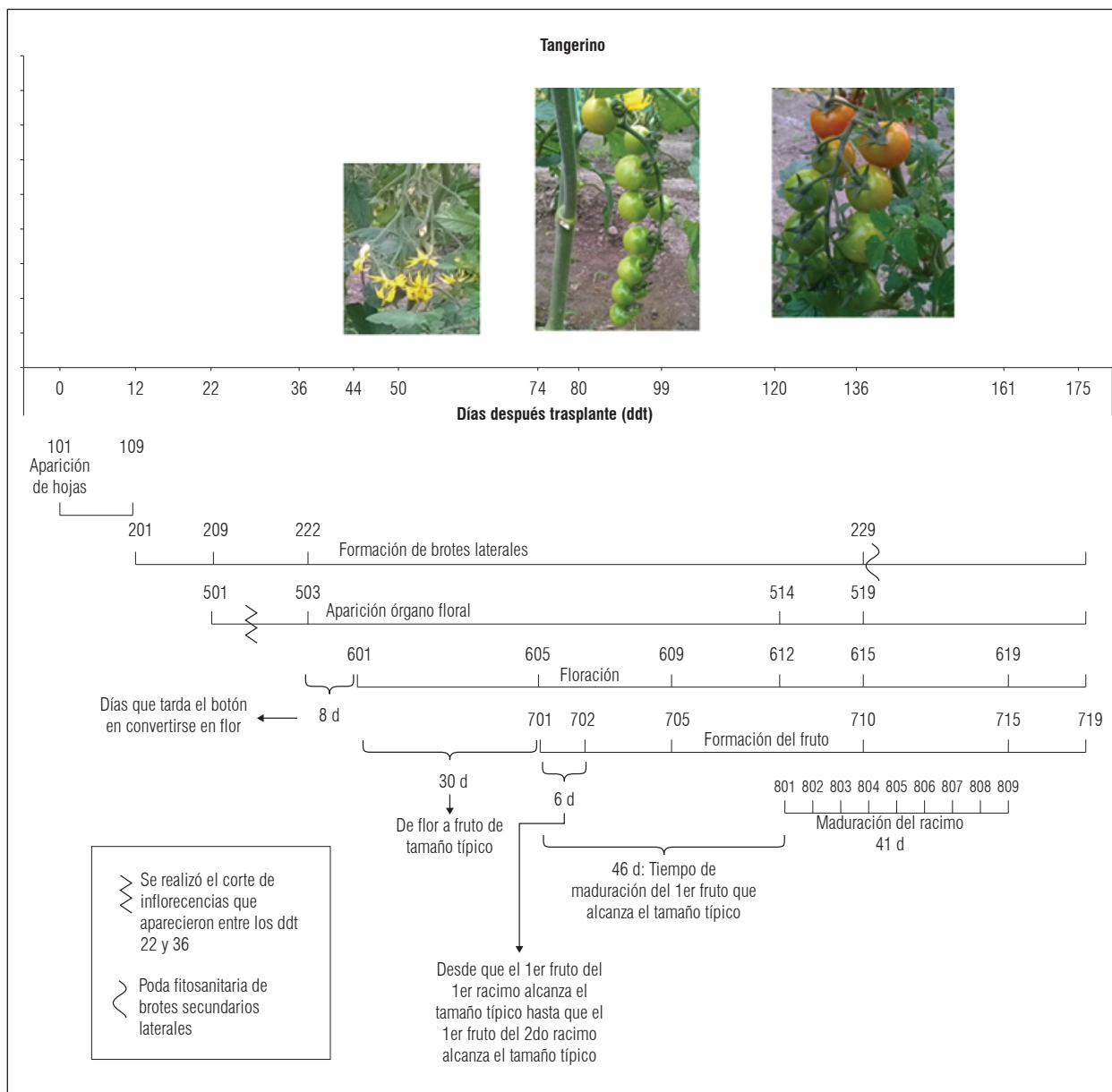


Figura 1. Desarrollo fenológico del híbrido Tangerino.

La etapa reproductiva, se extiende por unos 32 a 40 d antes de la cosecha, la cual se inicia entre los 62 y 75 ddt. Esta etapa tarda entre 30 y 40 d y se caracteriza porque se detiene el crecimiento de la planta e inicia el crecimiento y maduración de los frutos (CA-TIE, 1990; Pérez *et al.*, 2002). En el presente estudio la etapa reproductiva inició en el día 74 después de trasplante para el caso de los tres materiales, lo cual concuerda con el intervalo de tiempo aproximado establecido para el inicio de este estadio fenológico en plantas de tomate.

Flores por inflorescencia

Se encontraron diferencias significativas entre ‘Tangerino’ y ‘Red Cherry’, mientras que ‘Tropical Cherry’ no difirió de los otros genotipos en el punto máximo de aparición de flores (Fig. 4). El rango máximo observado para flores por inflorescencia osciló entre 5 y 16 en los genotipos evaluados, siendo ‘Tangerino’ el que alcanzó mayor número de flores por inflorescencia (16). De forma general, los tres genotipos evaluados mostraron un decrecimiento progresivo en los

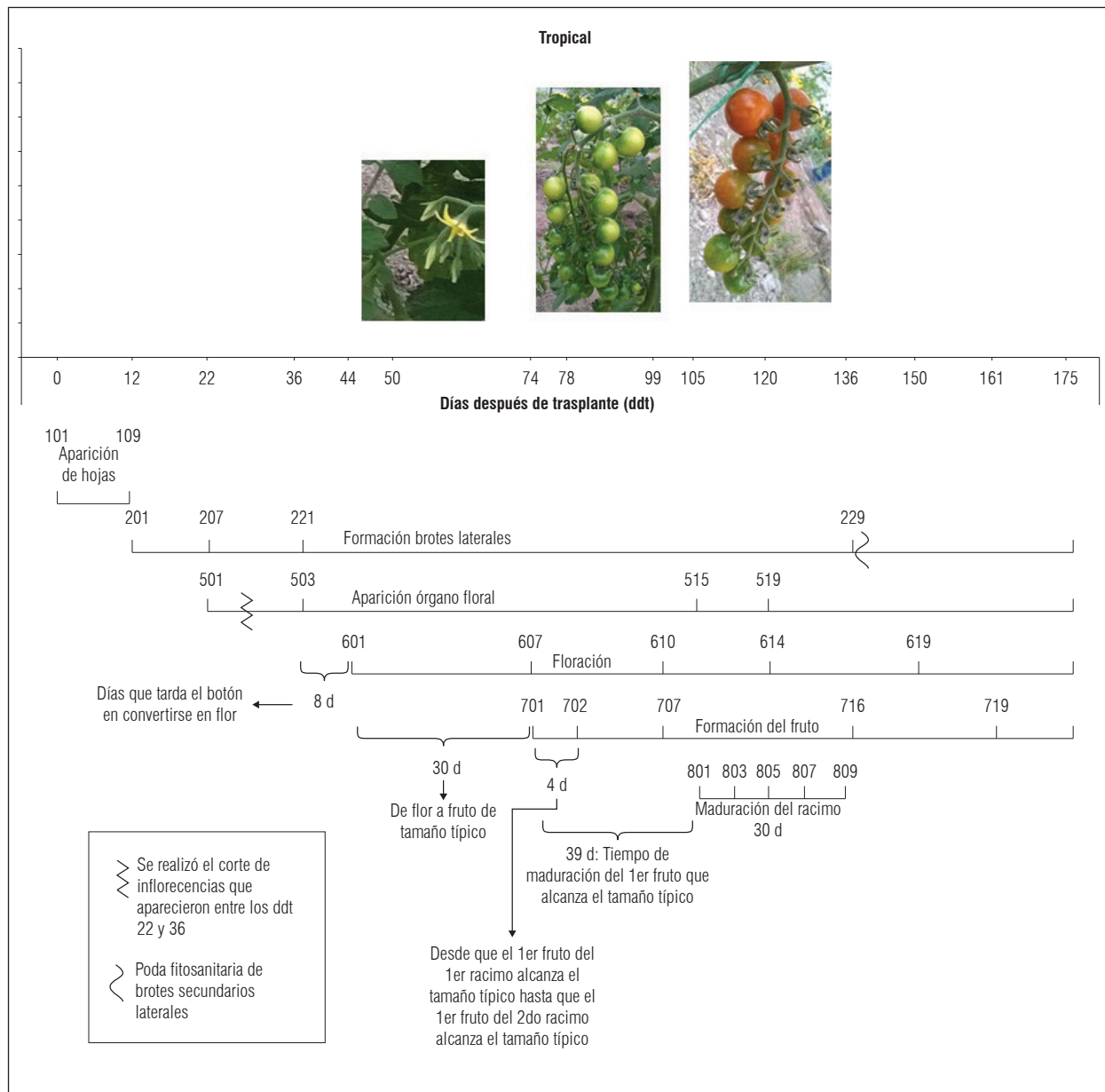


Figura 2. Desarrollo fenológico del híbrido Tropical Cherry.

valores de esta variable a través del tiempo. Autores como Lobo y Medina (1994) evaluaron la variabilidad morfológica del tomate tipo cherry, encontrando que el número de flores por inflorescencia varía entre 4 y 20, lo cual se aproxima notablemente al intervalo encontrado para los tres genotipos evaluados. Ceballos y Vallejo (2012) encontraron que en un 80% de las variedades, se produjo una relación directa entre un mayor número de flores por inflorescencia y un número más alto de frutos.

Otros autores como Boada *et al.* (2010) encontraron diferencias significativas en cuanto al número de flores por inflorescencia entre 26 introducciones de tomate cherry evaluadas. Estos autores encontraron una amplia variabilidad en los valores obtenidos, los cuales oscilaron entre 17,4 y 177 flores por inflorescencia. Estos valores superan ampliamente los hallados en el presente trabajo y evidencian la magnitud en la cual puede variar el número de flores por inflorescencia entre genotipos de tomate cherry. De otro

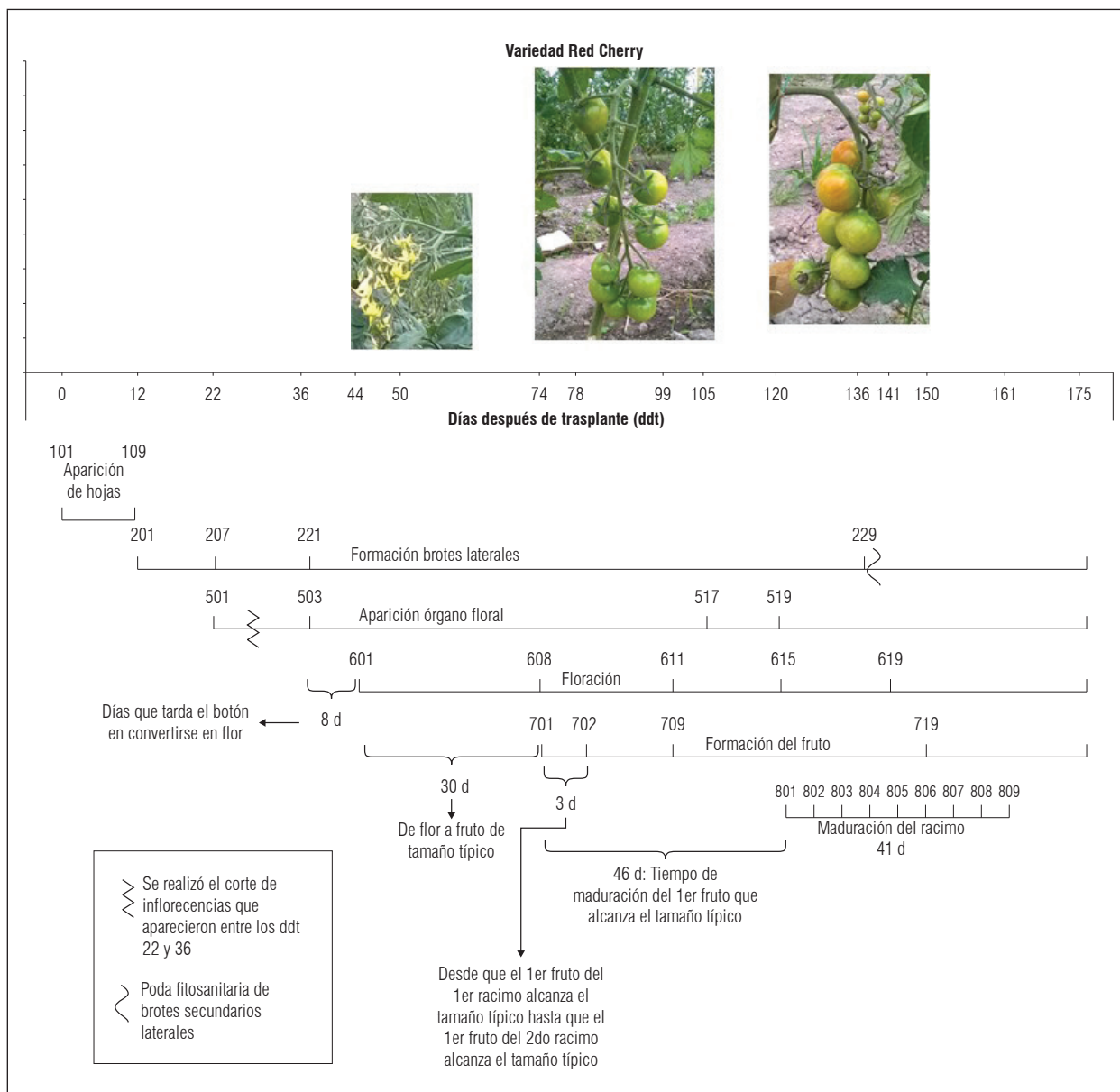


Figura 3. Desarrollo fenológico de la variedad Red Cherry.

lado, Pratta (2003) encontró un rango de 6 a 15 flores por racimo, que concuerda casi de manera exacta con los datos obtenidos en el presente estudio. Boada *et al.* (2010) argumentan que el número de tallos o ejes presentes en la planta influye en la cantidad de racimos totales, lo que consecuentemente incide en el número total de flores por racimo, encontrándose una mayor producción de éstas a mayor número de tallos en la planta, aunque con un tamaño de fruto y duración del cultivo menores.

Diámetro y número promedio de frutos

Los frutos de los tres genotipos evaluados no presentaron diferencias significativas con respecto al diámetro promedio. Los valores oscilaron entre 11,1 y 23,0 mm, siendo 'Tangerino' el de mayor diámetro promedio (Tab. 2). Los resultados obtenidos para Tangerino son similares a los reportados por Pulvento *et al.* (2008) quienes evaluaron el efecto del estrés hídrico en diferentes cultivares de tomate cherry, obteniendo

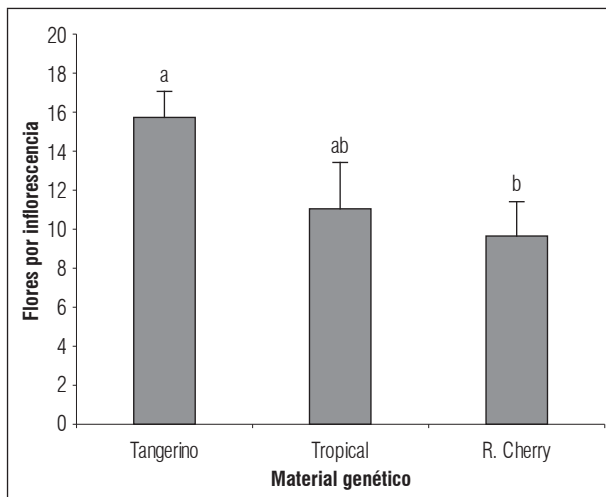


Figura 4. Flores por inflorescencia en tres genotipos de tomate tipo cherry en el punto máximo de aparición de flores (99 ddt). Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Las barras de error indican el error estándar.

frutos con diámetros cercanos y por encima de los 20 mm para el tratamiento control. Por otra parte, Cachoeira *et al.* (2005) en la comparación morfológica de tres sistemas de cultivo de tomate cherry encontraron diámetros promedio de los frutos cercanos a 24 mm y Agudelo *et al.* (2011) reportan diámetros entre 20 y 30 mm. De acuerdo con lo anterior, el diámetro encontrado para ‘Tangerino’ se sitúa en este intervalo, pero los encontrados para ‘Tropical Cherry’ y ‘Red Cherry’ son menores. No obstante, Nuez (1999) describe que los tomate cherry se caracterizan por producir frutos de tamaño muy pequeño y variable (10 a 30 mm de diámetro), lo cual permite decir que los resultados encontrados para el tamaño promedio del fruto es propio de cada genotipo bajo las condiciones de evaluación.

En el número total de frutos por planta, ‘Tangerino’ fue el que presentó el valor más alto, seguido por ‘Tropical Cherry’ y ‘Red Cherry’ (Tab. 2). Este resultado concuerda con lo reportado por Techawongstien *et al.* (2009), Ceballos y Vallejo (2012) y Hossain *et al.* (2010; 2015) quienes encuentran amplios rangos de variación en el número de frutos por planta como característica dependiente del material genético entre los que se contemplan los valores encontrados para los tres genotipos evaluados en el presente estudio.

Tabla 2. Diámetro promedio del fruto (DPF) y número de frutos de los tres genotipos evaluados.

Genotipo	DPF (mm)	Número de frutos por planta
Tangerino	20,3±2,74 a	79±5 a
Tropical	15,0±3,53 a	52±5 b
Variedad	14,5±3,38 a	51±8 b

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

Rendimiento de fruto

Con respecto al rendimiento de fruto en g/planta se presentaron diferencias significativas entre los genotipos; ‘Tangerino’ fue el que presentó el mayor rendimiento promedio (750,5 g/planta), seguido por ‘Tropical Cherry’ (508,6 g/planta) y finalmente ‘Red Cherry’ (199,2 g/planta) (Fig. 5). El mayor rendimiento reportado para ‘Tangerino’ puede estar relacionado con un número superior de flores por inflorescencia respecto a los otros dos materiales, como se encontró en el presente estudio. En cuanto a ‘Tropical Cherry’ y ‘Red Cherry’, Casierra y Aguilar (2008) reportan que existe una variación en la acumulación de sólidos solubles totales en los frutos, según el estado de desarrollo en el cual se cosechan, el cual a su vez depende de la variedad de tomate evaluada, existen por tanto híbridos para los cuales el punto de corte no afecta esta característica, mientras que para otros sí es determinante. Por tal razón, la variación en el rendimiento de ‘Tropical Cherry’ y ‘Red Cherry’, aun cuando el número de frutos y el diámetro de los mismos fue similar, pudo deberse a diferencias en la acumulación de sólidos solubles en los estados de desarrollo del fruto, debidas a diferencias en el comportamiento de cada material.

Resultados similares a los obtenidos para ‘Tangerino’ fueron reportados por Hossain *et al.* (2010, 2015) quienes obtuvieron un rendimiento por planta de 776 g. Monge-Pérez (2015) destaca que el rendimiento es una característica que presenta mucha variabilidad y que es altamente dependiente del material genético, las condiciones ambientales, la presencia de plagas y enfermedades y las prácticas de manejo como densidad de siembra y podas realizadas. Por otra parte, Truffault *et al.* (2016) encontraron rendimientos máximos para plantas de tomate cherry bajo invernadero cercanos a los 400 g/planta. De acuerdo con esto, es evidente la alta variabilidad que se puede presentar

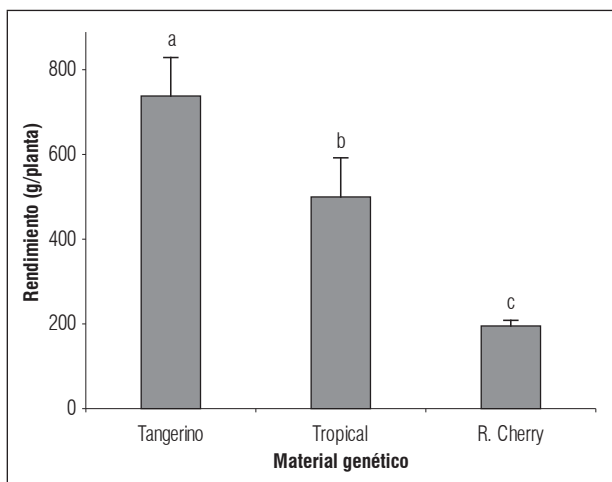


Figura 5. Rendimiento de tres genotipos de tomate cherry. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Las barras de error indican el error estándar.

en el rendimiento de diferentes genotipos evaluados, hecho que concuerda con los resultados obtenidos por Techawongstien *et al.* (2009) quienes en la evaluación de 17 materiales genéticos de tomate cherry obtuvieron rendimientos que oscilaron entre los 14,2 hasta los 1.049 g/planta.

En el ciclo de cultivo se encontraron dos picos de producción; a los 149 y 176 ddt para los tres genotipos evaluados, siendo Tangerino el que presentó valores superiores para la variable en el tiempo, e igualmente, tuvo los picos de mayor proporción en estos dos periodos mencionados, alcanzando hasta 150 g/planta de producción a los 149 ddt (Fig. 6). 'Red Cherry' mostró los menores valores de esta variable durante todo el experimento, alcanzando tan solo un máximo aproximado de 40 g/planta a los 149 ddt. Tropical se situó en un nivel intermedio de producción, alcanzando un máximo de 80 g/planta para los frutos cosechados a los 149 ddt (Fig. 6).

Maduración en poscosecha

El índice de color (IC) establece la variación de la coloración del fruto con base en los valores de a, b y L (Hernández *et al.*, 2007). El estado de madurez de los frutos al momento de la cosecha e inicio de almacenamiento afectó el índice de color, al presentarse los valores más bajos para los frutos cosechados en verde, independientemente del material y ambiente de almacenamiento (Fig. 7). El incremento en el IC a lo

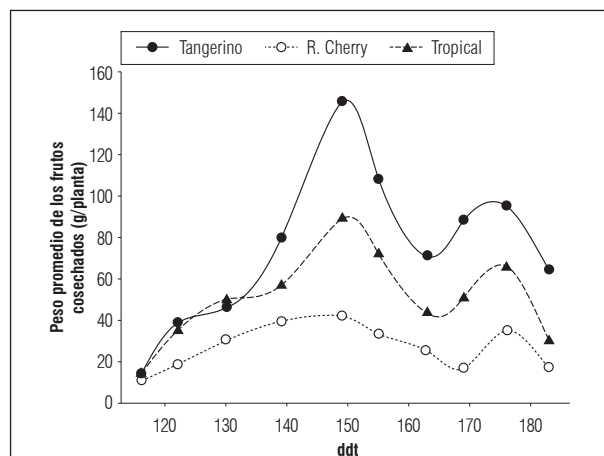


Figura 6. Peso promedio de los frutos cosechados por planta a lo largo del ciclo de cultivo para cada uno de los genotipos evaluados.

largo del tiempo tanto para los frutos cosechados en rojo claro como los cosechados en torneado, indican que a pesar del momento de cosecha y condiciones de almacenamiento, los frutos de tomate llevan a cabo un proceso de maduración en poscosecha. Este proceso de maduración es el resultado de una serie de cambios físicos y químicos que tienen lugar gracias a la producción de etileno que se da por la naturaleza climática del fruto (Galiotta *et al.*, 2005). Con respecto al cambio de color, Padrón *et al.* (2012) argumentan que a medida que los pigmentos rojos inician su síntesis como parte del proceso de maduración en el fruto, los valores de L decrecen y por tanto el IC aumenta.

La temperatura de almacenamiento tuvo efecto significativo sobre el IC de los dos tipos de frutos cosechados (Figs. 7A y B). Almacenamiento a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ causó una disminución promedio de 5,4 unidades para los frutos rojo claro y de 4,5 para los frutos torneados. En el caso de los frutos rojo claro se obtuvo un valor máximo de IC de 15,8 a temperatura ambiente y de 9,6 a $5 \pm 1^\circ\text{C}$. Para los frutos torneados, el máximo IC alcanzado a temperatura ambiente fue 14,2 y a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ fue 4,7. Estos resultados muestran que la menor temperatura permitió reducir la síntesis de pigmentos y parte del proceso de maduración. Al respecto, se ha reportado que una maduración a temperatura inferior a 12°C , considerada sub-óptima para la síntesis de licopeno, permite la acumulación de β -caroteno en los cromoplastos (Shewfelt *et al.*, 1988; López-Camelo *et al.*, 2003). Esta acumulación diferencial de pigmentos, sumada a una reducción en la degradación de clorofila y la acumulación de carotenoides por el efecto de

las bajas temperaturas sobre la actividad de enzimas como la clorofilasa (Tietel *et al.*, 2012) resultan en la obtención de frutos anaranjados o amarillentos.

Entre los materiales genéticos evaluados se evidenciaron diferencias significativas en el IC independiente de la temperatura de almacenamiento (Figs. 7C y D).

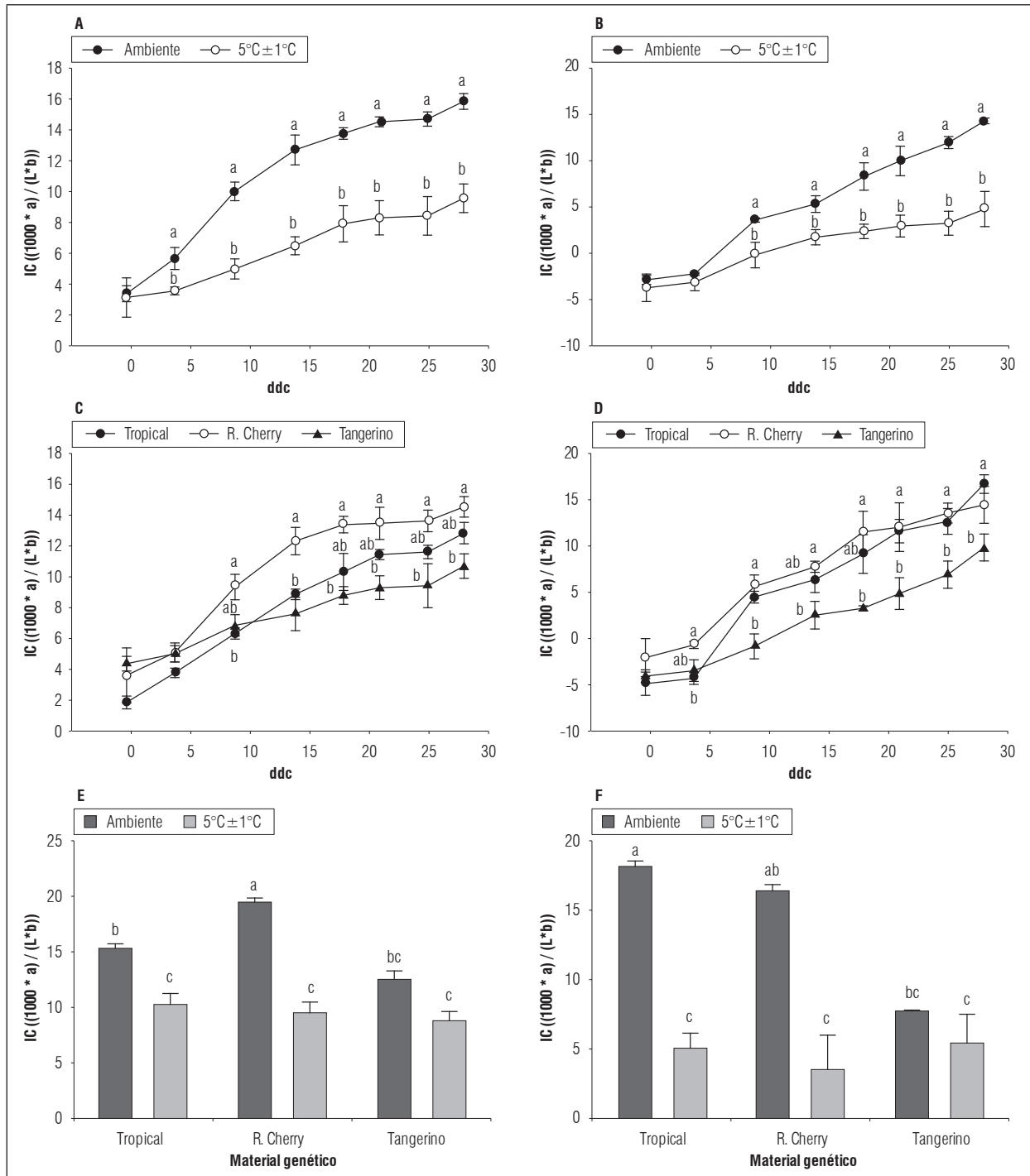


Figura 7. Efecto de la temperatura de almacenamiento (A y B), del material genético (C y D) y la combinación de factores (E y F) sobre el IC de frutos cosechados en estado rojo claro (A, C y E) y frutos cosechados en estado torneado (B, D y F). Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Las barras de error indican el error estándar.

A partir de los 9 ddc y hasta los 28 ddc (periodo de evaluación), la variedad Red Cherry presentó los IC más altos y significativamente mayores a los presentados por el híbrido Tangerino. Para el caso del híbrido Tropical Cherry se obtuvieron valores medios para el IC respecto a los otros dos materiales genéticos, sin diferencias significativas con los mismos. Estos resultados sugieren que 'Red Cherry' presenta un proceso de maduración más rápido en comparación con 'Tangerino' donde el proceso de maduración, denotado por el cambio en la coloración, es más lento.

El efecto combinado de la temperatura y el material genético sobre los frutos cosechados, tanto en verde como en rojo, mostró que los mayores IC se presentaron en los frutos almacenados a temperatura ambiente y que estos fueron significativamente mayores al de los frutos almacenados a $5 \pm 1^\circ\text{C}$, este es el caso de 'Tropical Cherry' y 'Red Cherry' (Figs. 7E y F). Dicho comportamiento fue consistente a partir de los 9 ddc hasta el final del periodo de evaluación (28 ddc). Para 'Tangerino' no hubo una reducción significativa del IC cuando los frutos se almacenaron en refrigeración independientemente del estado de madurez de cosecha. Los resultados de la interacción de los factores concuerdan con el evidenciado para el efecto individual de la temperatura y el material genético. Para el caso de 'Tangerino', la ausencia de diferencias entre frutos rojo claro y torneados almacenados a temperatura ambiente y a $5 \pm 1^\circ\text{C}$, indican que la refrigeración no juega un papel crucial en proceso de maduración de los frutos de este material, si se considera únicamente el IC como indicador del proceso de maduración.

Las alteraciones en los cambios fisiológicos que tienen lugar en el fruto cuando este es almacenado a baja temperatura permite explicar la disminución del IC de los frutos de Tropical y Red Cherry. El comportamiento evidenciado para Tangerino, es decir, un menor IC en las diferentes condiciones de almacenamiento puede deberse a características propias del híbrido. Durante la maduración del tomate, inicialmente se sintetiza fitoeno (incoloro), para dar lugar a β -caroteno (anaranjado, amarillo pálido), licopeno (rojo), xantofilas y carotenoides hidroxilados (amarillos). De acuerdo con esto, el híbrido tangerino puede presentar una menor síntesis natural de pigmentos, en especial pigmentos rojos en el fruto, o una mayor síntesis de los pigmentos de tonalidades amarillas (Shewfelt *et al.*, 1988; López-Camelo *et al.*, 2003).

La ausencia de diferencias entre los ambientes de almacenamiento para los frutos de 'Tangerino' sugiere que este híbrido cuenta con características

genéticas específicas que permiten que el proceso de maduración sea mucho más lento y por tanto que la vida en poscosecha sea mayor. Sin embargo, es necesario investigaciones posteriores que permitan elucidar los mecanismos que este genotipo presenta y que interfieren directamente con la maduración del fruto.

CONCLUSIONES

Los materiales genéticos evaluados evidenciaron un comportamiento similar en cuanto a fenología, presentando únicamente diferencias en el comienzo de los estadios secundarios 207 a 209, 514 a 517 y 705 a 719. Fue evidente un comportamiento más precoz en el híbrido Tangerino respecto a la formación de brotes laterales. 'Tangerino' fue el material genético que presentó mayor producción de flores por inflorescencia, mayor peso promedio de frutos cosechados, mayor número de frutos por planta y consecuentemente una respuesta de rendimiento superior respecto a los otros dos materiales genéticos. En poscosecha, a temperatura ambiente los frutos del genotipo Red Cherry presentaron un cambio más veloz a tonalidad rojiza seguido por 'Tropical Cherry' y finalmente por 'Tangerino'. En temperatura de $5 \pm 1^\circ\text{C}$, los dos primeros materiales fueron similares en maduración. 'Tangerino' presentó una maduración de fruto similar y más lenta en ambas condiciones de almacenamiento. Estos resultados permiten afirmar que el genotipo más indicado para producción bajo las condiciones evaluadas es el híbrido Tangerino.

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

- Abadie, T. y A. Berretta. 2001. Caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos. En: Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. PROCISUR, e IICA. Montevideo, Uruguay, <http://www.procisur.org.uy/data/documentos/21.pdf>, consulta: junio de 2016.
- Agudelo, A., N. Ceballos y F. Orozco. 2011. Caracterización morfológica del tomate tipo cereza (*Solanum lycopersicum* L.). *Agron.* 19(2), 44-53.
- Boada, M., J. Mejía, N. Ceballos y F. Orozco. 2010. Evaluación agronómica de treinta introducciones de tomate

- silvestre tipo cereza (*Solanum lycopersicum* L.) Agron. 18(2), 59-67.
- Cachoeira, S., A. do Espirito Santo, C. Bona y R. Sossela de Freitas. 2005. Comparative morphological analysis of cherry tomato fruits from three cropping systems. *Sci. Agric.* 62(3), 296-298. Doi: 10.1590/S0103-90162005000300015
- Casierra, F. y O. Aguilar. 2008. Calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agron. Colomb.* 26(2), 300-307.
- Castellanos, J. (ed). 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri SC, Celaya, Guanajuato, México.
- CATIE. 1990. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate. Proyecto Regional Manejo integrado de plagas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Ceballos, N. y F. Vallejo. 2012. Evaluating the fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 65, 6593-6604.
- CIT. 2000. Sumario Información Tecnológica. Información Tecnológica 11(5), 192.
- FAO. 2014. Anuario estadístico de la FAO. En: FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), <http://www.fao.org/3/a-i3592s>; consulta: febrero de 2015.
- FAOSTAT. 2014. FAO Statistical pocketbook 2014. En: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/383d384a-28e6-47b3-a1a2-2496a9e017b2>; consulta: diciembre de 2016.
- Feller, C., H. Bleiholder, L. Buhr, H. Hack, M. Hess, R. Klose, U. Meier, R. Stauss, T. Van Den Boom y E. Weber. 1995. Phänologische Entwicklungsstadien von Gemüsepflanzen: II. Fruchtgemüse und Hülsenfrüchte. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 47, 217-232.
- García R., A. Berenguer, M. Tormo, M. Sanchez, J. Quiros, C. Navarro, R. Arnaud, M. Dorronsoro, M. Chirlaque, A. Barricarte, E. Ardanaz, P. Amiano, C. Martinez, A. Agudo y C. Gonzalez. 2004. Dietary sources of vitamin C, vitamin E and specific carotenoides in Spain. *Br. J. Nutr.* 91(6), 1005-1011. Doi: 10.1079/BJN20041130
- Galieta, G., F. Harte, D. Molinari, R. Capdevielle y W. Diño. 2005. Aumento de la vida útil poscosecha de tomate usando una película de proteína de suero de leche. *Rev. Iberoamer. Tecnol. Postcosecha* 6(2), 117-123.
- Garzón, J. 2011. Caracterización y evaluación morfoagronómica de la colección de tomate tipo cherry de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Giovannucci E. 1999. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. *J. Natl. Cancer Inst.* 91(4), 317-331. Doi: 10.1093/jnci/91.4.317
- Hernández, M., O. Martínez y J. Fernández-Trujillo. 2007. Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. *Sci. Hortic.* 111(3), 220-227. Doi: 10.1016/j.scienta.2006.10.029
- Hernández, S. 2013. Estudio del comportamiento de distintos tipos de sustratos de lana de roca, en respuesta al aumento de oxígeno disuelto en la solución nutritiva respecto a la producción y calidad de un cultivo de tomate tipo "cherry pera". En: Universidad de Almería, <http://repositorio.ual.es:8080/jspui/handle/10835/2641#.V2Af8bt97IU>; consulta: abril de 2016.
- Hossain, M., V. Strezov, K. Chan y P. Nelson. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere* 78(9), 1167-1171. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.01.009
- Hossain, M., V. Strezov y P. Nelson. 2015. Comparative assessment of the effect of wastewater sludge biochar on growth, yield and metal bioaccumulation of cherry tomato. *Pedosphere* 25(5), 680-685. Doi: 10.1016/S1002-0160(15)30048-5
- Lobo, M. y C. Medina. 1994. Phenotypic evaluation of Latin American tomato cultivars. p. 26. En: Tomato genetics cooperative report. Cornell University, Nueva York, USA.
- López-Camelo, A., P. Gómez y F. Artés. 2003. Use of a* and b* colour parameters to assess the effect of some growth regulators on carotenoid biosynthesis during postharvest tomato ripening. *Acta Hort.* 599, 305-308. Doi: 10.17660/ActaHortic.2003.599.36
- Machado, J., L. Braz y G. Grilli. 2003. Desempenho de produção de cultivares de tomateiro tipo Cereja em diferentes espaçamentos (CD). *Hortic. Bras.* 21(2), 356-356.
- Marim, B., D. Silva, M. Guimarães y G. Belfort. 2005. Sistemas de tutoramento e condução do tomateiro visando produção de frutos para consumo in natura. *Hortic. Bras.* 23(4), 951-955. Doi: 10.1590/S0102-05362005000400018
- Márquez, C., P. Cano, M. Chew, A. Moreno y N. Rodríguez. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 12(2), 183-188. Doi: 10.5154/r.rchsh.2005.01.001
- Monge-Pérez, J. 2015. Evaluación de 60 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *InterSedes* 16(33), 2215-2458.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Nuez, F. 1999. El cultivo del tomate. 2^{da} ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Padrón, C., G. Padrón, A. Montes y R. Oropeza. 2012. Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicum esculentum* mill.) con sistema de visión

- computarizada durante la maduración. *Agron. Costar.* 36(1), 97-111.
- Pérez, J., G. Hurtado, V. Aparicio, Q. Argueta y M. Larín. 2002. Guía técnica cultivo de tomate. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, San Salvador.
- Pratta, G., L. Cánepa, R. Zorzoli y L. Picardi. 2003. Efecto del germoplasma silvestre sobre caracteres de interés agronómico en híbridos intra e interespecíficos del género *Lycopersicon*. *Rev. Inv. Fac. Cienc. Agrar.* 3(3), 13-21
- Pulvento, C., M. Riccardi, R. d'Andria, A. Lavini y D. Calandrelli. 2008. Effects of deficit irrigation on two cherry tomato cultivars in hilly areas. *Options Méditerranéennes* 84, 177-184.
- Fullelove, G., R. Wright, N. Meurant, J. Barnes y R. O'Brien. 1998. Tomato information kit. National Library of Australia, Queensland, Australia.
- Restrepo E., F. Vallejo y M. Lobo. 2008. Fenología de la floración en tomate cultivado y especies silvestres relacionadas. *Acta Agron.* 57(2), 89-94.
- Santiago J., M. Mendoza y F. Borrego. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agron. Mesoamer.* 9(1), 59-65.
- Shewfelt, R., C. Thai y J. Davis. 1988. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. *J. Food Sci.* 53(5), 1433-1437. Doi: 10.1111/j.1365-2621.1988.tb09293.x
- Techawongstien, S., C. Lapjit, K. Khamkula, J. Komnoo, W. Yokla, T. Prasomsuay y P. Suemanotham. 2009. Varietal improvement of cherry tomato for good quality and high yield. *Khon Kaen Agr. J.* 37, 51-60.
- Tietel, Z., E. Lewinsohn, E. Fallik y R. Porat. 2012. Importance of storage temperatures in maintaining flavor and quality of mandarins. *Postharvest Biol. Technol.* 64(1), 175-182. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.07.009
- Truffault, V., N. Gest, C. Garchery, A. Florian, A. Fernie, H. Gautier y R. Stevens. 2016. Reduction of MDHAR activity in cherry tomato suppresses growth and yield and MDHAR activity is correlated with sugar levels under high light. *Plant Cell Environ.* 39, 1279-1292. Doi: 10.1111/pce.12663
- UCDAVIS (University of California, Davis). 2016. Maturity & quality. En: UCDAVIS, Postharvest Technology: Maintaining Produce Quality & Safety, <http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/TomatoPhotos/?repository=30014&a=83755>; consulta: junio de 2016.

Habilidad combinatoria en función de la endogamia para producción y peso del fruto en *Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.

Combining ability in the function of inbreeding for yield and average fruit weight in *Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.

JAVIER ALONSO RESTREPO-SALAZAR^{1, 3}
FRANCO ALIRIO VALLEJO-CABRERA¹
EDWIN FERNANDO RESTREPO-SALAZAR²



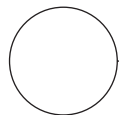
Fruto del híbrido entre líneas endogámicas S₂ (Unapal-Abanico-75-1 × Unapal-Llanogrande-2).

Foto: J.A. Restrepo-Salazar

RESUMEN

Para estimar las habilidades combinatorias general (HCG) y específica (HCE) en función de la endogamia, se evaluaron tres cruzamientos dialélicos de zapallo *C. moschata* Duch. ex Poir., constituidos cada uno por seis progenitores con tres niveles de endogamia (S₀, S₁ y S₂). Se utilizó un diseño anidado de dos etapas con cuatro repeticiones. Se analizaron las variables producción de frutos por planta (PPF) y peso promedio del fruto (PPF). En el nivel de endogamia S₀, solamente la HCG fue importante en la expresión de PFP y PPF. En el nivel de endogamia S₁, la HCG y HCE fueron importantes en el control genético de PFP y PPF. En el nivel de endogamia S₂, la HCG y HCE fueron importantes en la expresión de PPF. Los genotipos más indicados para mejorar PPF con destino al mercado de consumo en fresco, constituido por consumidores que prefieren frutos enteros y no en rodajas, son el progenitor S₀ UNAPAL-Dorado (por selección recurrente intrapoblacional) y el híbrido entre líneas endogámicas S₂ UNAPAL-Abanico-75-1 × UNAPAL-Llanogrande-2 (por selección recurrente recíproca). Igualmente, los genotipos recomendados para mejorar PPF para el mercado de consumo en fresco o uso agroindustrial, conformado por consumidores en los cuales el PPF no es una característica limitante para su adquisición, son la línea endogámica S₂ de UNAPAL-Abanico-75-2 (por selección recurrente intrapoblacional), el híbrido entre líneas endogámicas S₁ UNAPAL-Abanico-75-1 × UNAPAL-Llanogrande-1 y el híbrido entre líneas endogámicas S₂ UNAPAL-Abanico-75-1 × UNAPAL-Dorado (por selección recurrente recíproca).

Palabras clave adicionales: zapallo, consumo en fresco, uso agroindustrial, cruzamiento dialélico, líneas endogámicas, híbridos.



¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira (Colombia). ORCID Restrepo-Salazar, J.A.: 0000-0002-0293-0709; ORCID Vallejo-Cabrera, F.A.: 0000-0002-2739-0745

² Escuela de Ingenierías, Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Palmira (Colombia). ORCID Restrepo-Salazar, E.F.: 0000-0002-0408-3312

³ Autor para correspondencia. jarestrepos@unal.edu.co

ABSTRACT

In order to estimate the general and specific combining ability (GCA and SCA) in the function of inbreeding, three diallel crossings of butternut squash *C. moschata* Duch. ex Poir. were evaluated, each coming from six parents with three levels of inbreeding (S_0 , S_1 , S_2). A two-stage nested design was used with four replicates. Yield per plant (YPP) and average fruit weight (AFW) were analyzed. In the S_0 generation, only the GCA effects were important in the expression of YPP and AFW. In the first generation of inbreeding (S_1), both the GCA and SCA effects were important in the genetic control of YPP and AFW. In the second generation of inbreeding (S_2), both the GCA and SCA effects were again significant in the expression of AFW. The UNAPAL-Dorado (S_0 parent) and UNAPAL-Abanico-75-1 \times UNAPAL-Llanogrande-2 (hybrid of S_2 inbred lines) are the most indicated genotypes for improving the AFW with intra-population recurrent and reciprocal recurrent selection, respectively, with the target market of fresh consumption by consumers who prefer to buy whole fruits and not sliced fruits. Similarly, the recommended genotypes for improving the AFW for the fresh consumption market and for agro-industrial use by consumers, for whom the weight of the fruit is not a limiting trait for acquisition, include UNAPAL-Abanico-75-2 (S_2 inbred line) with intra-population recurrent selection, UNAPAL-Abanico-75-1 \times UNAPAL-Llanogrande-1 (hybrid of S_1 inbred lines) and UNAPAL-Abanico-75-1 \times UNAPAL-Dorado (hybrid of S_2 inbred lines), both with reciprocal recurrent selection.

Additional key words: butternut squash, fresh consumption, agro-industrial use, diallel crossing, inbred lines, hybrids.

Fecha de recepción: 09-07-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

Cucurbita moschata (Duch. ex Lam.) Duch. ex Poir. es la especie domesticada del género *Cucurbita* más cultivada y consumida en varios departamentos de Colombia. Esta especie es un cultivo importante para la seguridad alimentaria (Restrepo y Vallejo, 2008), pues posee entre otras bondades un alto valor nutritivo debido a la presencia de β -caroteno (provitamina A), carotenos totales, ácido ascórbico, carbohidratos, proteínas y minerales (Restrepo, 2015).

En la especie *C. moschata* no existe un consenso acerca del tipo de acción génica predominante en la expresión y control genético de la variable PFP en cruzamientos dialélicos. En cruzamientos entre progenitores S_0 , Espitia *et al.* (2006) y Ortiz *et al.* (2013) reportan acción génica aditiva; Ruiz *et al.* (2004) y Toro (2009) sustentan acción génica no aditiva; Ortiz *et al.* (2013) y Nisha y Veeraragavathatham (2014) documentaron que ambos efectos fueron importantes. En cruzamientos dialélicos entre líneas endogámicas S_1 se ha reportado efectos aditivos y no aditivos (de los genes) como responsables de la expresión y control genético de PFP (Mohanty, 2000; Espitia *et al.*, 2006; Jha *et al.*, 2009; Pandey *et al.*, 2010; Ortiz *et al.*, 2013; El-Tahawey *et al.*, 2015; Begum *et al.*, 2016), mientras que Rana *et al.*

(2015) sustenta sólo acción génica no aditiva. En cruzamientos dialélicos entre líneas endogámicas S_2 , también se ha registrado la importancia de ambos efectos en la expresión de PFP (Ortiz *et al.*, 2013).

Para PFP en *C. moschata* tampoco existe un consenso sobre el tipo de acción génica predominante en la expresión y control genético de la variable. En cruzamientos entre progenitores S_0 , Gwanama *et al.* (2001) y Espitia (2004) hallaron efectos aditivos; Ruiz *et al.* (2004) y Nisha y Veeraragavathatham (2014) sustentaron efectos aditivos y no aditivos. En cruzamientos dialélicos entre líneas endogámicas S_1 , Espitia (2004), Jha *et al.* (2009), El-Tahawey *et al.* (2015) y Begum *et al.* (2016) detectaron efectos aditivos y no aditivos; mientras que Mohanty (2000) reportó solo efectos no aditivos de los genes responsables en la expresión de PFP.

Los objetivos específicos de este estudio fueron: a) estimar los efectos de habilidad combinatoria general y específica en la expresión de la producción por planta y el peso promedio del fruto, en tres cruzamientos dialélicos de *Cucurbita moschata*, cada uno con diferente grado de endogamia (S_0 , S_1 , S_2). b) Identificar

progenitores o híbridos F_1 sobresalientes por sus efectos de habilidad combinatoria y por el comportamiento promedio de sus variables.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira (CEUNP), localizado en Candelaria, Valle del Cauca (Colombia), con coordenadas $3^{\circ}25'34,42''$ N y $76^{\circ}25'47,57''$ W, 980 msnm, 26°C de temperatura promedio anual, 1.100 mm de precipitación promedio anual y 76% de humedad relativa media.

Se evaluaron tres cruzamientos dialélicos de zapallo *C. moschata*, conformados cada uno por seis progenitores con diferentes niveles de endogamia (progenitores a libre polinización S_0 , líneas endogámicas S_1 y S_2 , derivadas de los progenitores S_0). Los progenitores S_0 fueron: UNAPAL-Abanico-75-1, UNAPAL-Abanico-75-2, UNAPAL-Dorado, IC3A, UNAPAL-Llanogrande-1 y UNAPAL-Llanogrande-2, los cuales fueron seleccionados por sus características sobresalientes tamaño y color externo del fruto, color y grosor de la pulpa y origen geográfico diverso. Los frutos fueron seleccionados utilizando un índice de selección ponderado, en el cual se incluyeron las variables peso promedio del fruto (2,0-4,0 kg), grosor de pulpa (3,5-5,0 cm) y color salmón de la pulpa. En cada cruzamiento dialélico se evaluaron 21 genotipos (seis progenitores y 15 cruzamientos directos).

La evaluación agronómica de los tres cruzamientos dialélicos se realizó de manera conjunta en un solo experimento durante el segundo semestre de 2011. Se utilizó un diseño anidado de dos etapas con cuatro repeticiones. Se evaluaron dos factores: factor generaciones (factor A) y factor genotipos (factor B). El factor A conformado por tres niveles (generación S_0 , generación S_1 y generación S_2) y el factor B constituido por 63 niveles (21 genotipos S_0 + 21 genotipos S_1 + 21 genotipos S_2). Los 21 genotipos S_0 quedaron anidados bajo el nivel generación S_0 , 21 genotipos S_1 quedaron anidados bajo el nivel generación S_1 y 21 genotipos S_2 quedaron anidados bajo el nivel generación S_2 . La distancia de siembra fue de $2,5 \times 3,0$ m entre surcos y entre plantas, respectivamente. La parcela experimental consistió de un surco de cinco plantas ($37,5 \text{ m}^2$). Como parcela útil se utilizaron las tres plantas centrales. Se evaluaron las variables producción de frutos por planta (PPF en kg) y peso promedio del fruto (PPF en kg).

El análisis genético y estadístico para estimar la habilidad combinatoria de los diferentes genotipos, se realizó empleando el método propuesto por Hallauer y Miranda (Hallauer *et al.*, 2010). El modelo estadístico fijo asociado al diseño experimental fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + b_k + D_l + (Db)_{lk} + (1/rn)\Sigma\Sigma e_{ijkl} \quad (1)$$

Donde:

i, j : 1, 2,.....p padres; $p = 6$;

k : 1, 2,.....r repeticiones; $r = 4$;

μ : efecto de la media general del experimento;

g_i : efecto de habilidad combinatoria general del progenitor "i";

g_j : efecto de habilidad combinatoria general del progenitor "j";

S_{ij} : efecto de habilidad combinatoria específica del híbrido entre los progenitores "i" x "j";

b_k : efecto del bloque k;

D_l : efecto de la generación de endogamia l;

$(Db)_{lk}$: efecto de la interacción de la generación de endogamia por bloques;

$(1/rn)\Sigma\Sigma e_{ijkl}$: error experimental asociado con la observación Y_{ijkl} ;

Y_{ijkl} : valor promedio fenotípico observado de la variable en estudio para el cruzamiento (ij) en la generación de endogamia l.

El análisis de varianza y la estimación de los efectos genéticos para las variables de interés, se realizaron mediante el uso de los programas computacionales SAS® (paquete SAS/STAT®, versión 9.4 del sistema SAS® para Windows®) de SAS Institute Inc.® (2012) y GENES (versión Windows®, 2004.2.1) de Cruz (2013). Para algunas fuentes de variación del análisis de varianza se utilizó la prueba F y para los efectos genéticos la prueba de T de Student.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

Se observaron diferencias significativas entre las generaciones de endogamia S_0 , S_1 y S_2 de *C. moschata* para las variables producción por planta (PPF) y peso promedio del fruto (PPF), indicando que al menos una de las generaciones resultó ser significativamente diferente del resto (Tab. 1). Resultados similares fueron

publicados en generaciones de endogamia S_0 , S_1 y S_2 de *C. moschata* para PFP (Ortiz *et al.*, 2013). Igualmente, se detectaron diferencias significativas en la fuente de variación genotipos en cada una de las tres generaciones endogámicas evaluadas, y por ende, se puede inferir que existe al menos un padre o un híbrido que presentó un promedio de PFP y PPF diferente estadísticamente del resto de promedios en cada una de dichas generaciones (Tab. 1). Resultados similares fueron reportados en *C. moschata* para PFP (Espitia *et*

al., 2006) y PPF (Espitia, 2004) en generaciones de endogamia S_0 y S_1 .

En la fuente de variación progenitores no se encontraron diferencias estadísticas en la generación de endogamia S_0 para PFP y PPF, lo cual se debió posiblemente a que en este trabajo se utilizó un índice de selección que incluyó entre otras variables el PPF, de tal manera que se seleccionaron frutos de los seis progenitores S_0 con valores similares de esta variable (2,0-4,0 kg).

Tabla 1. Cuadrados medios (CM) del ANDEVA para las variables producción de frutos por planta (PFP) y peso promedio del fruto (PPF) en tres generaciones de endogamia de *C. moschata*, según el método de Hallauer y Miranda (Hallauer *et al.*, 2010).

Fuentes de variación	GI	Variables	
		PFP (kg)	PPF (kg)
		CM	CM
Repeticiones (R)	3	3,47	0,73
Generaciones (D)	2	34,60 *	7,56 **
R*D	6	10,18	1,02 *
Genotipos(G)	60	57,24 **	3,28 **
Genotipos(G S_0)	20	26,59 **	1,51 **
Progenitores (P_0)	5	14,22	1,20
Cruzas (C_0)	14	16,87 *	1,34 **
HCG	5	28,23 *	3,18 **
HCE	9	10,56	0,31
P_0 vs. C_0	1	224,54 **	5,55 **
Genotipos(G S_1)	20	61,43 **	3,71 **
Progenitores (P_1)	5	31,62 **	1,81 **
Cruzas (C_1)	14	44,23 **	2,85 **
HCG	5	41,35 **	3,89 **
HCE	9	45,83 **	2,27 **
P_1 vs. C_1	1	451,29 **	25,13 **
Genotipos(G S_2)	20	83,70 **	4,62 **
Progenitores (P_2)	5	21,92	1,15 *
Cruzas (C_2)	14	32,21 **	2,44 **
HCG	5	58,79 **	4,62 **
HCE	9	17,42	1,22 **
P_2 vs. C_2	1	1113,43 **	52,55 **
Error	180	9,63	0,40
Media		12,28	3,39
CV%		25,27	18,72

*, **: Significativos al 5 y 1% de probabilidad, respectivamente, según la prueba de F. HCG: habilidad combinatoria general; HCE: habilidad combinatoria específica; CV: coeficiente de variación.

Este rango de selección corresponde a valores óptimos de PPF para la comercialización de frutos dirigidos al mercado de consumo en fresco conformado por consumidores que prefieren comprar el fruto entero y no en rodajas (Tab. 1). Estos resultados contrastan con los registrados en generaciones de endogamia S_0 de *C. moschata* para PPF (Espitia *et al.*, 2006; Ortiz *et al.*, 2013) y PPF (Espitia, 2004). En la generación de endogamia S_1 si se presentaron diferencias significativas entre progenitores para PPF y PPF (Tab. 1). Resultados similares fueron reportados en generaciones de endogamia S_1 de *C. moschata* para PPF (Ortiz *et al.*, 2013) y PPF (Espitia, 2004); mientras que diferencias no significativas fueron publicadas para PPF por Espitia *et al.* (2006). En la generación S_2 solo se registraron diferencias para PPF (Tab. 1); mientras que Ortiz *et al.* (2013), si registraron diferencias para PPF.

La significancia estadística de los cuadrados medios de PPF y PPF para la fuente de variación cruzas, en las tres generaciones, demuestran que al menos uno de los cruzamientos entre progenitores S_0 o entre líneas S_1 , o entre líneas S_2 , presentó comportamiento promedio de PPF o PPF diferente del resto (Tab. 1). De lo anterior se infiere que independientemente del nivel de endogamia, es probable encontrar al menos un híbrido con un promedio de PPF o PPF significativamente diferente del resto.

La habilidad combinatoria general (HCG) en la generación de endogamia S_0 fue significativa para PPF y PPF; sin embargo, la habilidad combinatoria específica (HCE) no fue significativa. La HCG y HCE en la generación de endogamia S_1 , fueron altamente significativas para PPF y PPF. En la generación S_2 , la HCG fue altamente significativa para PPF y PPF; mientras que la HCE solo fue estadísticamente significativa para PPF. Para el contraste padres vs cruzas (P vs. C), en las tres generaciones de endogamia, se observaron diferencias altamente significativas en PPF y PPF, indicando que el comportamiento promedio de todos los cruzamientos F_1 (entre progenitores S_0 y entre líneas S_1 o S_2) fue superior al comportamiento promedio de los progenitores en conjunto, señalando efectos heteróticos significativos en los tres cruzamientos dialélicos para PPF y PPF (Tab. 1). Resultados similares fueron reportados en generaciones S_0 y S_1 de *C. moschata* para PPF y PPF (Espitia *et al.*, 2006; Espitia, 2004) y en generaciones S_0 , S_1 y S_2 para PPF (Ortiz *et al.*, 2013).

En el cruzamiento dialélico entre progenitores S_0 solo los efectos aditivos (HCG) fueron importantes en la expresión genética de PPF (Tab. 1). Resultados

similares fueron reportados en *C. moschata* por, Espitia *et al.* (2006) y Ortiz *et al.* (2013), quienes encontraron que la acción génica aditiva fue importante en la expresión genética de PPF en cruzamientos dialélicos entre progenitores S_0 . En contraste, en cruzamientos dialélicos entre progenitores S_0 de *C. moschata* se ha publicado que sólo la acción génica no aditiva fue importante (Ruiz *et al.*, 2004; Toro, 2009). Por otro lado, en esta especie en un cruzamiento dialélico entre progenitores S_0 para PPF se ha registrado que ambos efectos fueron importantes (Ortiz *et al.*, 2013; Nisha y Veeraragavathatham, 2014).

En el cruzamiento dialélico entre líneas endogámicas S_1 la HCG y HCE, indicaron la importancia de la acción génica aditiva y no aditiva en la expresión y control genético de la PPF (Tab. 1). Resultados similares fueron registrados por Mohanty (2000), Espitia *et al.* (2006), Jha *et al.* (2009), Pandey *et al.* (2010), Ortiz *et al.* (2013), El-Tahawey *et al.* (2015) y Begum *et al.* (2016) en *C. moschata*, los cuales encontraron que los efectos aditivos y no aditivos de los genes fueron responsables de la expresión de PPF en cruzamientos dialélicos entre líneas endogámicas S_1 . Contrariamente, Rana *et al.* (2015) publicaron que sólo la acción génica no aditiva fue la importante en la expresión de PPF.

En el cruzamiento dialélico entre líneas endogámicas S_2 solo los efectos aditivos (HCG) fueron importantes para PPF (Tab. 1). Estos resultados contrastan con los registrados por Ortiz *et al.* (2013), quienes observaron que ambos efectos fueron estadísticamente significativos para PPF en cruzamientos dialélicos entre líneas endogámicas S_2 de *C. moschata*.

En el cruzamiento dialélico entre progenitores S_0 de *C. moschata* para la expresión y control genético del PPF solo los efectos genéticos aditivos fueron importantes (Tab. 1). Resultados similares fueron reportados por Gwanama *et al.* (2001) y Espitia (2004) en *C. moschata*, quienes encontraron que solo los efectos aditivos fueron importantes para esta variable en el cruzamiento dialélico entre progenitores S_0 . En contraste, para PPF también se ha reportado la importancia de los efectos aditivos y no aditivos (Ruiz *et al.*, 2004; Nisha y Veeraragavathatham, 2014).

En los cruzamientos dialélicos entre líneas endogámicas S_1 y S_2 la HCG y HCE fueron importantes en PPF, indicando la importancia de la acción génica aditiva y no aditiva en su expresión genética (Tab. 1). Espitia (2004), Jha *et al.* (2009), El-Tahawey *et al.* (2015) y Begum *et al.* (2016), también encontraron en líneas

endogámicas S_1 de *C. moschata* la importancia de efectos aditivos y no aditivos de los genes en la expresión de PPF. Por otro lado, Mohanty (2000) al realizar un cruzamiento dialélico entre líneas S_1 en *C. moschata*, reportó solo efectos no aditivos de los genes como los responsables de la expresión de PPF.

Al realizar un análisis global entre generaciones de endogamia se puede deducir, que los efectos aditivos fueron importantes en la expresión de PPF y PPF en todas las generaciones endogámicas evaluadas; mientras que los efectos no aditivos de los genes solo fueron importantes en los cruzamientos dialélicos entre líneas endogámicas en comparación con el cruzamiento dialélico entre progenitores S_0 para estas variables. Este mismo comportamiento ha sido reportado por Espitia (2004) y Espitia *et al.* (2006) en *C. moschata* para esas variables, comparando el cruzamiento dialélico entre progenitores S_0 con el cruzamiento dialélico entre líneas endogámicas S_1 . Resultados iguales han sido reportados en maíz por varios autores (Cossa *et al.*, 1990; Rezende y Souza Junior, 2000), los cuales dan como una posible explicación a esto, la mayor divergencia genética que puede presentarse en los cruzamientos entre progenitores de base genética estrecha (S_1 y S_2) comparada con la que se presenta en cruzamientos entre progenitores de base amplia (S_0).

Heterosis promedia para PPF y PPF

La heterosis promedia en las generaciones de endogamia S_1 y S_2 fue significativa para PPF y PPF; no así para la generación S_0 (Tabs. 2 y 3). La mayor expresión de la heterosis promedia detectada en este estudio, en el dialélico entre líneas endogámicas S_1 y S_2 en comparación con el dialélico de progenitores S_0 , ha sido explicada por otros autores como Hallauer *et al.* (2010), los cuales han reportado que las progenies de líneas endogámicas pueden presentar una mayor heterosis con respecto a progenies de poblaciones de base genética amplia, cuando se utilizan como progenitores líneas genéticamente divergentes y se presentan niveles de dominancia unidireccional en la mayoría de loci que codifican por el carácter que se quiere mejorar.

Efectos de habilidad combinatoria para PPF

Para PPF ninguno de los progenitores S_0 o de las líneas endogámicas S_1 y S_2 , presentaron efectos de HCG significativos (Tab. 2), lo cual fue debido posiblemente a que en este trabajo de investigación la producción

de las diferentes generaciones de endogamia estuvo acompañada de selección, donde los frutos seleccionados de los progenitores S_0 o de las líneas endogámicas S_1 y S_2 , tenían pesos promedios intermedios (2,0-4,0 kg), y por ende, no necesariamente correspondían a individuos con las mayores PPF. Algunas investigaciones reportaron que ningún progenitor S_0 presentó efectos de HCG significativos para PPF en *C. moschata* (Ruiz *et al.*, 2004; Toro, 2009) y en ninguna línea endogámica S_1 (Rana *et al.*, 2015). Otras investigaciones registraron al menos un progenitor S_0 con efectos de HCG significativos (Espitia *et al.*, 2006; Ortiz *et al.*, 2013; Nisha y Veeraragavathatham, 2014). Contrariamente a lo observado en este estudio, Mohanty, (2000), Espitia *et al.* (2006), Jha *et al.* (2009), Pandey *et al.* (2010), Ortiz *et al.* (2013), El-Tahawey *et al.* (2015) y Begum *et al.* (2016) encontraron al menos una línea endogámica S_1 con efectos de HCG estadísticamente significativos para PPF en *C. moschata*. Por otro lado, Ortiz *et al.* (2013) tampoco encontraron líneas endogámicas S_2 con efectos de HCG significativos para dicha variable.

Para PPF ningún cruzamiento registró efectos de HCE significativos (Tab. 2). Las causas podrían ser la falta de complementación genética entre los progenitores que participaron en los cruzamientos o la carencia de niveles importantes de divergencia genética, aunque ésta última causa podría ser la menos posible, pues los progenitores S_0 tienen un origen geográfico diferente (IC3A: Costa Rica-Centroamérica; UNAPAL-Abanico-75-1 y UNAPAL-Abanico-75-2: Magdalena; UNAPAL-Dorado: Valle del Cauca; UNAPAL-Llanogrande-1 y UNAPAL-Llanogrande-2: Cauca). En contraste a lo observado en este estudio, en progenitores S_0 (Ruiz *et al.*, 2004; Toro, 2009; Nisha y Veeraragavathatham, 2014) y en líneas endogámicas S_1 (Mohanty, 2000; Espitia *et al.*, 2006; Jha *et al.*, 2009; Pandey *et al.*, 2010; Ortiz *et al.*, 2013; Rana *et al.*, 2015; El-Tahawey *et al.* 2015; Begum *et al.*, 2016), encontraron al menos un híbrido con efectos de HCE estadísticamente significativos para PPF. Por otro lado, Ortiz *et al.* (2013) encontraron un híbrido de líneas endogámicas S_2 con efectos de HCE estadísticamente significativos para esta variable.

Efectos de habilidad combinatoria para PPF

El comportamiento diferencial de los progenitores para PPF en sus valores como progenitor (g_i) (Tab. 3), confirman las diferencias altamente significativas detectadas para HCG en el ANDEVA en los tres cruzamientos dialélicos (Tab. 1) y favorece la selección

Tabla 2. Producción por planta (PPF) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), efectos de habilidad combinatoria específica (s_{ij}) (debajo de la diagonal), efectos de habilidad combinatoria general (g_i) y promedio de los híbridos de zapallo *C. moschata*, en los cruzamientos dialélicos entre progenitores S_0 y entre líneas endogámicas S_1 y S_2 .

Cruzamiento dialélico entre progenitores S_0									
Progenitores		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Gi	Promedio de híbridos
P1	Abanico 75-1	11,14	10,28	15,00	13,89	13,05	10,71	-0,06	12,59
P2	Abanico 75-2	-1,55	6,86	12,46	12,04	12,04	12,25	-0,73	11,81
P3	Dorado	0,65	-1,23	11,36	14,95	14,45	13,38	1,78	14,05
P4	IC-G3A	0,88	-0,30	0,09	9,13	15,42	8,63	0,45	12,99
P5	Llanogrande-1	-0,22	0,62	-0,61	1,67	7,82	9,71	0,67	12,93
P6	Llanogrande-2	0,24	2,46	1,10	-2,34	-1,47	7,78	-2,11	10,93
								Promedio progenitores	9,01
								Promedio híbridos	12,55
								Heterosis promedia	3,54
Cruzamiento dialélico entre líneas endogámicas S_1									
Progenitores		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Gi	Promedio de híbridos
P1	Abanico 75-1	8,57	12,08	12,32	14,75	20,50	10,33	0,19	14,00
P2	Abanico 75-2	-2,93	13,54	17,19	13,67	15,38	14,88	0,98	14,64
P3	Dorado	-2,37	1,72	6,54	10,13	19,08	13,08	0,62	14,35
P4	IC-G3A	1,82	-0,10	-3,26	10,21	13,83	12,54	-1,09	12,98
P5	Llanogrande-1	4,56	-1,33	2,71	-0,83	5,80	8,03	1,89	15,36
P6	Llanogrande-2	-1,09	2,64	1,20	2,36	-5,12	7,67	-2,60	11,76
								Promedio progenitores	8,72
								Promedio híbridos	13,85
								Heterosis promedia	5,13*
Cruzamiento dialélico entre Líneas endogámicas S_2									
Progenitores		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Gi	Promedio de híbridos
P1	Abanico 75-1	9,02	17,88	20,87	15,33	15,00	14,00	1,80	16,61
P2	Abanico 75-2	-1,31	8,48	16,00	16,73	15,56	18,47	2,19	16,93
P3	Dorado	2,77	-2,49	7,85	13,73	14,98	14,81	1,14	16,08
P4	IC-G3A	-0,31	0,70	-1,28	8,36	14,30	10,46	-1,33	14,11
P5	Llanogrande-1	-0,34	-0,15	0,32	2,09	6,25	9,47	-1,63	13,86
P6	Llanogrande-2	-0,81	3,25	0,68	-1,20	-1,91	2,75	-2,16	13,44
								Promedio progenitores	7,12
								Promedio híbridos	15,17
								Heterosis promedia	8,05**

*, **: Significativos al 5% y 1 % de probabilidad, respectivamente, según la prueba de T de Student.

de nuevos genotipos homocigotos o progenitores superiores, dado que los genes con efectos aditivos son los que responden a la selección. Gwanama *et al.* (2001), Ruiz *et al.* (2004), Espitia (2004) y Nisha y Veeraragavathatham (2014), también encontraron en

C. moschata al menos un progenitor S_0 con valores de g_i (efectos de HCG) estadísticamente significativos para PPF. Igualmente, Espitia (2004), Jha *et al.* (2009) y El-Tahawey *et al.* (2015) reportaron en *C. moschata* varias líneas endogámicas S_1 con efectos de HCG

Tabla 3. Peso promedio del fruto (PPF) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), efectos de habilidad combinatoria específica (s_{ij}) (debajo de la diagonal), efectos de habilidad combinatoria general (g) y promedio de los híbridos de zapallo *C. moschata*, en los cruzamientos dialélicos entre progenitores S_0 y entre líneas endogámicas S_1 y S_2 .

Cruzamiento dialélico entre progenitores S_0									
Progenitores		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Gi	Promedio de híbridos
P1	Abanico 75-1	2,99	2,62	4,02	3,90	3,16	2,60	0,05	3,26
P2	Abanico 75-2	-0,33**	1,90	3,36	3,21	2,69	3,00	-0,31	2,98
P3	Dorado	0,11	-0,16*	3,22	4,28	3,53	3,37	0,62*	3,71
P4	IC3A	0,21**	-0,13	0,02	3,09	3,40	2,95	0,41*	3,55
P5	Llanogrande-1	0,17*	0,05	0,00	0,05	2,15	2,17	-0,29	2,99
P6	Llanogrande-2	-0,17*	0,57**	0,04	-0,16*	-0,28**	2,56	-0,50*	2,82
								Promedio progenitores	2,65
								Promedio híbridos	3,22
								Heterosis promedia	0,56
Cruzamiento dialélico entre líneas endogámicas S_1									
Progenitores		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Gi	Promedio de híbridos
P1	Abanico 75-1	3,12	4,19	3,64	4,15	5,73	3,20	0,28	4,18
P2	Abanico 75-2	-0,71	3,73	5,16	3,82	4,86	4,56	0,68*	4,52
P3	Dorado	-0,56	0,58	2,30	3,32	4,01	3,41	-0,07	3,91
P4	IC3A	0,30	-0,46	-0,16	2,30	3,49	3,49	-0,41	3,66
P5	Llanogrande-1	1,31**	0,03	-0,07	-0,28	2,03	2,47	0,18	4,11
P6	Llanogrande-2	-0,35	0,56	0,20	0,59	-1,00*	2,20	-0,68*	3,43
								Promedio progenitores	2,76
								Promedio híbridos	3,97
								Heterosis promedia	1,20**
Cruzamiento dialélico entre líneas endogámicas S_2									
Progenitores		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Gi	Promedio de híbridos
P1	Abanico 75-1	2,39	4,84	4,98	4,53	3,50	2,89	0,21	4,15
P2	Abanico 75-2	-0,10	2,75	4,79	4,22	4,15	4,89	0,74*	4,58
P3	Dorado	0,49*	-0,24	2,33	3,76	3,84	3,73	0,30	4,22
P4	IC3A	0,40	-0,43	-0,44	2,47	4,17	2,91	-0,08	3,92
P5	Llanogrande-1	-0,23	-0,14	-0,02	0,70*	2,28	2,49	-0,44	3,63
P6	Llanogrande-2	-0,56*	0,90**	0,20	-0,24	-0,31	1,21	-0,74*	3,39
								Promedio progenitores	2,24
								Promedio híbridos	3,98
								Heterosis promedia	1,74**

*, **: Significativos al 5% y 1 % de probabilidad, respectivamente, según la prueba de T de Student.

diferentes de cero para PPF. Por otro lado y con respecto a los cruzamientos dialélicos entre líneas endogámicas S_1 y S_2 , los resultados de los efectos de HCE (S_{ij}) para PPF (Tab. 3), también confirman los niveles de significancia estadística del ANDEVA (Tab. 1).

Similarmente, Mohanty (2000), Espitia (2004), Jha *et al.* (2009) y Begum *et al.* (2016) encontraron en *C. moschata* algunos híbridos entre líneas endogámicas S_1 con efectos de HCE estadísticamente diferentes de cero para PPF.

Genotipos recomendados para el mejoramiento genético de PPF

El progenitor más indicado para mejorar PPF con destino al mercado de consumo en fresco constituido por consumidores que prefieren comprar frutos enteros y no en rodajas, mediante el aprovechamiento de los efectos aditivos por selección recurrente intrapoblacional, es el progenitor S_0 UNAPAL-Dorado, debido a que presentó un valor en los efectos de HCG significativo (0,62**), un promedio en sus híbridos de PPF con un valor óptimo para ser comercializado como fruto entero (3,71 kg) (Tab. 3) y un promedio en sus híbridos de PPF aceptable (14,05 kg/planta) (Tab. 2). Por otro lado, el progenitor recomendado para mejorar PPF, mediante el aprovechamiento de los efectos aditivos y no aditivos por selección recurrente intrapoblacional, dirigido al mercado de consumo en fresco y uso agroindustrial, conformado por aquellos consumidores en los cuales el peso del fruto no es una característica limitante para su adquisición, es la línea endogámica S_2 de UNAPAL-Abanico-75-2, pues registró un valor en los efectos de HCG significativo (0,74*), un promedio en sus híbridos de PPF de 4,58 kg (Tab. 3) y el promedio en sus híbridos de PPF más alto de todos los progenitores evaluados (16,93 kg/planta) (Tab. 2).

El híbrido más indicado para mejorar PPF mediante el aprovechamiento de los efectos aditivos y no aditivos por selección recurrente recíproca, dirigido al mercado de consumo en fresco conformado por consumidores que prefieren comprar frutos enteros y no en rodajas, es el híbrido entre líneas endogámicas S_2 UNAPAL-Abanico-75-1 \times UNAPAL-Llanogrande-2, debido a que presentó un valor en los efectos de HCE significativo (-0,56*), un valor óptimo de PPF para ser comercializado como fruto entero (2,89 kg) (Tab. 3) y un valor de PPF aceptable (14,00 kg/planta) (Tab. 2). Por otro lado, los híbridos recomendados para el mejoramiento de PPF a través de la explotación de los efectos aditivos y no aditivos por selección recurrente recíproca, con destino al mercado de consumo en fresco y uso agroindustrial, constituido por aquellos consumidores en los cuales el peso del fruto no es una característica limitante para su adquisición, son el híbrido entre líneas endogámicas S_1 UNAPAL-Abanico-75-1 \times UNAPAL-Llanogrande-1 y el híbrido entre líneas endogámicas S_2 UNAPAL-Abanico-75-1 \times UNAPAL-Dorado. Ambos híbridos presentaron valores en los efectos de HCE significativos (1,31** y 0,49*, respectivamente), valores de PPF de 5,73 y 4,98 kg, respectivamente (Tab. 3); así como también

los valores de PPF más altos entre todos los híbridos evaluados (20,50 y 20,87 kg/planta, respectivamente) (Tab. 2).

Los valores de los efectos de HCE negativos y significativos para algunos de los híbridos, sugiere que su promedio fue inferior al promedio esperado con base en la g_i de sus progenitores y la media general, considerándose por ello como una alternativa genética viable para reducir el tamaño o peso promedio del fruto y así satisfacer las preferencias del mercado fresco de zapallo.

CONCLUSIONES

En la generación de endogamia S_0 solo la habilidad combinatoria general fue importante en la expresión de PPF y PPF. En contraste, en la generación de endogamia S_1 tanto la habilidad combinatoria general como la habilidad combinatoria específica, contribuyeron al control genético de PPF y PPF.

En la generación de endogamia S_2 , las habilidades combinatorias general y específica fueron responsables del control de la expresión del PPF; mientras que en PPF solo la habilidad combinatoria general fue importante.

Los genotipos más indicados para mejorar PPF con destino al mercado de consumo en fresco constituido por consumidores que prefieren comprar frutos enteros y no en rodajas, son el progenitor S_0 UNAPAL-Dorado y el híbrido entre líneas endogámicas S_2 UNAPAL-Abanico-75-1 \times UNAPAL-Llanogrande-2.

Los genotipos recomendados para mejorar PPF para el mercado de consumo en fresco y uso agroindustrial, conformado por aquellos consumidores en los cuales el peso del fruto no es una característica limitante para su adquisición, son la línea endogámica S_2 de UNAPAL-Abanico-75-2, el híbrido entre líneas endogámicas S_1 UNAPAL-Abanico-75-1 \times UNAPAL-Llanogrande-1 y el híbrido entre líneas endogámicas S_2 UNAPAL-Abanico-75-1 \times UNAPAL-Dorado.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa Mejoramiento Genético, Agronomía y Producción de Semillas de Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira. Al

Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación-COLCIENCIAS de Colombia.

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

- Begum, F., A.M. Akanda, M.A.T. Masud, M.D.G. Rasul y M.A. Islam. 2016. Combining ability and heterosis for PRSV-W resistance in pumpkin (*Cucurbita moschata*). J. Int. Acad. Res. Multidisciplinary 4(1), 92-102.
- Crossa, J., S.K. Vasal y D.L. Beck. 1990. Combining ability in diallel crosses of CYMMYT's tropical late yellow maize germplasm. Maydica 35, 273-278.
- Cruz, C.D. 2013. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. Acta Scient. Agron. 35(3), 271-276. Doi: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251
- El-Tahawey, M.A.F.A., A.M. Kandeel, S.M.S. Youssef y M.M.M. Abd El-Salam. 2015. Heterosis, potence ratio, combining ability and correlation of some economic traits in diallel crosses of pumpkins. Egypt. J. Plant Breed. 19(2), 419-439. Doi: 10.12816/0011721
- Espitia, M. 2004. Estimación y análisis de parámetros genéticos en cruzamientos dialélicos de zapallo (*Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.). Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Espitia, C.M., C.F.A. Vallejo y G.D. Baena. 2006. Efectos heteróticos y habilidad combinatoria para el rendimiento por planta en *Cucurbita moschata* Duch. Ex Poir. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín 59(1), 3105-3121.
- Gwanama, C., A.M. Botha y M.T. Labuschane. 2001. Genetic effects and heterosis of flowering and fruit characteristic of tropical pumpkin. Plant Breed. 120(3), 271-272. Doi: 10.1046/j.1439-0523.2001.00595.x
- Hallauer, A.R., M.J. Carena y J.B. Miranda. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. Springer, New York, USA. Doi: 10.1007/978-1-4419-0766-0
- Jha, A., S. Pandey, M. Rai, D.S. Yadav y T.B. Singh. 2009. Heterosis in relation to combining ability for flowering behaviors and yield parameters in pumpkin. Veget. Sci. 36(3), 332-335.
- Mohanty, B.K. 2000. Combining ability for yield and its components in pumpkin. Indian J. Genet. Plant Breed. 60(3), 373-379.
- Nisha, S.K. y D. Veeraragavathatham. 2014. Heterosis and combining ability for fruit yield and its component traits in pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.). Adv. Appl. Res. 6(2), 158-162. Doi: 10.5958/2349-2104.2014.00008.4
- Ortiz, G.S., F.A. Vallejo, D. Baena, E.I. Estrada y M.P. Valdés. 2013. Zapallo para consumo en fresco y fines agroindustriales: investigación y desarrollo. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Pandey, S., A. Jha, S. Kumar y M. Rai. 2010. Genetics and heterosis of quality and yield of pumpkin. Ind. J. Hortic. 67(3), 333-338.
- Rana, M.S., M.G. Rasul, A.K.M.A. Islam y M.M. Hossain. 2015. Combining ability of quality traits in pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch. Ex Poir.). Bangladesh Res. Pub. J. 11(3), 233-236.
- Restrepo, S.J.A. y C.F.A. Vallejo. 2008. Caracterización molecular de introducciones colombianas de zapallo *Cucurbita moschata*. Acta Agron. 57(1), 9-17.
- Restrepo, S.J.A. 2015 Heterosis y habilidad combinatoria en función de la endogamia para el rendimiento y características del fruto de zapallo *Cucurbita moschata* Duch. ex Poir. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Rezende, G.S.P. y C.L. Souza-Junior. 2000. A reciprocal recurrent selection procedure outlined to integrate hybrid breeding program in maize. J. Genet. Breed. 54, 57-66.
- Ruiz, E., A. Sigarrosa y J.A. Cruz. 2004. Análisis dialélico del rendimiento y sus principales componentes en variedades de calabaza (*Cucurbita moschata* Duch.) I. Tabla dialélica de Griffing. Rev. Biol. 18(1), 65-73.
- SAS®. 2012. SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Toro, S.S. 2009. Heterosis y habilidad combinatoria entre poblaciones seleccionadas de (*Cucurbita moschata* Duch. Ex Poir.). Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

Eficacia de insecticidas botánicos sobre *Myzus persicae* (Sulzer) y *Aphis gossypii* (Clover) (Hemiptera: Aphididae) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta

Effectiveness of botanical pesticides on *Myzus persicae* (Sulzer) and *Aphis gossypii* (Clover) (Hemiptera: Aphididae) in greenhouse pepper crops (*Capsicum annuum* L.)

JORGE EDUARDO CASTRESANA^{1, 2, 3}
LAURA PUHL²



Cultivo de pimiento.

Foto: J.E. Castresana

RESUMEN

Una gran variedad de artrópodos plaga causan, a nivel mundial, perjuicios en cultivos hortícolas. *Myzus persicae* (Sulzer), *Aphis gossypii* (Glover) (Hemiptera: Aphididae) son las principales plagas de artrópodos que afectan a cultivos de pimiento bajo cubierta. El propósito de este estudio fue determinar la efectividad de cuatro productos botánicos diferentes como una alternativa ecológica para el control de pulgones en cultivo protegido de pimiento en Concordia, Argentina. Se probaron formulaciones de extractos/aceites vegetales a base de: aceite esencial de canela *Cinnamomum verum* (J. Presl.) [AE canela]; aceite esencial de cuasia *Quassia amara* (L.) [AE cuasia], aceite de neem *Azadirachta indica* (A. Juss.) [M neem] y extracto de ajo *Allium sativum* (L.) [M ajo]. Cabe aclarar que estos dos últimos contienen a su vez otros extractos/aceites esenciales que fueron comparados con un testigo absoluto (agua). Se realizó una distribución de acuerdo con un diseño totalmente aleatorio con tres repeticiones. Los tratamientos se aplicaron directamente sobre el follaje con mochila manual iniciándose 1 semana después del trasplante y luego, semanalmente, hasta finalizar el ensayo. Posteriormente, se evaluó el número promedio total de pulgones por hoja. Estos resultados mostraron que el tratamiento con aceite de neem (en mezcla M neem) registró un número de pulgones menor comparado con el resto de los tratamientos y testigo absoluto. Sin embargo, el mayor número de pulgones parasitados (momias) fue observado en las hojas tratadas con el aceite esencial de cuasia (AE cuasia).

¹ Estación Experimental Agropecuaria INTA Concordia y Estación Yuquerí, Concordia (Argentina). ORCID Castresana, J.E.: 0000-0002-3596-1173

² Facultad de Agronomía, Cátedra de Modelos Cuantitativos Aplicados, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires (Argentina). ORCID Puhl, L.: 0000-0002-0172-9974

³ Autor para correspondencia. castresana.jorge@correo.inta.gov.ar

Palabras clave adicionales: pulgones, extractos, aceites esenciales, ajo, neem.

ABSTRACT

A wide variety of arthropod pests that cause damage in agricultural crops can be found worldwide. The cotton aphids *Aphis gossypii* (Glover) and *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) are the most significant arthropod pests, which affect greenhouse pepper crops. This research was carried out to determine the effectiveness of three distinct plant products used as an alternative biological aphid pest control in a greenhouse pepper crop in Concordia, Argentina. The effectiveness was determined by testing three formulas of essential plant oils or extracts, derived from cinnamon essential oil *Cinnamomum verum* (J. Presl.) [Cinnamon EO], Quassia essential oil *Quassia amara* (L.) [Quassia EO], neem oil *Azadirachta indica* (A. Juss.) [M neem] and garlic *Allium sativum* (L.) [M garlic]. It has to be noted that the latter two formulas contained other extracts/essential oils, which were compared to the absolute control (water). For that purpose, this research was carried out with a completely randomized design and replicated three times. The applications were made by means of a backpack sprayer, straight onto the foliage. The first application was made 1 week after the plant transplanting and afterward on a weekly basis until the end of the study. Subsequently, the total average number of aphids (adults and nymphs) on every leaf was recorded. The results showed that the treatment with neem oil (with M neem) recorded a lower number of aphids, as compared to the other treatments, including the absolute control. However, a significant number of parasitized aphids (mummies) were found on leaves treated with Quassia essential oil (Quassia EO).

Additional key words: aphids, extracts, essential oils, garlic, neem.

Fecha de recepción: 22-09-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

Los áfidos comúnmente llamados “pulgones” se han convertido en un gran problema en cultivos protegidos (Van Blom, 2008). En lo que se refiere a la producción de Entre Ríos, se han establecido las siguientes especies de pulgones: *A. gossypii* (Glover) (pulgón del algodón) y *M. persicae* (Sulzer) (pulgón verde del duraznero) debido a que el ambiente bajo cubierta brinda las condiciones óptimas para su desarrollo.

Esta circunstancia dio como resultado un rápido incremento de sus poblaciones (Fig. 1), lo cual provocó graves pérdidas de rendimiento en la producción causadas por daños que causan dos tipos de efectos: (1) daño directo, generado por la succión de fotosintatos por adultos y ninfas (Quisenbery y Xinzhi, 2007) y (2) daño indirecto, como resultado de la acción de un hongo, conocido comúnmente como “fumagina” desarrollado por la eliminación de sustancias ricas en hidratos de carbono generadas por ninfas y adultos (SENASICA, 2014). Esta sustancia no sólo debilita a

la planta por reducir su capacidad fotosintética, sino que produce la defoliación en forma parcial o total (Fig. 2), deja sin protección al fruto y genera un alto riesgo al quemado (golpe de sol).

Existe un daño indirecto aún más grave que el antedicho que es la capacidad de transmitir diferentes virus en diversos cultivos, incluyendo el pimiento (Nault, 1997) (Fig. 3), con excepción del virus del mosaico del tabaco (TMV) y virus X de la papa (PVX) transmitido sólo por contacto (Smith, 1972).

Con el propósito de evitar pérdidas de rendimiento en los cultivos de pimiento bajo cubierta en la provincia de Entre Ríos, se han utilizado a lo largo de los años insecticidas de síntesis química para controlar plagas, predominando los insecticidas de amplio espectro (organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides) (CASAFE, 2013). Este manejo indiscriminado de insecticidas generó un modo de



Figura 1. Colonia de pulgones. Foto: J.E. Castresana.



Figura 2. Defoliación de planta de pimiento por daño de pulgón. Foto: J.E. Castresana.



Figura 3. Planta de pimiento con síntomas de virus. Foto: J.E. Castresana.

producción dependiente de una constante intervención humana dentro de todos los ambientes agrícolas, ya que produce inestabilidad en estos sistemas hortícolas, especialmente en los “protegidos” que presentan un alto disturbio ecológico (Rodríguez y Vendramim, 2008).

Los insecticidas botánicos se formulan con algunas partes o ingredientes activos de las plantas, algunas de éstas las cuales se mencionan en la tabla 1, conjuntamente con los que producen sus grupos funcionales. Dichos insecticidas ofrecen una alta eficacia, un menor costo, biodegradabilidad y seguridad, comparados con los insecticidas de síntesis química poseen ya que éstos últimos tienen alta residualidad en el medio ambiente y producen efectos tóxicos sobre los organismos no blanco, incluidos los seres humanos a quienes les provocan enfermedades no identificadas como consecuencia de la bioacumulación (Leng *et al.*, 2011).

Algunos extractos vegetales (EVs) y aceites esenciales (AEs) pueden utilizarse como plaguicidas debido a su bajo riesgo y menor efecto nocivo para el humano, tanto en cultivos a campo como aquellos bajo cubierta (Regnault-Roger *et al.*, 2012). Dichos aceites presentan en su composición, fundamentalmente, monoterpenos (C-10) – los cuales representan el 90% de las mezclas – y sesquiterpenos (C-15), que caracterizan el aroma y determinan la bioactividad, propias de la planta origen (Batish *et al.*, 2008). Asimismo, cabe destacar que la variedad de compuestos que contienen estos extractos o aceites esenciales ofrecerían dos ventajas adicionales, como: (1) múltiples modos de acción como antialimentario, inhibidores de la muda, inhibidores de la respiración, inhibidores de la ovoposición, ovidas, disuasivos, atractivos y repelentes (Celis *et al.*, 2008) y (2) reducción del desarrollo de la resistencia como se observa en la tabla 1.

El propósito de este estudio fue evaluar la efectividad de diferentes productos botánicos como una alternativa ecológica de control de pulgones *A. gossypii* y *M. persicae* en cultivo de pimiento bajo cubierta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio fue realizado en un invernadero perteneciente al módulo hortícola de la Estación Experimental INTA Concordia, ubicado en la localidad de Concordia, situado en las coordenadas 31°22'22.16" S y 58°7'5.42" W a 396 msnm, departamento de Concordia, provincia de Entre Ríos, Argentina. El

Tabla 1. Plantas con ingredientes activos para controlar plagas, basado en Yong-Lak y Hun-Hyung (2016).

Planta	Nombre vulgar	Presentación	Grupos funcionales	Efectos	Referencia
<i>Azadirachta indica</i> (A. Juss.)	Neem	Aceite	Alcaloides, carotenoides, flavonoides, cetonas, compuestos fenólicos, esteroides y triterpenos como compuestos bioactivos azadiractina, gedunin, isomargolonone, margolone, margolonone, nimbidina, nimbindina, nimbolide, y salanina	Fungicida, bactericida, insecticida-repelente y larvicida	Imran <i>et al.</i> (2010)
<i>Allium sativum</i> (L.)	Ajo	Extracto	Mono-, di-, trisulfuro de dialilo	Fungicida, bactericida, repelente, larvicida	Chung <i>et al.</i> (2007)
<i>Ruta graveolans</i> (L.)	Ruda	Extracto	Alcaloides furoquinólicos, arborinina, arboritina, rutamina, graveolina, graveolina, rutacridona, furoquinolina, dictamina, metilacridona. Flavonoides rutina y quercetina	Fungicida, insecticida- nematicida	Ratheesh <i>et al.</i> (2009)
<i>Tagetes erecta</i> (L.)	Flor de muerto	Extracto	Dihidroxiacetona, α -felandreno, limoneno, o-cimeno, también los isómeros de β -ocimeno, tagetona, y tagetenona	Fungicida, bactericida, insecticida-repelente, larvicida y nematicida	Sadia <i>et al.</i> (2013)
<i>Cinnamomum verum</i> (L.)	Canela	Aceite esencial	Acetato de cinamilo, aldehído cinámico, eugenol, isoeugenol 2-vinilfenol eugenol, éter metil cumarina.	Fungicida, bactericida, acaricida.	Mello <i>et al.</i> (2012)
<i>Quassia amara</i> (L.)	Cuasía	Aceite esencial	Cuasía, neocuasina, betacarbolinos, cuasinasina, cuasimarina, beta, quassialactol, quassinol, hidroxiquassina, esteroides (β -sitostenona, β -sitosterol) y alcaloides	Insecticida	Cáceres <i>et al.</i> (1995)

invernadero consta de una estructura metálica tipo macrotúnel con una superficie total de 240 m² orientación este-oeste con las siguientes dimensiones: 8 m de frente por 30 m de lateral, con una altura de 2,2 m en los laterales y 3,5 m en la parte central.

Condiciones climáticas de la zona de muestreo

En la figura 4 se visualizan los valores medios de temperatura y humedad relativa en el periodo del ensayo.

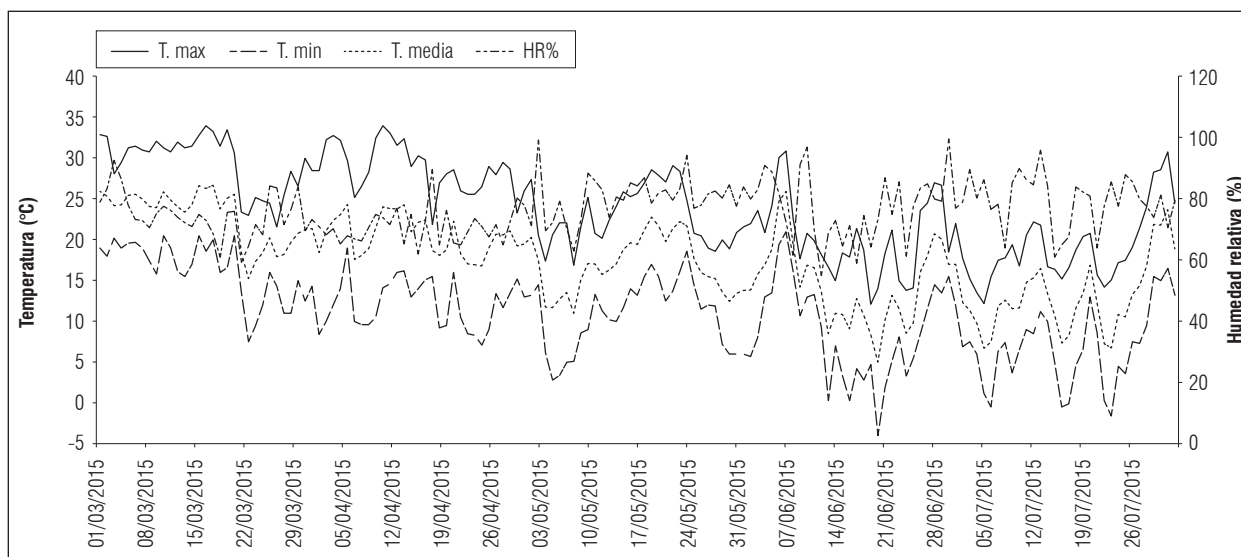


Figura 4. Datos meteorológicos registrados por la estación meteorológica situada en la EEA INTA Concordia, durante el periodo del ensayo de marzo de 2015 hasta julio 2015 (valores de temperatura máxima, mínima y media y de humedad relativa).

Manejo del cultivo de pimiento

A los fines de este estudio, se utilizó el híbrido de pimiento dulce (*Capsicum annuum* L.), híbrido comercial Paloma (Seminis). El día 9 de febrero de 2015 se realizó la siembra de las semillas en bandejas de plástico de 72 celdas y se regó con *Trichoderma viride/harzianum* a una dosis de 200 mL m⁻³ junto con *Bacillus subtilis* a una dosis de 200 mL m⁻³ para el control del mal de los almácigos (“damping off”) y de esta manera se obtuvo una planta sana hasta su trasplante el día 23 de marzo de 2015. Simultáneamente al desarrollo de los almácigos, se preparó el terreno con la técnica de biosolarización para su posterior trasplante, el que se efectuó en el momento que la planta alcanzara aproximadamente 40 d de edad con un marco de plantación de 1,20 m entre líneas y 0,40 m entre plantas. Las plantas se condujeron con malla espaldera.

Una semana después del trasplante se comenzó con el riego y la fertilización, según las necesidades del cultivo. A los fines de la fertirrigación, se utilizó el fertilizante líquido orgánico Nutrire®, que fue suministrado semanalmente. Luego, se observó que determinadas plagas y enfermedades se encontraban en un umbral tal de intervención que se decidió realizar un tratamiento fitosanitario con producto biorracional a base de azadiractina (NeemAza-T/S®) 0,4%, oleato de potasio (Hydralene®) 2% mediante monitoreos semanales sobre las plagas, a saber: trips (*Frankliniella occidentalis* Pergande), arañuela roja (*Tetranychus urticae* Koch), araña blanca (*Poliphagotarsonemus latus* Banks), pulgones (*Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), *Aphis gossypii* (Glover), *Myzus persicae* (Sulzer)), mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) y para el control de enfermedades como en el caso de la oidiopsis en el pimiento (*Leveillula taurica*) y podredumbre gris (*Botrytis cinerea*) se utilizó el extracto del árbol de té (Timorex®) a un dosis de 0,5%.

El pulgón fue el insecto plaga que más se registró. Se determinó la llegada a su umbral cuando alcanzó un promedio de más de ocho (ninfas + adultos) por hoja

(Polack y Mitidieri, 2005), en cuyo momento se debe realizar un control. Sin embargo, para impedir daños al cultivo ocasionados por otras plagas, se siguió el protocolo de monitoreo propuesto por Polack y Mitidieri (2005) y se decidió realizar dos aplicaciones de los productos biorracionales mencionados anteriormente para su control. Para el caso de las enfermedades en el cultivo, la única que se presentó en algunas parcelas fue la oidiopsis, la cual fue controlada eficazmente utilizando el protocolo ya descripto.

Para este estudio realizado en invernadero se construyeron cinco camellones con las siguientes dimensiones de 0,50 m de ancho y 28 m de largo, cada uno compuesto por tres parcelas donde se dispusieron 15 plantas. Las parcelas fueron delimitadas con una bordura o zonas de transición compuesta por cinco plantas con la finalidad de aislarlas. Se contó con un total de 15 parcelas homogéneas.

Con respecto al diseño experimental del ensayo, se trata de un diseño totalmente aleatorio con cinco tratamientos y tres repeticiones (parcelas), que se describen en la tabla 2. Los distintos tratamientos se distribuyeron en las parcelas en forma aleatoria. La efectividad del control de los pulgones y sus parasitoides por medio de insecticidas botánicos fue evaluada sobre la base de lecturas realizadas a través de monitoreos directos (hojas de pimiento) para obtener las siguientes variables: (a) número de adultos (ápteros + ninfas) de pulgones monitoreados en las hojas pimiento y (b) número de pulgones parasitados (mormias) en las hojas de pimiento.

Se realizaron las aplicaciones de EVs (*A. sativum*, *R. graveolans* y *T. erecta*) y AEs (*A. indica*, *C. verum*, *Q. amara*) simultáneamente con los monitoreos en las distintas parcelas. En total se realizaron 15 aplicaciones durante el ciclo con un intervalo de 7 a 10 d, de marzo a julio de 2015. Las aplicaciones de los productos naturales se efectuaron mediante pulverizador de mochila dorsal simétrico SP manual marca

Tabla 2. Tratamientos evaluados para el control de plagas.

Producto	Nombre	Dosis	Aplicación
Aceite esencial de cuasia	cuasia	0,35%	Dirigida a la parte aérea de la planta
Mezcla de aceites vegetales (<i>neem</i> , <i>canela</i>) y extracto vegetal (<i>tagetes</i>)	M neem	0,35%	
Mezcla de extractos vegetales (<i>ajo</i> , <i>ruda</i>)	M ajo	0,50%	
Aceite esencial de canela	canela	0,15%	
Testigo absoluto (agua)			

(Guarany®) equipada con boquilla cónica. La presión en la pulverización fue de 5 atmósferas con una descarga de líquido de $600 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$. La decisión de elegir varias empresas para lograr estos productos botánicos tuvo como finalidad mantener la calidad de las aplicaciones a lo largo del ensayo.

Dado que los productos botánicos son fácilmente degradables a la exposición de altas temperaturas, luz ultravioleta y a la evaporación, es necesario considerar la adición de un coadyuvante a base de lecitina de soja (Lecithin Max®) 0,2% con la finalidad de mejorar las características de adherencia, penetración y la antievaporación, el que fue provisto por la empresa Fragaría S.R.L (Villa Cañas, Santa Fe, Argentina). El momento de la aplicación de los distintos productos naturales fue durante la caída del sol en cuyas horas se registró menor insolación. Asimismo, los tratamientos se evaluaron a través de 15 monitoreos, con un intervalo de 7 a 10 d. Cabe aclarar que, con anterioridad a la aplicación de los tratamientos, en cada parcela se registró el número promedio de pulgones totales (adultos ápteros + ninfas) y pulgones parasitados (momias llenas). Todos los EVs fueron elaborados por el Laboratorio Basel (Warnes, Lanus Oeste, Buenos Aires) excepto el extracto vegetal de ajo Renap 100, que fue suministrado por la Empresa Messina Marinucci S.A. (Maipú, Mendoza, Argentina) y los aceites esenciales que fueron suministrados por el Laboratorio Euma S.A. (San Isidro, Buenos Aires, Argentina).

A fin de determinar la población de pulgones en el cultivo de pimiento, se registró el número total de pulgones (adultos ápteros + ninfas) en el envés de cuatro hojas del estrato medio de la planta. En cada parcela se eligieron cinco plantas en forma aleatoria.

En cada parcela se recolectaron semanalmente 20 hojas con pulgones parasitados (momias). Las hojas fueron elegidas del estrato medio de la planta, en cada hoja se registró el número de individuos parasitados (momias llenas), en laboratorio mediante la ayuda de una lupa estereoscópica de 10 a 40 x de magnificación, ya que las momias llenas brindan información de parasitismo a campo (Fig. 5).

Las variables descriptas anteriormente fueron evaluadas mediante un Análisis de Varianza con Medidas Repetidas a lo largo de todo el ciclo del cultivo de pimiento en el tiempo, ya que las hojas de pimiento fueron observadas repetidas veces en el periodo de tiempo que abarcó el ensayo para las mismas parcelas. De este modo, las observaciones entre una



Figura 5. Hoja de pimiento con pulgones parasitados. Foto: J.E. Castresana.

fecha y las subsiguientes no son independientes, con lo cual resultó necesario modelar una estructura de auto correlación temporal de los errores para cumplir los supuestos del ANOVA (independencia de las observaciones). Este análisis permitió determinar si, se presentan diferencias significativas entre las medias de los distintos tratamientos, diferencias en el tiempo y efecto significativo de la interacción del tiempo con el tratamiento en cada una de las variables respuesta medidas. Estos tres factores fueron considerados efectos fijos. Debido a que la variable respuesta (número de pulgones) no se ajustó a una distribución Normal, ésta fue transformada para el análisis mediante la función raíz cuadrada. El ajuste del modelo y las pruebas de hipótesis asociadas se realizaron con el programa InfoStat/Profesional (2014). En cada uno de los casos que se detectaron efectos significativos se realizaron las pruebas *a posteriori* con un test LSD Fisher para la comparación de medias. Se estableció un nivel de significación del 5% para todo el ensayo ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS

La figura 6 ilustra el número promedio de pulgones (adultos ápteros + ninfas) por hoja en las distintas fechas de muestreo a lo largo del ensayo para cada tratamiento. Las únicas especies de pulgones registradas de importancia los pulgones, *M. persicae* y *A. gossypii* y aparecieron en el cultivo a partir del 31 de marzo de 2015.

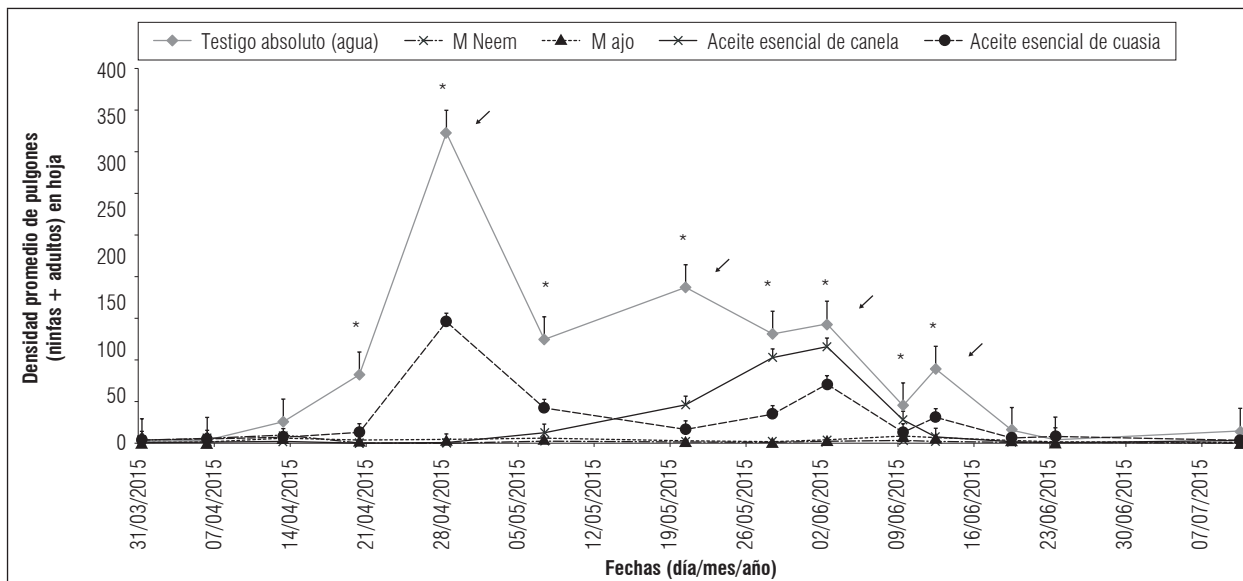


Figura 6. Densidad promedio de pulgones (ninfas + adultos) por hoja de pimienta monitoreados en el periodo del ensayo. Los asteriscos (*) muestran diferencias estadísticas significativas entre los dos tratamientos, según la prueba de LSD Fischer ($P \leq 0,05$). Las flechas indican la fecha de aplicación de tratamiento de control con productos biorracionales.

Al inicio del ensayo se observó que el número promedio de pulgones/hoja registrados fue por debajo del umbral de daño, es decir ocho pulgones (ninfas + adultos) por hoja en todos los tratamientos (Fig. 6). A partir del 6 de abril se produjo un ligero incremento en la población de pulgones por hoja en todos los tratamientos, en los cuales se registró un pico de población en la fecha de muestreo 28 de abril (329,36 pulgones/hoja) en el tratamiento testigo absoluto como así también para el tratamiento AE cuasia (129 pulgones/hoja) mientras que en el resto de los tratamientos permaneció un número de pulgones por debajo del umbral de daño. En la siguiente fecha de muestreo 20 de mayo, el tratamiento testigo absoluto (165,49 pulgones/hoja) fue el único que nuevamente mostró un pico importante mientras que los tratamientos AE canela (40,89 pulgones/hoja) y AE cuasia (14,78 pulgones/hoja) registraron un número de pulgones por hoja menor que el primero. A continuación, en la fecha de muestreo 2 de junio se pudo observar un pico en los tres tratamientos testigo absoluto (126,80 pulgones/hoja), AE canela (102,56 pulgones/hoja) y AE cuasia (62,76 pulgones/hoja), para finalmente, registrarse en la fecha 12 de junio un último pico en el tratamiento testigo absoluto (78,96 pulgones/hoja) y AE cuasia (27,64 pulgones/hoja). Bajo estas circunstancias, cabe señalar que cada vez que se llegó a un pico se realizaron aplicaciones con productos biorracionales a todas y cada una de las parcelas que, en algunos casos, dieron como resultado un descenso de

la cantidad de pulgones/hoja que evitó la mortalidad de plantas. El análisis de varianza del número de pulgones monitoreados en el período del ensayo sobre hojas de pimienta determinó un efecto significativo de la interacción entre el tiempo (fechas) y los tratamientos ($F_{\text{tratamiento} \times \text{fecha}} = 3,97$; $df = 52$; $P < 0,0001$; $F_{\text{tratamiento}} = 55,33$; $df = 13$; $P < 0,0001$; $F_{\text{fecha}} = 8,58$; $df = 14$; $P < 0,0001$), situación que puede visualizarse claramente en la figura 6. Lo expuesto indica que el efecto de las formulaciones aplicadas no es independiente de las fechas de muestreo. La prueba *a posteriori* de diferencias entre medias de tratamiento para cada una de las fechas puede visualizarse con los asteriscos en la figura 6. En general se trata de diferencias del tratamiento testigo absoluto con M neem y M ajo.

Tabla 3. Resultados de test de comparación de medias ajustadas de número de pulgones por hoja (media \pm error estándar) para cada uno de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Medias
Testigo absoluto (agua)	73,27 \pm 8,40 a
Aceite esencial de cuasia	24,86 \pm 8,22 b
Aceite esencial de canela	19,59 \pm 8,14 bc
M ajo	4,47 \pm 8,04 bc
M neem	2,84 \pm 7,94 c

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

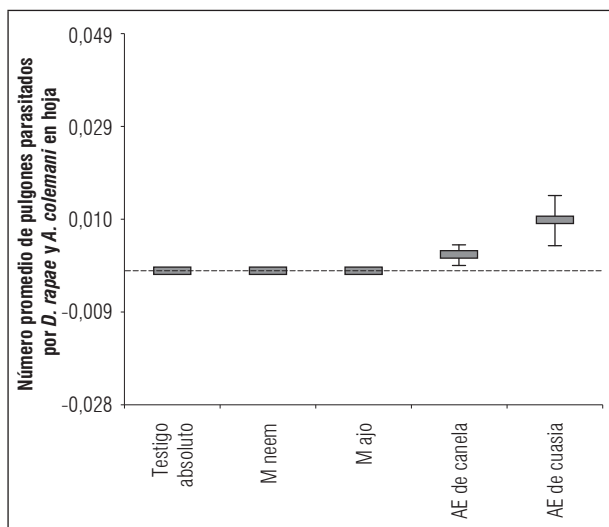


Figura 7. Número promedio de pulgones parasitados por *Aphidius colemani* y *Diaperella rapae* en hojas de pimiento a lo largo del periodo del ensayo.

En todas las fechas de muestreo fueron identificados los parasitoides *Aphidius colemani* (Holiday) y *Diaperella rapae* (McIntosh) (Hymenoptera: Braconidae) (R. Paz, comunicación personal). Con respecto al parasitismo, se puede asegurar que este fue bajo en el transcurso de todo el ensayo debido a su escasa presencia y frecuencia (Fig. 7). Sin embargo, el parasitismo por *Aphidius colemani* y *Diaperella rapae* fue significativamente mayor durante el período del ensayo en el tratamiento con AE de cuasia ($F_{\text{tratamiento}} = 3,25$; $df = 4$; $P \leq 0,0128$) (Fig. 8). La prueba *a posteriori* Tukey confirmó que las parcelas tratadas con AE de cuasia tuvieron un número promedio significativamente mayor ($0,01 \pm 0,0025$ pulgones parasitados/hoja) que el resto de los tratamientos.

DISCUSIÓN

Con respecto a la fluctuación poblacional de pulgones, los resultados observados en este estudio evidenciaron que, de los cinco tratamientos evaluados durante todo el ciclo del cultivo, sólo en dos tratamientos M neem y M ajo se registró un menor número de individuos por debajo del umbral de daño, tal como se visualiza en la figura 6. Este resultado tuvo lugar como consecuencia, por un lado, por una mayor acción repelente o antialimentaria (comprobada luego del monitoreo sobre las hojas y no apreciarse restos de pulgones muertos) y, por otro lado, por su acción insecticida (comprobada luego de varios monitoreos sobre las hojas tratadas y advertir la presencia de restos de pulgones muertos).



Figura 8. Parasitoides de pulgones y pulgones parasitados (momias). Foto: J.E. Castresana.

En el estudio se observó que las plantas tratadas con extractos/aceites esenciales de vegetales presentaron en todo momento un menor número promedio de pulgones (adultos y ninfas) con respecto al testigo absoluto, lo cual indicó un efecto antialimentario en los pulgones.

Por consiguiente, es evidente, que si bien todos los extractos/aceites vegetales poseen sustancias que causan efecto antialimentario en los adultos y ninfas de *M. persicae* y *A. gossypii*, la variedad de principios activos que ellos contienen hace muy difícil especificar la sustancia que ocasiona dicho efecto (Walker y Perring, 1994).

En cuanto al tratamiento M neem, compuesto por aceite de neem (*Azadirachta indica*), aceite esencial de canela (*C. verum*) y extracto de copete (*Tagetes erecta*), su aplicación presentó un efecto disuasivo a la dosis aplicada (0,35%). Este efecto podría surgir como resultado de varios compuestos químicos producidos por extractos y aceites esenciales vegetales con actividad repelente antialimentario o insecticida, tal como puede observarse en la tabla 1. Estos resultados están avalados por estudios realizados por (Andrade *et al.*, 2012), quienes expresaron que el principal componente del aceite de neem (Azadiractina) produce una serie de efectos en los insectos, principalmente antialimentaria, crecimiento deficiente, problemas de fecundidad, defectos en la muda, anomalías morfológicas y alteraciones en el comportamiento.

Continuando con el segundo componente de la mezcla, es decir, el AE de canela, Cheng *et al.* (2009) investigaron los componentes químicos de los AEs de hojas

de seis especies de *Cinnamomun* (canela) y mostraron su acción larvicida sobre tres especies de mosquitos (*Aedes albopictus*, *Culex quinquefasciatus* y *Armigeres sulbabatus*) con diferencias significativas en la mortandad de los insectos durante las 24 y 48 h, debido al principio activo trans-cinamaldehído existente en el AE de canela, ya que posee capacidad larvicida y de repelencia hacia adultos de *A. aegypti* y *C. quinquefasciatus* (Prajapati *et al.*, 2005). Asimismo, otras investigaciones previas que incluían cinamaldehído (aceite esencial de canela, *Cinnamomun verum*) realizadas por Hilje (2001) determinaron que una pequeña dosis de 0,1% (v/v) sobre adultos de *Bemisia tabaci* provocaban un efecto fago y ovidisuasivo.

Por último, en cuanto al componente restante de la mezcla el extracto de tagetes (*Tagetes erecta*), Lovato (2012) demostró que las soluciones etílicas de *T. minuta* tienen efecto insecticida, derivados de bitienilo y del alfa-tertienilo. En definitiva, la poca cantidad de pulgones vivos en las hojas de pimiento presupone que, aún aquellos que inicialmente hayan elegido la planta tratada en algún momento, estuvieron en contacto con estos compuestos naturales que produjeron un efecto antialimentario que provocó su muerte.

Para el tratamiento con M ajo compuesto por EV de ajo (*Allium sativum*) y EV de ruda (*Ruta graveolans*), su aplicación presentó un efecto disuasivo a la dosis aplicada (0,50%). Este efecto podría surgir como resultado de varios compuestos químicos producidos por estos extractos y aceites esenciales vegetales con actividad repelente antialimentario o insecticida, tal como se observa en la tabla 1. La mayor parte de la actividad biológica de los *Allium* se debe a las sustancias volátiles derivadas de aminoácidos azufrados, los cuales son emitidos durante la descomposición celular (Jaillais *et al.*, 1999). En tanto el aceite de *Allium sativum* como uno de sus componentes alil-isotiocianato demostraron aumentar la mortandad de las cucarachas alemanas adultas *Blattella germanica* (Tunaz *et al.*, 2009).

En relación con el extracto de ruda *R. graveolans*, si bien tiene efectos adversos sobre nematodos (larvicida y adulticida), también se le reconoce propiedades farmacológicas como la anticonceptiva, herbicida, citotóxica, fungicida y antiinflamatoria (Ratheesh *et al.*, 2009).

En resumen, los tratamientos M ajo y M neem mantuvieron el mismo comportamiento, registrándose un número promedio de pulgones vivos en las hojas de pimiento por debajo del umbral de daño.

En lo que concierne a los pulgones parasitados (momias) por hoja, los resultados obtenidos en este ensayo mostraron que en las plantas tratadas con AE de cuasia, el número de momias por hoja fue $(0,01 \pm 0,0025)$ significativamente mayor que en los otros tratamientos (Fig. 7). Esta observación fue corroborada con los resultados obtenidos de (Ocampo, 1995) quien demostró que el EV de cuasia no afecta a los insectos benéficos, como las abejas polinizadoras (Apidae) y las vaquitas depredadoras (Coccinellidae). Sin embargo, se debe aclarar que en este caso se utilizó el AE de cuasia, que tal como fue explicado anteriormente, no tuvo un efecto significativo en disuadir a los pulgones de colonizar las hojas ni en los parasitoides de pulgones, lo que produce un mayor número de pulgones parasitados (momias). Asimismo, en el tratamiento con AE de canela se obtuvo un efecto disuasivo similar. En lo que respecta a las plantas en el tratamiento testigo absoluto, en el que se pulverizó con agua, hubo escasos registros de pulgones parasitados. En consecuencia, se puede inferir que la ubicación de las parcelas intercaladas cerca de las parcelas de los tratamientos donde se aplicaban las mezclas M ajo y M neem pudo haber permitido la llegada de sustancias volátiles que pudieron haber modificado su comportamiento de atracción y búsqueda de los parasitoides a las colonias de pulgones. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Reddy y Gerrero (2004), quienes estudiaron los compuestos volátiles liberados por plantas atacadas por insectos herbívoros favorecen la atracción de uno o más enemigos naturales específicos, sirviendo de esta manera como una de las diversas opciones de defensa. Cabe mencionar que, en general, en todos estos tratamientos aplicados a lo largo del periodo del ensayo se ha registrado un muy bajo número promedio de los pulgones parasitados.

CONCLUSIONES

Los tratamientos M neem y M ajo resultaron ser los más eficaces en mantener las poblaciones de pulgones por debajo del umbral de daño.

En todos los tratamientos, ya sean con anterioridad o posterioridad la aplicación se presentó en forma espontánea la fauna benéfica (depredadores y parasitoides). Sin embargo, el tratamiento con AE de cuasia fue el que registró mayor número de pulgones parasitados (momias).

La utilización de productos botánicos es una alternativa que, utilizada en el contexto de un manejo

integrado de plaga (MIP) en pimiento, disminuye el impacto adverso de los insecticidas sintéticos en los productos hortícolas, destinados a certificación orgánica, ya que contribuye a la obtención de un sistema productivo ecológicamente sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al INTA por su apoyo económico, bajo el marco de los siguientes proyectos: (1) Proyecto específico INTA - PNHEA 1106082 "Tecnología apropiada para la sustentabilidad con énfasis en sistemas hortícolas con énfasis en cultivos protegidos"; (2) REDAE Red de Agroecología - INTA. (3) Proyecto Regional con Enfoque Territorial INTA - PRETERIOS 1263305 "Contribuir al desarrollo socio económico del noreste de Entre Ríos en un marco de competitividad, salud ambiental y equidad social". También queremos expresar el agradecimiento a los auxiliares técnicos Mario Vergara e Iván Villagra por su colaboración en tareas de campo y a la traductora pública Mónica Castresana por su colaboración en la edición y corrección del texto.

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

- Andrade, L. H., J.V. Oliveira, M.O. Breda, E.J. Marques e I.M.M. Lima. 2012. Efeitos de inseticidas botánicos sobre a taxa instantânea de crescimento populacional de *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) em algodão. *Acta Scient. Agron.* 34(2), 119-124.
- Batish, D.R., H.P. Singh, R.K. Kohli y S. Kaur. 2008. Eucalyptus essential as natural pesticide. *For. Ecol. Manag.* 256, 2166-2174. Doi: 10.1016/j.foreco.2008.08.008
- Cáceres, A., T. Mejía, R.A. Ocampo y R. Villalobos. 1995. *Quassia amara* L. ex Blom (Simaroubaceae). Revisión bibliográfica. pp. 159-178. En: Ocampo, R.A. (ed.). Potencial de *Quassia amara* como insecticida natural. Informe Técnico No. 267. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- CASAFE. 2013. Guía de productos fitosanitarios. En: <http://www.casafe.org/publicaciones/guia-de-productos-fitosanitarios>; consulta: junio de 2015.
- Celis, A., C. Mendoza, M. Pachón, J. Cardona, W. Delgado y L. E. Cuca. 2008. Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la familia Piperaceae. Una revisión. *Agron. Colomb.* 26 (1), 97-106.
- Cheng, S., J. Liu, C. Han, Y. Hsui, W. Chen y S. Chang. 2009. Insecticidal activities of leaf essential oils from *Cinnamomum osmophleum* against three mosquito species. *Bioresource Technol.* 100(1), 457-464. Doi: 10.1016/j.biortech.2008.02.030
- Chung, I., S. Kwon, S. T. Shim y K. Kyung. 2007. Synergistic antiyeast activity of garlic oil and allyl alcohol derived from alliin in garlic. *J. Food Sci.* 72, M437-M440. Doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00545.x
- Hilje, L. 2001. Avances hacia el manejo sostenible del complejo *Bemisia tabaci*-geminivirus en tomate, en Costa Rica. *Manejo Integr. Plagas* 61, 70-81.
- Imran, M., H. Khan, M. Shah y F. Khan. 2010. Chemical composition and antioxidant activity of certain *Morus* species. *J. Zhejiang Univ. Sci. B* 11(12), 973-980. Doi: 10.1631/jzus.B1000173
- InfoStat, 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Jaillais, B., F. Cadoux y J. et Jauger. 1999. SPME-HPLC analysis of *Allium* lacrimatory factor and thio-sulfinates. *Talanta* 50, 423-431. Doi: 10.1016/S0039-9140(99)00124-1
- Leng, P., Z. Zhang, G. Pan y M. Zhao. 2011. Applications and development trends in biopesticides. *Afr. J. Biotechnol.* 10 (86), 19864-19873.
- Lovato, P.B. 2012. As plantas bioativas como estratégia tecnológica à transição agroecológica na agricultura familiar. Tesis de doctorado. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-SP, Brasil.
- Mello, S., A. Cunha, G. Neudí, F. Luiz y C. Werneck. 2012. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from selected herbs cultivated in the south of Brazil against food spoilage and foodborne pathogens. *Ciênc. Rural* 42(7), 1300-1306. Doi: 10.1590/S0103-84782012000700026
- Nault, L.R. 1997. Arthropod transmission of plant viruses: A new synthesis. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 90, 521-541. Doi: 10.1093/aesa/90.5.521
- Ocampo, R.A. 1995. Estado de la investigación en Hombro grande (*Quassia amara*) en Centroamérica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Prajapati, V., A.K. Tripathi, K.K. Aggarwal y S.P.S. Khanuja. 2005. Insecticidal, repellent and oviposition-deterrent activity of selected essential oils against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Bioresource Technol.* 96(16), 1749-757. Doi: 10.1016/j.biortech.2005.01.007
- Polack, L. y M. Mitidieri (ex aequo). 2005. Producción de tomate diferenciado. Protocolo preliminar de manejo integrado de plagas y enfermedades. En: EEA San Pedro, INTA, http://www.inta.gov.ar/sanpedro/info/doc/pdf/protocolo_manejo_de_plagas_tomate_2005.pdf; consulta: enero de 2015.

- Quisenbery, S. S. y N. Xinzhi. 2007. Feeding injury. pp. 331-352. En: Van Emden, H.F. y R. Harrington (eds.). Aphids as crop pests. CAB International, Wallingford, UK. Doi: 10.1079/9780851998190.0331
- Ratheesh, M., G.L. Shyni y A. Helen. 2009. Methanolic extract of *Ruta graveolens* L. inhibits inflammation and oxidative stress in adjuvant induced model of arthritis in rats. *Inflammopharmacol.* 17(2), 100-105. Doi: 10.1007/s10787-009-8044-0
- Reddy, G. y A. Guerrero. 2004. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends Plant Sci.* 9, 253-261. Doi: 10.1016/j.tplants.2004.03.009
- Regnault-Roger, C., C. Vincent y J. Thor. 2012. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annu. Rev. Entomol.* 57, 405-424. Doi: 10.1146/annurev-ento-120710-100554
- Rodríguez, H.C. y J.D. Vendramim. 2008. Substancias vegetales para el manejo de las moscas blancas. pp. 83-102. En: Infante G., S. (ed.). Moscas blancas - temas selectos sobre su manejo. Mundi Prensa, México, D.F.
- Sadia, S., S. Khalid, R. Qureshi y A.A. Bajwa. 2013. *Tagetes minuta* L., a useful underutilized plant of family Asteraceae: a review. *Pak. J. Weed Sci. Res.* 19(2), 179-189.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2014. Pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* (Zehntner). Ficha técnica No. 43. Dirección General de Sanidad Vegetal, Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, México, D.F.
- Smith, K.M. 1972. A textbook of plant virus diseases. 3rd ed. Academic Press, New York, USA.
- Tunaz, H., M.K. Er y A.A. Işikber. 2009. Fumigant toxicity of plant essential oils and selected monoterpenoid components against the adult German cockroach, *Blattella germanica* (L.) (Dictyoptera: Blattellidae). *Turk. J. Agric. For.* 33(2), 211-217.
- Van Blom, J. 2008. Pimiento bajo abrigo. pp. 399-409. En: Jacas, J.A. y A. Urbaneja (eds.). Control biológico de plagas agrícolas. Phytoma, Valencia, España.
- Walker, G.P. y T.M. Perring. 1994. Feeding and ovoposition behavior of whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) interpreted from AC electronic feeding monitoring waveforms. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 87(3), 363-374. Doi: 10.1093/aesa/87.3.363
- Yong-Lak, P. y T. Hun-Hyung 2016. Essential oil for arthropod pest management in agricultural production systems. pp. 61-70. En: Preedy, V.R. (ed.). Essential oils in food preservation, flavor and safety. Academic Press, Cambridge, USA.

Brackish water: an option for producing hydroponic *Capsicum annuum* in laminar flows of mineral nutrients

Agua salobre: una opción para la producción de *Capsicum annuum* hidropónicos en flujo laminar de nutrientes minerales



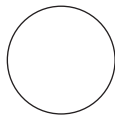
ADAILTON CONCEIÇÃO DOS SANTOS¹
MAIRTON GOMES DA SILVA¹
CÁCIO LUIZ BOECHAT^{2, 3}
DENIZE SAMPAIO CHAGAS¹
WANDERSON DE SOUSA MENDES²

Sweet pepper greenhouse cultivation in Cruz das Almas-BA, Brazil.

Photo: A.C. dos Santos

ABSTRACT

Sweet pepper plants were grown using a Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic system. This study aimed to evaluate the effect of using brackish water on fruit production. The experiment was carried out in a randomized block design with seven treatments and five replications. The electrical conductivity of the water was 0.29, 1.39, 2.75, 4.49, 5.90, 6.76, and 7.09 dS m⁻¹ in the treatments; this water was used for both the nutrient solution preparation and replenishment of crop evapotranspiration. The plant parameters: fruit diameter, fruit length, number of fruits per plant, mean fruit weight, total fruit weight per plant and fruit length/diameter ratio were evaluated 69 days after the transplanting. The use of brackish water with high electric conductivity values did not directly interfere with the sweet pepper production in NFT hydroponic systems, as long as these values did not exceed the sweet pepper salt tolerance of 1.5 to 1.8 dS m⁻¹.



Additional key words: soilless cultivation, semiarid, environmental protection, water reuse.

RESUMEN

Las plantas de pimiento dulce se cultivaron utilizando un sistema hidropónico Nutrient Film Technique (NFT). Su objetivo fue evaluar el efecto del uso de agua salobre en la producción de fruta. El experimento se

¹ Federal University of Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-BA (Brazil). ORCID Santos, A.C.d.: 0000-0001-5753-0246; ORCID Silva, M.G.d.: 0000-0003-2140-201X; ORCID Chagas, D.S.: 0000-0002-6224-8234

² Campus Professora Cinobelina Elvas (CPCE), Federal University of Piauí (UFP), Bom Jesus-PI (Brazil). ORCID Boechat, C.L.: 0000-0002-5086-9156; ORCID Mendes, W.d.S.: 0000-0003-1271-031X

³ Corresponding author. cacioboecat@gmail.com



llevó a cabo en un diseño de bloques al azar con siete tratamientos y cinco repeticiones. La conductividad eléctrica del agua fue 0,29; 1,39; 2,75; 4,49; 5,90; 6,76 y 7,09 dS m⁻¹ en los tratamientos; también, esta agua se usó tanto para la preparación de la solución de nutrientes como para la reposición de la evapotranspiración del cultivo. Los parámetros de la planta: longitud del fruto, número de frutos por planta, peso medio del fruto, peso total de las frutas por planta y la relación longitud/diámetro del fruto se evaluaron 69 días después del trasplante. El uso de agua salobre con altos valores de conductividad eléctrica no interfiere directamente en la producción de chile dulce en los sistemas hidropónicos NFT, siempre que estos valores no excedan la tolerancia a la sal de pimienta dulce de 1,5 a 1,8 dS m⁻¹.

Palabras clave adicionales: cultivo sin suelo, semiárido, protección del medio ambiente, reutilización del agua.

Received for publication: 31-10-2017 Accepted for publication: 30-01-2018

INTRODUCTION

The increasing demand for water resources in recent decades has led to the search for more water-efficient techniques, as well as the rational use of water that is not desirable for drinking. The agricultural production sector puts the highest pressure on water resources. According to Chartzoulakis and Bertaki (2015), of the total annual volume of estimated water diversion worldwide, agricultural production currently uses about 70%, mainly for irrigation.

In this context, according to some authors (Dias *et al.*, 2010; Cosme *et al.*, 2011; Santos Júnior *et al.*, 2015), hydroponic agriculture is a strong ally as a mitigating technology against the quantitative and qualitative depletion scenario of water resources for the following reasons. Firstly, this approach favors water-efficient applications in agriculture.

The other reason involves the use of water that is considered marginal, such as brackish water. Alves *et al.* (2011) reported that, as hydroponic cultivation frequently assumes a matric potential equal to zero because of the saturation of plants, the crop response to salinity increases, as compared to the conventional cultivation system. Moreover, the authors pointed out that the drainage and irrigation system (Nutrient Film Technique) enables the appropriate use of mineral salts at the end of production. Numerous studies have shown (Paulus *et al.*, 2010; Soares *et al.*, 2010; Alves *et al.*, 2011; Maciel *et al.*, 2012; Sarmiento *et al.*, 2014) promising results using brackish water in the hydroponic cultivation of vegetables and some ornamental plants.

Moderately sensitive to salinity (Ayers and Westcott, 1985; Kurunc *et al.*, 2011; Maia *et al.*, 2017), bell peppers (*Capsicum annuum* L.) are one of the most widespread vegetables that are consumed fresh in Brazil. According to Albuquerque *et al.* (2011; 2012), the sweet pepper is among the ten most economically important vegetables in the domestic market. This is due to its fast vegetative growth and impact on production that provides an immediate financial return. Thus, it is widely cultivated by small and medium-sized farms. Sweet peppers originate from Central and South America and can be produced year around in warm climates (Monteiro *et al.*, 2009).

Accordingly, this study aimed to evaluate the effect of brackish water on sweet pepper production under the NFT system at different electrical conductivity levels.

MATERIALS AND METHODS

This experiment was conducted in a greenhouse in the municipality of Cruz das Almas-BA, Brazil (12°40'19" and 39°06'23" W; 220 m a.s.l.). The greenhouse structure used galvanized steel pipe covered with two arches and protected on the sides by a clarite type screen. The plastic film (anti UV, 150 μm thickness) was used to cover the roof and a thermal reflective blanket (Aluminet 50%, Ginegar Polysack, Leme-RJ, Brazil) was used inside, 14 m wide × 32 m long × 4 m high, with a maximum height of 5.5 m. In order to improve the phytosanitary conditions of

the greenhouse and extend the work life of the electric pumps (Brastemp, São Paulo-SP, Brazil), the floor was covered with a Bidim geotextile drainage blanket (Fibratex, Indaiatuba-SP, Brazil).

Sweet pepper seeds (*Capsicum annuum* L.) cv. Rubi Giant were seeded in a 50 mL plastic cups containing a layer of coconut fiber substrate and another layer of vermiculite at a 2:1 ratio (v/v) on November 28, 2013. Four seeds were placed in each cup. Thinning was done 15 days after sowing, leaving only one plant per cup.

During the experiment, the air temperature and relative humidity were monitored inside the greenhouse using a Thermo-Hygrometer sensor (Dostmann electronic GmbH, Wertheim, Germany) (Figs. 1A and B). The temperature was also measured with thermocouples (Copper/Constantan) in two different reservoirs of the nutrient solution. The sensors were connected to a data logger (model CR 1000, Campbell Scientific, São o Paulo-SP, Brazil) and the averages were recorded every 30 min.

The experiment design consisted of 35 experiment units. Each plot represented an independent NFT system (Nutrient Film Technique) containing a plastic reservoir with a 60 L capacity for the nutrient solution and one electric circulating pump. The structure consisted of hydroponic profiles of polypropylene, with a commercial diameter of 100 mm, anti-UV

additives, 3 m length and five holes with a 0.05 m radius, at a spacing of 0.30 m between the profiles.

The profiles were installed in pairs at a height of 1 m from the ground, with four points of support and a gradient of 4%. The spacing between the profiles was 0.5 m and a 0.9 m wide corridor was left between pairs of plots to facilitate transit and operability (Fig. 2).

The nutrient solution was conducted from the reservoir to the upper bench reaches through 0.02 m diameter PVC pipes, through which the solution was injected into the hydroponic profile with extension hoses. In the lower part of the profile, a cap was installed with a hose in order to return the excess nutrient solution to the tank. The surplus that was not injected into the profile was returned to the reservoir with a PVC pipe, where a 90° elbow was installed to improve the aeration of the nutrient solution.

Furthermore, each plot had an automatic supply system built with a solid section of PVC pipe and a nominal diameter of 0.2 m. This type of system allows automatic water output to the nutrient solution tank through a float-tap and automatic restoration of water consumption during evaporation. The system had a graduated scale fixed with a transparent hose, allowing for calculation of the evapotranspiration volume per plant at any time with equation 1.

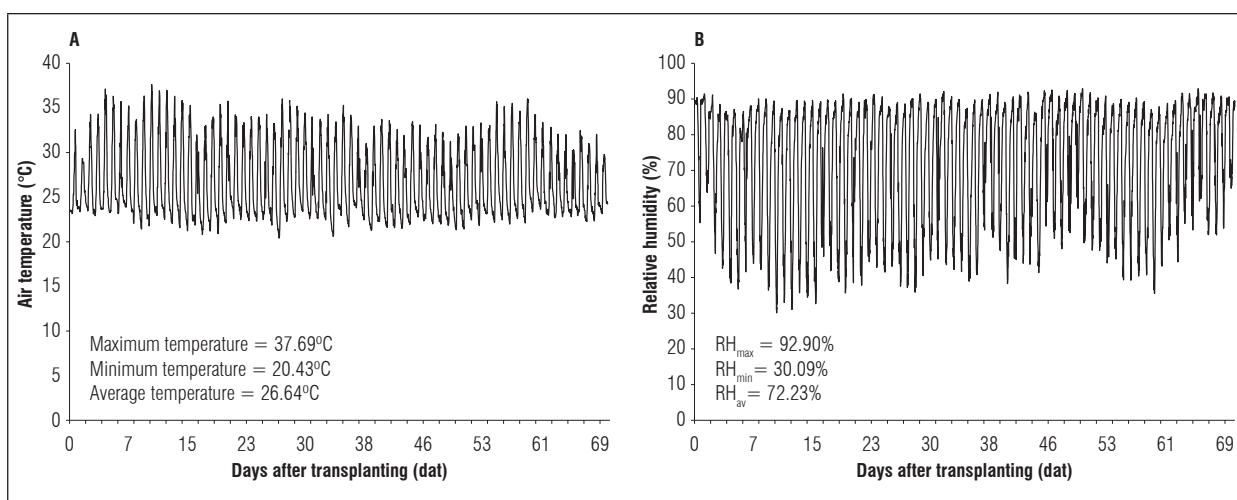


Figure 1. Air temperature (A) and relative humidity (B) inside the greenhouse.

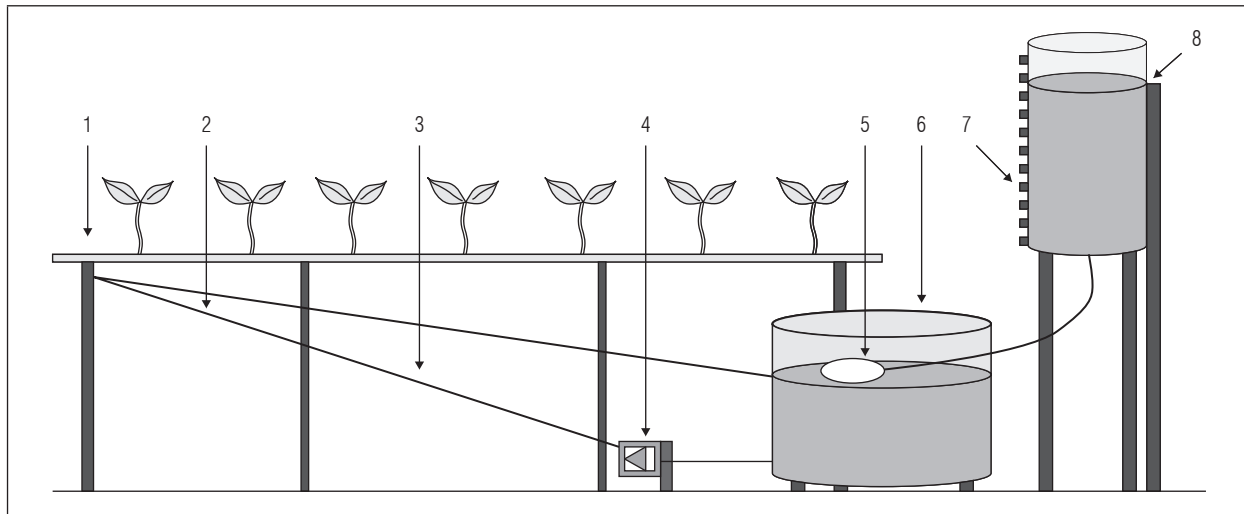


Figure 2. Illustration of hydroponic system NFT with automatic supply reservoir (adapted from Soares, 2007). 1. Hydroponic profile; 2. PVC conduit leading the solution to the injection system; 3. Conductive PVC tube of the solution not injected to the reservoir; 4. Circulation pump; 5. Float cock; 6. Nutrient solution reservoir; 7. Graduated transparent hose; 8. Automatic supply system.

$$V_{ETC} = \frac{(L_f - L_i) \times \pi \times D^2}{4 \times n \times \Delta T} \times 10^6 \quad (1)$$

where:

V_{ETC} : evapotranspiration volume (mL per plant and day);

L_i and L_f : initial and final water level readings, respectively, in the automatic supply reservoir, (m);

D : the inner diameter of the supply tank (m);

ΔT : the time interval between daily readings;

n : the number of plants in the hydroponic profile in the time interval ΔT .

The experiment design was randomized into blocks with seven treatments and five replicates. The treatments comprised the electrical conductivity of the water ($EC_w = 0.29; 1.39; 2.75; 4.49; 5.90; 6.76$ and 7.09 dS m^{-1}) used for both the nutrient solution preparation and replenishment of crop evapotranspiration.

The nutrient solution used to cultivate hydroponic pepper was similar to that recommended by Benoit *et al.* (1987). Table 1 shows the composition of the nutrient solution used in the experiment.

The water ($EC_w = 0.29 \text{ dS m}^{-1}$) came from the municipal supply (tap water), and the brackish water ($EC = 1.39; 2.75; 4.49; 5.90; 6.76$ and 7.09 dS m^{-1}) was

Table 1. Composition of the nutrient solution for the hydroponic cultivation of sweet pepper.

Nutrient source	mg L ⁻¹
Calcium nitrate	750
Potassium nitrate	500
Monoamonic phosphate	150
Magnesium sulfate	400
Copper sulfate	0.15
Zinc sulfate	0.3
Manganese sulfate	1.5
Boric acid	1.8
Sodium molybdate	0.15
Dissolvine® (FeEDTA - 13% Fe)	16

obtained by adding NaCl to the tap water. Therefore, the final EC_{sol} in the nutrient solution preparation was 2.11; 4.13; 5.10; 6.19; 7.26; 8.03 and 8.54 dS m^{-1} , respectively.

The nutrient solution was pumped from the reservoir to the upper bench reaches with an electric circulating pump, which was triggered with a digital programmable timer. It ran at time intervals of 15 min on and 10 min off during the periods from 06:00 to 11:00 am and from 02:00 to 07:00 pm. From 11:00 am to 14:00 pm, the irrigation was uninterrupted. In addition, there was irrigation for 15 min at 9:00 pm, 11:00 pm and 2:00 am.

The plants were manually irrigated with water from the local supply ($EC_w = 0.29 \text{ dS m}^{-1}$) until transplant to the hydroponic profiles. The experiment began on December 21, 2013 (23 d after sowing, das) by transplanting nine seedlings to each hydroponic plot when they presented two pairs of true leaves. During the experiment, the sweet peppers were vertically staked using polythene strips attached to horizontal and parallel strands of wire positioned 2.20 m from the ground. An application of Trichodel biofungicide (0.16 mL L^{-1} of nutrient solution) was done during the experiment and two applications of nim (*Azadirachta indica*) leaf extract (10% v/v) were done within 10 d. The electric conductivity and pH of the nutrient solution were evaluated every two days. The EC_{sol} was monitored with a bench conductivity meter, and, since the nutrient solution was not replaced, it was necessary to replenish the nutrients consumed at 33, 35, 42 and 44 d after transplanting (dat), as shown in table 2. The pH of the nutrient solution was always adjusted when necessary with 20% phosphoric acid in order to maintain the nutrient solution in the

range of 5.5 to 6.5 pH. as proposed by Furlani *et al.* (1999).

The harvest occurred on February 28, 2014, that is 69 dat or 92 das. The parameters: fruit diameter, fruit length, number of fruits per plant, mean fruit weight, total weight of fruits per plant and fruit length/diameter ratio were measured on that day.

The data were submitted to the normality assumption (Shapiro-Wilk) and homoscedasticity test (Bartlett test). The data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and, when significant differences were verified by the F test at 5%, the means were submitted to regression analysis in order to verify the optimal concentration for each variable through the first derivative of the estimators β_0 and β_1 . The significance of the models, the biological meaning and the coefficient of determination (R^2) were considered when choosing the equations. The analysis was performed using the statistical program Sisvar® (Ferreira, 2011).

RESULTS AND DISCUSSION

The initial salinity of the treatments was variable because of the fertilizer salts added to the water for sweet pepper productivity and NaCl usage for increasing the electrical conductivity (Fig. 3). The initial EC value in the water supply was 0.29 dS m^{-1} and, in the brackish waters, it was 1.39; 2.75; 4.49; 5.90 and 7.09 dS m^{-1} . Thus, the EC after the addition of the nutrient solution (EC_{sol}) was 2.11; 4.13; 5.10; 6.19; 7.26 and 8.54 dS m^{-1} .

It was observed that EC was reduced in the treatment without brackish water (0.29 dS m^{-1}) during the experiment. The other treatments increased their EC until the 59th day of evaluation with similar results. However, after 61 dat, the treatments 5.90, 6.76, and 7.09 dS m^{-1} overlapped (Fig. 3).

The electric conductivity (EC) in the treatment without brackish water was reduced during the experiment because the plants consumed the nutrients as a result of the absence of a corresponding ion inflow by water replacement even though the nutrient replacement occurred at 33; 35; 42 and 44 dat. Similar results were found in growing ornamental sunflowers and lettuce in the NFT hydroponic system by Maciel *et al.* (2012) and Alves *et al.* (2011), respectively. Moreover, according to

Table 2. Nutrient replenishment of the nutrient solution during the experiment.

First replacement	mg L ⁻¹
Calcium nitrate	70
Potassium nitrate	40
Monoamonic nosphate	10
Magnesium sulfate	40
Second replenishment	
Calcium nitrate	350
Potassium nitrate	230
Monoamonic phosphate	70
Magnesium sulfate	180
Third replenishment	
Calcium nitrate	190
Potassium nitrate	130
Monoamonic phosphate	40
Magnesium sulfate	100
Fourth replenishment	
Calcium nitrate	190
Potassium nitrate	130
Monoamonic phosphate	40
Magnesium sulfate	100

these authors, this small reduction in the salinity resulted from a nutrient intake that was greater than the contribution of salts dissolved in this treatment.

The increased salinity from 61 dat in the treatments 5.90, 6.76, and 7.09 dS m^{-1} was due to ion accumulation not absorbed by the sweet pepper plants. This could be because the evaporative water loss was carried out with salt water at each EC in the treatments and linked to increasing water consumption of the bell pepper during the growth stages (Figs. 3 and 5).

As seen in figure 4, only 22.6% of the dependent variable could be explained by the covariates in the model. However, the number of fruits per plant

showed a small decrease as salinity increased in the nutrient solution (Fig. 4). Chartzoulakis and Klapaki (2000) had similar results in their research. They found a drastic reduction in the number of fruits when the salinity level exceeded 7.0 dS m^{-1} . Furthermore, several authors have observed linear reductions in plant dry matter production associated with increasing salinity of the environment and have concluded that this is responsible for reducing the number of fruits and fruit weight per pepper plant (Navarro *et al.*, 2010).

The decrease in these parameters reflects the result of negative osmotic pressure in the nutrient solution because of salt stress. Therefore, the plants responded

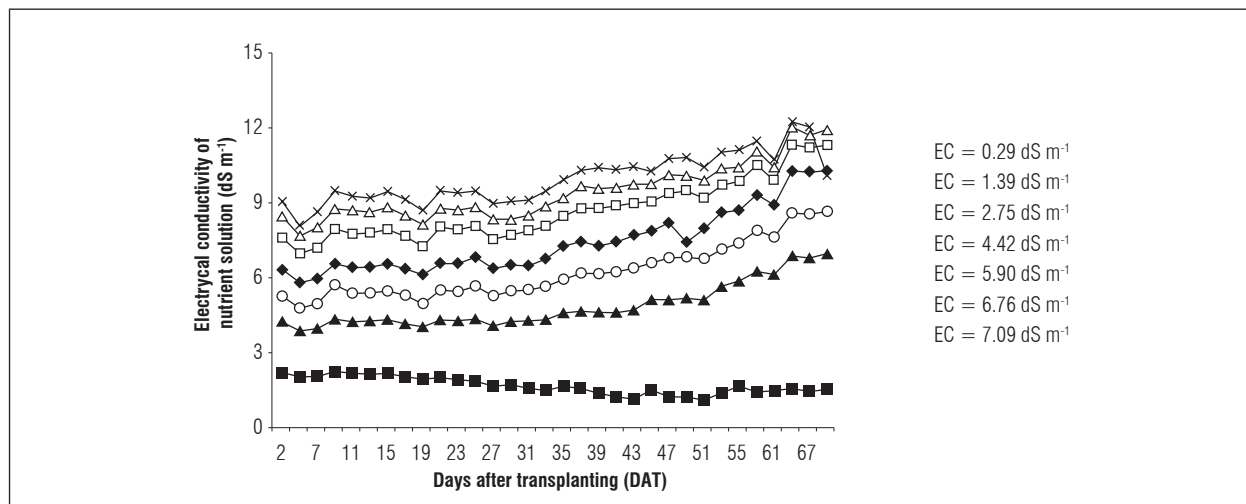


Figure 3. Electrical conductivity of nutrient solution after salt addition to the NFT hydroponic system.

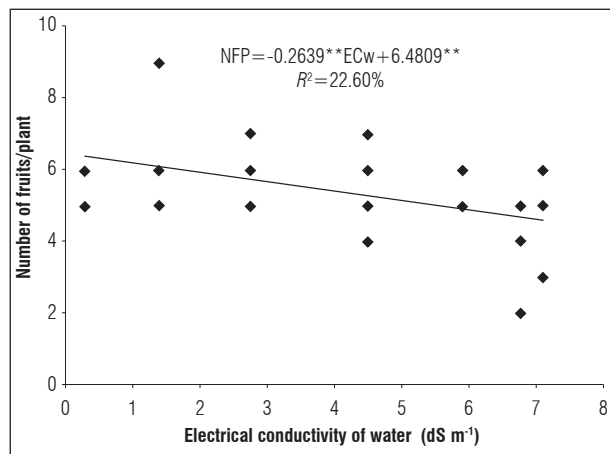


Figure 4. Number of sweet pepper fruits per plant grown in nutrient solution with different salinity levels in the NFT hydroponic system.

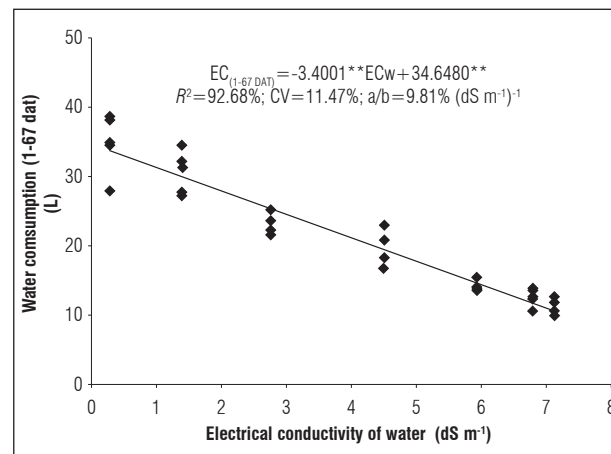


Figure 5. Water consumption of sweet pepper grown in nutrient solution with different salinity levels in the NFT hydroponic system.

physiologically by closing stomata, inhibiting water absorption (Fig. 6) and inducing cell dehydration, toxic salt, and, finally, senescence (Cosme *et al.*, 2011). Moreover, plant growth in saline solutions may be affected by an inverse correlation between K and Na accumulation in the leaf tissue, related to the competition in the plasma membrane of these ions for absorption and transport sites. Thus, K concentrations in leaf tissue decrease by increasing concentrations of Na because of the antagonism between these elements (Soares *et al.*, 2016).

Potassium is vital in the water-plant relationship, helps maintain the internal pressure of plant cells

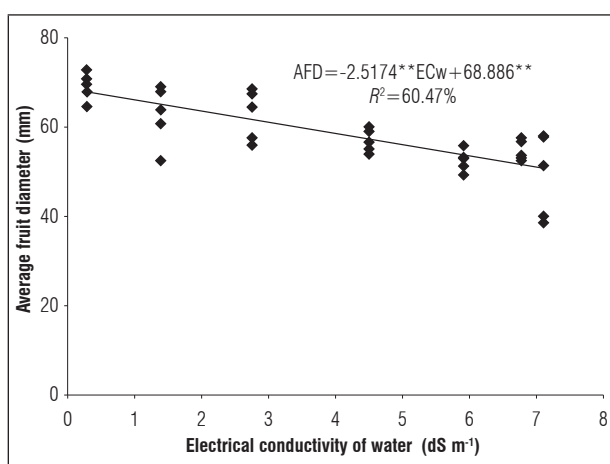


Figure 6. Average fruit diameter of sweet pepper grown in nutrient solution with different salinity levels in the NFT hydroponic system.

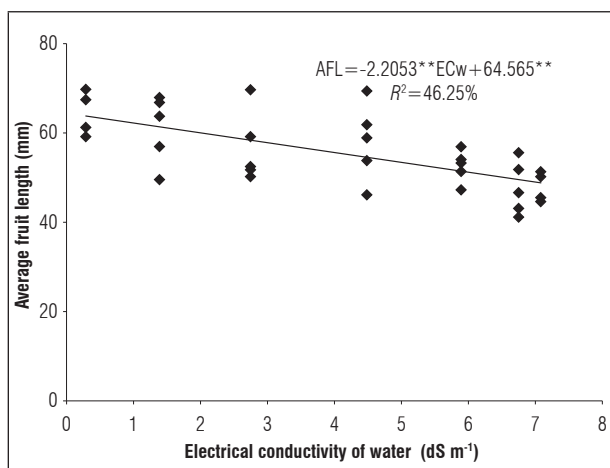


Figure 7. Average fruit length of sweet pepper grown in nutrient solution with different salinity levels in the FT hydroponic system.

and produces more succulent fruits. The root system in potassium deficient plants is poorly developed, which impairs the absorption of water and nutrients. Potassium also plays an important role in enzymatic reactions, carbohydrate and protein metabolism, sugar and starch translocation, water-plant relationships, and cell division (Marschner, 2012).

The nitrogen levels in the solution reduced the effect of salinity on the plant dry weight. This result occurred with irregular concentrations in plants grown in the N salinity of 3.4 dS m⁻¹ and in plants at suitable levels of N with a salinity of 6.2 dS m⁻¹ (Semiz *et al.*, 2014), i.e. the data dispersion in figure 5 may be related to the nutrient content in the NFT system. Water absorption, essential for cell growth, was inhibited by the low potential of water around the roots because of the reduction of the osmotic potential in the saline conditions, causing a water deficit and reduction of the evapotranspiration replenishment when using both the brackish and tap water (Soares *et al.*, 2015).

Fruit width and length are morphological traits that, generally, describe fruit size and appearance in bell peppers. As seen in figures 6 and 7, there were reductions of 26.6 and 25.6% in the fruit diameter and length, as well as an electrical conductivity in the solution of 7.09 dS m⁻¹ when compared to the control treatment (0.29 dS m⁻¹). The other treatments (1.39; 2.75; 4.49 and 5.90 dS m⁻¹) had reductions in the fruit diameter of approximately 8.6; 13.7; 18.9 and 24.0% and in the fruit length of approximately 5.6; 12.4; 20.1 and 24.0%, respectively.

These results were reflected in the average fruit weight per plant (Fig. 8), as well as the number of fruits per plant (Fig. 4), which were affected by the increasing salinity. According to Navarro *et al.* (2010), salinity reduces both fruit size and number of fruits or only fruit size. This corroborates our results. A study conducted by Arruda *et al.* (2011) observed a reduction in weight of marketable fruits of 6.67% for each unit of increased electrical conductivity.

This difference in these results is explained by the initial electrical conductivity of each experiment (2.6 and 0.29 dS m⁻¹, respectively), an almost 9-fold difference. However, De Pascale *et al.* (2000) observed that yield (measured by individual fruit weight and number of fruits per plant) was only significantly reduced by salt stress when NaCl concentrations were higher than 0.25% and electrical conductivity of the soil was greater than 4 dS soil m⁻¹ in the root zone.

The EC was 2.8 dS m^{-1} and 53% between the higher conductivity (2.6 dS m^{-1}) and the control treatment (12.2 dS m^{-1}). Figure 7 shows a reduction of approximately 65.4% in fruit weight between the control treatment (0.29 dS m^{-1}) and the treatment with higher conductivity (7.09 dS m^{-1}).

The behavior of the variables length, diameter and average weight (Figs. 6-8) was similar to that obtained by Leonardo *et al.* (2007), who attributed this physiological crop response to two factors: a negative interaction between the levels of Ca and K in the plant and low availability of Ca for plants in a salt stress environment.

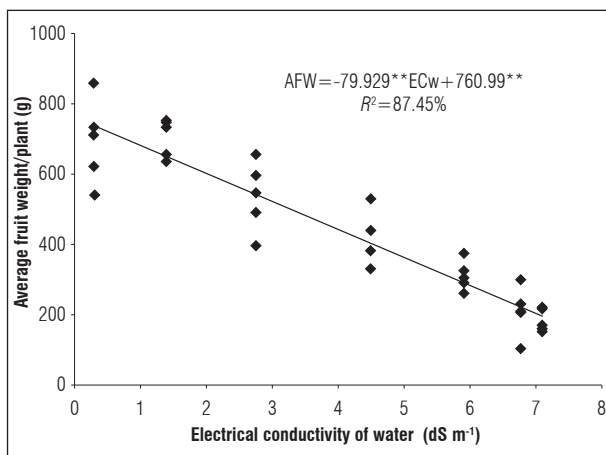


Figure 8. Average fruit weight for sweet pepper fruit grown in nutrient solution with different salinity levels in the NFT hydroponic system.

CONCLUSIONS

The use of brackish water with high EC values does not directly interfere with sweet pepper production in NFT hydroponic systems as long as these values do not exceed the sweet pepper salt tolerance of 1.5 to 1.8 dS m^{-1} .

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

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Alves, M.S., T.M. Soares, L.T. Silva, J.P. Fernandes, M.L. Oliveira, and V.P. Paz. 2011. Strategies for use of brackish water in NFT hydroponic lettuce production. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 15, 491-98. Doi: 10.1590/S1415-43662011000500009

Albuquerque, F.S., E.F.F. Silva, J.A.C. Albuquerque Filho, and M.F.F.N. Nunes. 2011. Growth and yield of sweet pepper fertigated under different irrigation depths and potassium doses. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 15, 686-94. Doi: 10.1590/S1415-43662011000700006

Albuquerque, F.S., E.F.F. Silva, E. Bezerra Neto, E.R.A. Souza, and A.N. Santos. 2012. Mineral nutrients in fertigated sweet pepper under irrigation depths and potassium doses. *Hortic. Bras.* 30, 681-87. Doi: 10.1590/S0102-05362012000400019

Arruda, C.E.M., N.S. Dias, F.F. Blanco, O.N. Sousa Neto, and M. Ferreira Neto. 2011. Bell pepper cultivation with brine from brackish water desalination. *Rev. Caatinga.* 24, 197-201.

Ayers, R.S., and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage, Rome.

Benoit, F. 1987. High-technology glasshouse vegetable growing in Belgium. *Soiless. Culture.* 3, 21-9.

Cosme, C.R., N.D.S. Dias, A.D. Oliveira, E.M. Oliveira, and O.D. Sousa Neto. 2011. Hydroponic tomato production using reject of desalination in the nutrient solution applied at different stages. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 15, 499-504. Doi: 10.1590/S1415-43662011000500010

Chartzoulakis, K., and M. Bertaki. 2015. Sustainable water management in agriculture under climate change. *Agric. Agric. Sci. Procedia.* 4, 88-98. Doi: 10.1016/j.aaspro.2015.03.011

De Pascale, S., C. Ruggiero, and G. Barbieri. 2000. Effects of irrigating pepper (*Capsicum annuum* L.) plants with saline water on plant growth, water use efficiency, and marketable yield. *Acta. Hort.* 537, 687-95. Doi: 10.17660/ActaHortic.2000.537.81

Dias, N.D.S., R.B. Lira, R.F. Brito, O.N. Sousa Neto, M. Ferreira Neto, and A.M. Oliveira. 2010. Melon yield in a hydroponic system with wastewater from desalination plant added in the nutrient solution. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 14, 755-61. Doi: 10.1590/S1415-43662010000700011

Ferreira, D.F. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc. Agrotec.* 35, 1039-42. Doi: 10.1590/S1413-70542011000600001

Furlani, P.R., L.C.P. Silveira, D. Bolonhezi, and V. Faquin. 1999. Hydroponic plant cultivation.: IAC, Campinas, Brazil.

Kurunc, A., A. Unlukara, and B. Cemek. 2011. Salinity and drought affect yield response of bell pepper similarly. *Acta. Agric. Scand. B.* 61, 514-22. Doi: 10.1080/09064710.2010.513691

Leonardo, M., F. Broetto, R.L.V. Boas, R.S. Almeida, and J.A. Marchese. 2007. Production of sweet pepper fruits in different saline concentrations. *Irriga.* 12, 73-82.

- Maciel, M.P., T.M. Soares, H.R. Gheyi, E.P. Rezende, and G.X. Oliveira. 2012. Production of ornamental sunflower with use of brackish waters in NFT hydroponic system. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 16, 165-72. Doi: 10.1590/S1415-43662012000200006
- Maia, S.S.S., R.C.P. Silva, F.A. Oliveira, O.M.P. Silva, A.C. Silva, and W.S. Candido. 2017. Responses of basil cultivars to irrigation water salinity. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 21, 44-9. Doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p44-49
- Marschner, P. (ed.). 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Elsevier/Academic Press, London.
- Monteiro, M.T.M., V.F.F. Gomes, P.F. Mendes Filho, and F.V.A. Guimarães. 2009. Absorption of nutrients by seedlings of mycorrhizal pepper cultivated on substrate with coconut powder. *Rev. Caatinga.* 22, 95-101.
- Navarro, J.M., C. Garrido, P. Flores, and V. Martínez. 2010. The effect of salinity on yield and fruit quality of pepper grown in perlite. *Span. J. Agric. Res.* 8, 142-50. Doi: 10.5424/sjar/2010081-1153
- Paulus, D., D. Dourado Neto, J.A. Frizzzone, and T.M. Soares. 2010. Production and physiologic indicators of lettuce grown in hydroponics with saline water. *Hortic. Bras.* 28, 29-35. Doi: 10.1590/S0102-05362010000100006
- Santos Júnior, J.A., H.R. Gheyi, A.R. Cavalcante, S.D.S. Medeiros, N.D.S. Dias, and D.B.D. Santos. 2015. Water use efficiency of coriander produced in a low-cost hydroponic system. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 19, 1152-58. Doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1152-1158
- Sarmiento, J.D.A., P.L.D. Morais, M.L.B. Almeida, O.N. Sousa Neto, and N.S. Dias. 2014. Quality and conservation of lettuce grown with desalination waste. *Rev. Caatinga* 27, 90-7.
- Semiz, G.D., D.L. Suarez, A. Unlukara, and E. Yurtseven. 2014. Interactive effects of salinity and N on pepper (*Capsicum Annuum* L.) yield, water use efficiency and root zone and drainage salinity. *J. Plant. Nutr.* 37, 595-610. Doi: 10.1080/01904167.2013.867985
- Soares, T.M., S.N. Duarte, E.D.F. Silva, and C.A. Jorge. 2010. Combination of fresh and brackish waters for hydroponic lettuce production. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 14, 705-14. Doi: 10.1590/S1415-43662010000700004
- Soares, H.R., E.F.F. Silva, G.F. Silva, E.M.R. Pedrosa, M.M. Rolim, and A.N. Santos. 2015. Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using brackish water. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 19, 636-42. Doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p636-642
- Soares, T.M. 2007. Use of brackish water in the cultivation of lettuce in hydroponic system NFT as an agricultural alternative, consistent with the Brazilian semi-arid region. Doctoral thesis. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba-SP, Brazil.

Residuos de plaguicidas organofosforados en la cadena productiva del brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) y coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) en Colombia: aproximación a un perfil de riesgo

Organophosphorus pesticide residues in the production chain of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) and cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) in Colombia: approach to risk profile

JAVIER FRANCISCO REY^{1, 2}
ÁNGELA MARIA OTALVARO¹
MARÍA PATRICIA CHAPARRO¹
LENA PRIETO¹
ALFREDO LÓPEZ¹



Brócoli y coliflor recientemente cosechados.

Foto: H. Ulbing

RESUMEN

Las crucíferas son afectadas por problemas fitosanitarios, que derivan en el uso de plaguicidas como medida de manejo. Se realizó una recopilación de información científica y técnica sobre la presencia de residuos de plaguicidas organofosforados en alimentos y sobre los efectos en salud asociados a este, también se consideró la cadena productiva del brócoli y el coliflor en Colombia, además, se realizó una aproximación a la caracterización del riesgo que este peligro representa para los consumidores del país, siguiendo la metodología FAO para la elaboración de perfiles de riesgo en inocuidad de alimentos. Se encontró que en Colombia los plaguicidas organofosforados más empleados son: paratión, metamidofos, diazinón, clorpirifos y malatión, por lo cual podrían estar presentes como residuos en las crucíferas estudiadas. Dentro de la revisión no se encontró información asociada específicamente a la concentración de residuos de plaguicidas organofosforados en brócoli y coliflor para Colombia. El riesgo para la población se determinó utilizando datos de concentración de residuos en brócoli de estudios realizados en México y Ecuador, y la información del uso de plaguicidas, correspondiente a los reportes de Corpoica. Los datos sobre el consumo, se extrajeron de la ENSIN 2005. El riesgo

¹ Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad de La Salle, Bogotá (Colombia). ORCID Rey, J.F.: 0000-0002-9235-9752; ORCID Otalvaro, A.M.: 0000-0003-0922-007X; ORCID Chaparro, M.P.: 0000-0003-4576-5405; ORCID Prieto, L.: 0000-0002-9696-8440; ORCID López, A.: 0000-0003-4270-9790

² Autor para correspondencia. jrey@unisalle.edu.co

en inocuidad determinado para el peligro en el alimento estudiando fue bajo, aclarando que la estimación realizada considera únicamente la presencia de residuos de diazinón y clorpirifos en las matrices estudiadas. Es necesario aclarar que se trata de una aproximación al perfil de riesgo trabajada con los dos plaguicidas descritos y específicamente en brócoli y coliflor.

Palabras clave adicionales: poscosecha, crucíferas, inocuidad, medidas sanitarias y fitosanitarias.

ABSTRACT

Crucifers are affected by phytosanitary problems, derived during the use of pesticides as a management strategy. Scientific and technical information on the presence of residues of organophosphorus pesticides in foods was compiled, along with the associated health effects. The production chain for broccoli and cauliflower in Colombia was also considered to characterize the risk of this danger to consumers, following the FAO methodology for creation of risk profiles in food safety. It was found that, in Colombia, the most commonly used organophosphorus pesticides are parathion, methamidophos, diazinon, chlorpyrifos and malathion, which could be present as residues in the studied crucifers. Within the review, there was no information specifically associated with the concentration of organophosphorus pesticide residues in broccoli and cauliflower from Colombia. The risk for the population was determined using residue concentration data in broccoli from studies reported in Mexico and Ecuador and information on the use of pesticides from Corpoica reports. The consumption data were extracted from ENSIN 2005. The safety risk determined for the studied food hazard was low, showing that the estimation only considered the presence of diazinon and chlorpyrifos residues in the studied matrices. It is necessary to note that this is an approximate risk profile for the two pesticides described and; specifically, in broccoli and cauliflower.

Additional key words: postharvest, cruciferous, innocuous, sanitary and phytosanitary measures.

Fecha de recepción: 02-08-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

Los organofosforados son los plaguicidas de más uso para el control de plagas en Colombia, junto con carbamatos y bupiridilos (Cárdenas *et al.*, 2010). En el caso del cultivo de crucíferas el Instituto Colombiano Agropecuario (Colombia) permite la aplicación de los siguientes organofosforados: Paration, Metamidofos, Diazinon, Clorpirifos y Malation (ICA, 2017). Estos empezaron a usarse con más frecuencia después de la prohibición de los plaguicidas organoclorados y han resultado ser eficaces y económicos (Pérez *et al.*, 2009); sin embargo, aunque son menos persistentes en el ambiente, representan un riesgo para la salud humana (Brotons, 2004).

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica, 2009) en Colombia, informó que

los productores de las hortalizas como repollo, brócoli, coliflor y col china, realizan aplicaciones indiscriminadas de organofosforados para evitar el rechazo en los mercados (Arévalo *et al.*, 1997) llegando a efectuarse hasta 16 aplicaciones durante el ciclo vegetativo del cultivo. Situación que deriva en la presencia de residuos de estas sustancias en los productos que pasan a los consumidores. En México por ejemplo, en un estudio que se realizó sobre brócoli al momento de la cosecha, se estableció la presencia de residuos de malatión, diazinón y clorpirifos en el 70, 65 y 43%, respectivamente, para las muestras analizadas (Pérez *et al.*, 2009).

Los organofosforados junto con los carbamatos y los bupiridilos con frecuencia están asociados a casos de

intoxicación debido a la fosforilación de su ingrediente activo y la inactivación de la enzima acetilcolinesterasa (AChE) que ayuda a la desactivación de la acetilcolina en el sistema nervioso (Cárdenas *et al.*, 2010). Se ha encontrado que la mayor cantidad de residuos de estas sustancias se encuentran en la grasa y los tejidos musculares y no en el hígado (Zrostlíková *et al.*, 2002).

Algunos estudios han asociado la exposición a organofosforados con dolores de cabeza, alergias, náuseas, efectos psicológicos adversos, incremento en la frecuencia de cáncer, anormalidades cognitivas y neurocomportamentales, teratogenicidad, inmunotoxicidad y alteraciones endocrinas (Yu *et al.*, 2016).

En este sentido resulta importante conocer el tipo de compuestos que son usados, su vía de ingreso al organismo y tiempo de evolución para poder definir medidas de gestión que permitan reducir el riesgo que los residuos de estas sustancias presentes en los alimentos podrían representar para los consumidores. Este trabajo buscó identificar los plaguicidas organofosforados aplicados a brócoli y coliflor en Colombia, para estimar si los niveles de estos residuos representan un riesgo para la población.

MATERIALES Y MÉTODOS

Un perfil de riesgo implica la recopilación de información acertada sobre una cuestión en inocuidad y su objetivo principal es fortalecer la gestión del riesgo ayudando a tomar nuevas medidas.

El proceso para el desarrollo de este documento, siguió el protocolo Codex Alimentarius (2007) para el análisis de riesgos en inocuidad de alimentos, y consta de tres etapas:

- Descripción del alimento implicado y del peligro.
- Identificación de los posibles riesgos basados en el análisis de las publicaciones científicas disponibles en medio digitales o impreso.
- Características del producto/peligro que podrían repercutir en la disponibilidad y viabilidad de opciones de gestión de riesgos.

La información que debe contener un perfil de riesgo incluye según el Codex Alimentarius (2007): descripción del peligro, descripción del alimento o alimentos

implicados, la identificación del peligro en la cadena productiva, la frecuencia, distribución y niveles de presencia del peligro en el alimento objeto de estudio, la identificación de posibles riesgos basada en el análisis de las publicaciones científicas disponibles en los últimos años, la naturaleza de los valores (sanitarios, económicos, culturales, etc.) que se encuentran en riesgo, la distribución del riesgo (quién: lo produce, se beneficia de él, lo padece), las características del producto/peligro que podrían tener consecuencias en la disponibilidad y viabilidad de opciones de gestión del riesgo, las prácticas actuales de gestión de riesgo relacionadas con el peligro, el conocimiento público de los posibles riesgos, información sobre medidas de gestión (control) del riesgos, las preguntas cuya respuestas podría solucionarse con una evaluación de riesgos, la identificación de vacíos de información científica que pueden impedir/limitar una evaluación de riesgos y las repercusiones de la gestión de riesgos en los acuerdos internacionales (ejemplo: Acuerdo de medidas sanitarias y fitosanitarias-MSF).

En ese sentido, se consultó documentos científicos para determinar el riesgo en salud que implica la presencia de residuos de organofosforados en brócoli y coliflor consumidos en Colombia. Se debe aclarar que se trabajó con el peor escenario posible razón por la cual no se tuvo en cuenta el factor de absorción, además de contemplar el brócoli como único vehículo de exposición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los organofosforados son ésteres del ácido fosfórico o sus derivados como amidas o tioles. La estructura química (Fig. 1) en forma general se observa un grupo fosfato o derivado fosfato unido a una molécula orgánica.

El enlace oxón, presente en la estructura (Fig. 1), es un potente inhibidor de algunas esterases y de la enzima colinesterasa que es esencial para el funcionamiento normal del sistema nervioso del cuerpo humano, de los animales mamíferos, aves e insectos. Esta estructura química se hidroliza fácilmente en condiciones alcalinas, por lo que se hace necesario el reemplazo del átomo de oxígeno por un átomo de azufre, dando lugar a los tiones que también inhiben la enzima colinesterasa penetrando capas o membranas biológicas más rápidamente que los oxones (Wood, 2000).

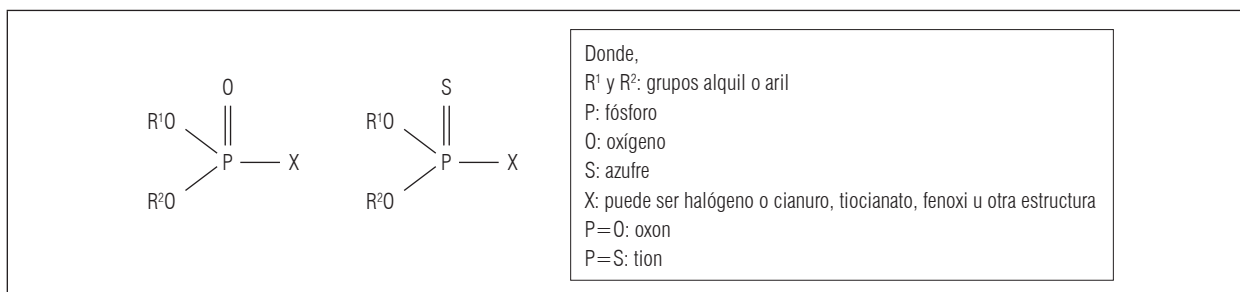


Figura 1. Fórmulas generales de los compuestos organofosforados (tomado de Wood, 2000).

En Colombia los plaguicidas organofosforados son usados en agricultura para mejorar la calidad y cantidad de los alimentos, para eliminar insectos (nivel doméstico) y en salud pública, para el control de vectores los cuales son transmisores de enfermedades. Este uso puede conducir a efectos adversos como la contaminación ambiental y la toxicidad para los seres humanos (Fernández *et al.*, 2010). La principal fuente de contaminación por organofosforados proviene de la aplicación de insecticidas a los cultivos durante el desarrollo de actividades agrícolas (Nivia, 2000).

En cuanto al cultivo de crucíferas en Colombia, según Agronet para el año 2014 se registraron 804,80 ha de brócoli y 517,70 ha de coliflor, con una producción de 17.023,10 y 11.266,30 t, respectivamente. Y dado que en los últimos años el consumo de estos vegetales ha experimentado un fuerte aumento al reconocerles importantes efectos benéficos para la salud de las

poblaciones que los consumen, se justifica el desarrollo de estudios enfocados a determinar la inocuidad de estos productos (Villatoro, 2011).

Según la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional Ensin del 2010 (ICBF, 2010), en Colombia el consumo de verduras cocidas no es usual puesto que solo se consume una vez por semana para el 47,8% de los entrevistados (Tab. 1). Por ejemplo, Galindo (2015) determinó el número de porciones de brócoli que se consumen semanalmente en la ciudad de Bogotá encontrando un 67,3% de no consumo para el grupo de personas entre edades de 15 a 39 años (Tab. 2). A pesar de lo mencionado por la Ensin 2005 (ICBF, 2006) donde el brócoli se encuentra dentro las hortalizas más consumidas en Colombia (Tab. 3).

Los plaguicidas organofosforados usados en cultivos de crucíferas en Colombia se presentan en la tabla 4.

Tabla 1. Frecuencia de consumo de verduras cocidas en Colombia (tomado de ICBF, 2010).

Práctica de alimentación	Frecuencia de consumo diario	Frecuencia de consumo semanal	Frecuencia de consumo mensual	No. consumo usual
Verduras cocidas	9,6%	47,8%	7,6%	35,1%

Tabla 2. Distribución semanal de porciones consumidas de brócoli en Bogotá (Colombia) (basado en Galindo, 2015).

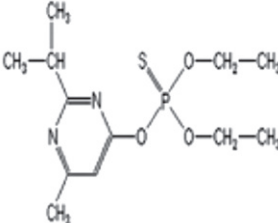
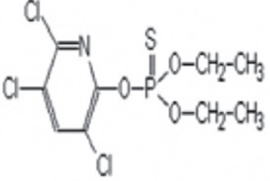
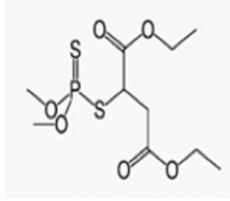
Porciones	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12 o más
Porcentaje	67,3	20,0	8,7	3,4	1,6	1,0	0,7	0,7	0	0,3	0	0	0	0

Tabla 3. Indicadores de consumo de brócoli y coliflor consumidas en Colombia, 2005 (adaptado de ENSIN 2005; ICBF, 2006).

Verduras	Mediana	Q1:25%	Q3:75%	IQR	Personas [∞] (%)	Media [∞]	DS [∞]
(19)Brócoli ¹	32,0	16,0	48,0	32,0	0,5	32,1	18,8
(20)Coliflor	27,0	15,0	40,5	25,5	0,5	32,1	18,8

¹ El brócoli pertenece al grupo de las 10 verduras con consumos más altos en cantidad, medidos en gramos diarios. Las verduras están organizadas de mayor a menor de acuerdo al número de personas que las consumen. IQR: Rango intercuartílico; Personas[∞] (%): porcentaje de personas que consumen el alimento; Media[∞]: media ponderada; DS[∞]: desviación estándar de la media ponderada.

Tabla 4. Organofosforados destinados a crucíferas en Colombia (tomado de Pesticide Properties Database (PPDB), 2016).

Propiedades	Diazinón (II)	Clorpirifos (III)	Malatión (III)
Fórmula química	C ₁₂ H ₂₁ N ₂ O ₃ PS	C ₉ H ₁₁ C ₆ N ₃ PS	C ₁₀ H ₁₉ O ₆ PS ₂
Punto de fusión (°C)	No aplica	41,5	-20
Punto de ebullición (°C)	Se descompone antes de ebullición	Se descompone antes de ebullición	Se descompone antes de ebullición
Punto de degradación (°C)	140	170	174
Densidad (g mL ⁻¹)	1,11	1,51	1,23
Solubilidad en agua a 20°C (mg L ⁻¹)	60 (moderado)	1,05 (baja)	148 (moderado)
Presión de vapor a 25°C (mPa)	11,97 (volátil)	1,43 (volátil)	3,1 (volátil)
Constante de Henry a 20°C	6,10 × 10 ⁻⁰² (volátil)	2,8 × 10 ⁻⁴ (volátil)	4,80 × 10 ⁻⁰⁵ (volátil)
Coefficiente de partición octanol-agua Log (Kow)	3,69	4,3	2,75
Estado físico	Líquido incoloro a marrón oscuro	Cristales coloreados café	Líquido claro a ámbar
Efectos conocidos sobre salud	Neurotóxico, irrita la piel y los ojos, inhibidor de colinesterasa	Neurotóxico, afecta reproducción, sensibiliza la piel	Neurotóxico e inhibidor de colinesterasa
Estructura química			

En una investigación realizada en el estado de Punjab en la India, se tomaron 50 muestras de coliflores de zonas de cultivo intensivo de hortalizas con el fin de determinar la magnitud y la frecuencia de contaminación con plaguicidas. El 42% de las muestras se encontraron contaminadas con cantidades bajas pero medibles de residuos. Entre los tres principales grupos de químicos, los organofosforados fueron los contaminantes dominantes seguidos por los organoclorados y piretroides. Sin embargo, ninguna de las muestras encontradas, contenían concentraciones que superaran sus respectivos Límite Máximo Residuales (LMR) (Mandal y Singh, 2010).

En otro estudio realizado por Charan *et al.* (2010) sobre el monitoreo de residuos de plaguicidas en granjas de vegetales en la región este de la India, de un total de 182 muestras de seis vegetales diferentes, cerca del 40,11% estaban contaminadas de residuos de plaguicidas y un 35,62% de las muestras contaminadas excedían los valores de LMR. Para el caso del coliflor, se encontraron residuos de metilparatión que variaron entre concentraciones no detectables y 0,33

$\mu\text{g g}^{-1}$ (cuatro muestras lo superaron) siendo $0,2 \mu\text{g g}^{-1}$ el valor del LMR. También la concentración de quinolfos varió entre no detectable y $0,44 \mu\text{g g}^{-1}$, siendo $0,25 \mu\text{g g}^{-1}$ el valor del LMR superado por dos de las muestras y endosulfano con valores entre $0,04$ y $1,25 \mu\text{g g}^{-1}$ siendo $1,0 \mu\text{g g}^{-1}$ el valor del LMR (superado por una muestra).

En México, en el 2009, se desarrolló un estudio asociado a la determinación del contenido de residuos de organofosforados en brócoli mediante cromatografía líquida. En total se analizaron 23 sitios de producción, encontrando que en la mayoría de estos se realizan entre una y cuatro aplicaciones de estos productos durante el ciclo de cultivo, que derivan en la presencia de residuos de malatión, diazinón y clorfeninfos en 70, 65 y 43% de las muestras respectivamente. En cuanto a la concentración de los residuos en el brócoli, ésta fue de 5,78; 2,67 y $1,16 \text{ mg kg}^{-1}$ para clorfeninfos, malatión y diazinón, respectivamente, seguidos por fentión y etión que registraron concentraciones de $0,041$ y $0,024 \text{ mg kg}^{-1}$ (Pérez *et al.*, 2009).

Tabla 5. Residuos de organofosforados en brócoli y coliflor producidos de modo convencional en Estados Unidos (tomado del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2008)).

Vegetal	Clorpirifos ($\mu\text{g}/100$ g de producto)	Dianizon ($\mu\text{g}/100$ g de producto)	Malatión ($\mu\text{g}/100$ g de producto)	Metamidofos ($\mu\text{g}/100$ g de producto)
Brócoli	3,8	1,1	3,2	
Coliflor			0,2	0,7

Otra información acerca del contenido de residuos de organofosforados en brócoli y coliflor fue obtenida del Programa de Datos sobre Plaguicidas (PDP) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para el año 2008. El estudio se hizo para los vegetales nacionales obtenidos de modo convencional, sin encontrar residuos de estas sustancias (Tab. 5).

Igualmente, en un estudio realizado en Ecuador, se analizaron 30 muestras de brócoli, de las cuales seis presentaban residuos de plaguicidas no permitidos según la legislación de ese país. Sin embargo, los límites de cuantificación para metomil, carbofuran, carbarilo y profenofos en brócoli son inferiores a los límites máximos permisibles según otras legislaciones (Pazmiño *et al.*, 2015). En otro estudio, desarrollado en este mismo país en brócoli se encontró que de 72 muestras analizadas, 41 presentaban residuos de algún tipo de plaguicidas y específicamente siete de estas muestras contenían residuos de organofosforados, cuatro resultaron positivas para clorpirifos con concentraciones que variaban entre 31,34 y 184,3 ng g^{-1} y tres fueron positivas para boscalid con concentraciones entre 20,47 y 69,09 ng g^{-1} (Pazmiño *et al.*, 2015).

Para el caso de Colombia, en la revisión realizada no se encontraron estudios relacionados con la cuantificación de residuos de organofosforados en brócoli y coliflor.

Un tóxico puede eliminarse sin descomponerse en el organismo, o ser descompuesto en metabolitos, los cuales pueden ser menos tóxicos o más tóxicos que las sustancias originales o pueden depositarse en órganos o tejidos (Agrequima, s.f).

Para determinar los efectos sobre la salud de un plaguicida es importante conocer el tipo de compuesto usado, la vía de ingreso del tóxico y el tiempo de evolución. En los casos de intoxicación aguda el cuadro clínico está conformado por una serie de síntomas característicos que deben ser reconocidos por el profesional de medicina en el servicio de urgencias, para poder brindar un manejo conveniente y oportuno al paciente (Fernández *et al.*, 2010).

La población más susceptible a estos componentes es la infantil, los estudios realizados manifiestan que dosis bajas de plaguicidas organofosforados, afectan el desarrollo del sistema nervioso y las características cerebrales de niños en crecimiento. Los organofosforados que representan mayores riesgos son: metil paratión, dimetoato, clorpirifos, metil pirimifos, y metil azinfos; los cuales representan más del 90% del riesgo total de los insecticidas organofosforados en la dieta de niños e infantes.

En el noreste de la República de China se determinó la concentración de organofosforados en vegetales frescos y se estimó el riesgo potencial que ésta representaba para la salud de los habitantes de la provincia de Jilin. En total se analizaron 214 muestras de siete tipos de vegetales en las áreas productivas de la provincia. Según los resultados el 23,4% de las muestras contenían residuos de organofosforados que superaban los LMR, 68,7% de las muestras contenían organofosforados por debajo de los LMR y solo el 7,9% de las muestras estaban libres de estos contaminantes. Dentro de los residuos de organofosforados identificados estuvieron diazinón, dimetoato, paratión, diclorvos, malatión, entre otros. Se observó que las concentraciones de estas sustancias eran más elevadas para los vegetales de hoja. Encontrando cocientes de riesgo promedio (THQ promedio) menores a uno e índices promedio de peligro (HI prom) para adultos y niños de 0,448 y 0,343, respectivamente, concluyendo que el consumo de estos productos no representaba un riesgo para los habitantes de esta provincia (Yu *et al.*, 2016). En la tabla 6 se encuentran referencias correspondientes a los LMR.

Con la información aportada por Pérez *et al.* (2009) sobre las concentraciones de clorfenvinfos, malatión y diazinón en brócoli para México, en donde un 87% de las muestras de brócoli analizadas presentaron residuos de por lo menos un plaguicida organofosforado; se estableció que las concentraciones estaban por debajo de los límites recomendados, razón por la cual no se consideraron un riesgo para la población, aunque se advierte la necesidad de mantener un control sobre estos residuos para evitar inconvenientes a futuro.

Tabla 6. Límites máximos de residuos de plaguicidas organofosforados a nivel internacional (basado en Pazmiño *et al.*, 2016 y Pérez *et al.*, 2009).

Plaguicida organofosforado	OMS LMR (mg kg ⁻¹)	UE- EFSA LMR (mg kg ⁻¹)
Diazinón	0,5	0,01
Clorpirifos	2	0,05
Malatión	5	0,02
Metamidofos	-	0,01
Paratión	0,2	0,05

En un estudio realizado en Costa Rica, se determinó la presencia de residuos de diferentes plaguicidas en brócoli y coliflor. En el caso del brócoli se encontró presencia de residuos de carbendazina, clorfenapir, trazas de fenpiroximate, piridaben, espiroclufen, demeton-o-sufoxide y clorpirifos y concentraciones de clorotalonil; pentacloroanilina; hexaclorobenceno clorotalonil de 0,3; 0,08; 0,02; 0,03 mg kg⁻¹, respectivamente. Mientras en el coliflor se encontraron residuos de clorotalonil de 0,03 mg kg⁻¹ y presencia de metamidofos, carbendazina, carbofuran y triadimenol. Advirtiendo la necesidad de realizar estudios más detallados para determinar el efecto que estos residuos podrían tener sobre la salud de la población expuesta (Fournier *et al.*, 2010).

Evaluación de la exposición a organofosforados a través de brócoli y coliflor en Colombia

Estimación de la ingesta diaria

De acuerdo a los reportes de la ENSIN 2010, realizados por el ICBF (2010), el 64,9% de la población colombiana encuestada mencionaron consumir verduras cocidas y 76,9% para el caso de verduras crudas. En ambos casos, la frecuencia de consumo se concentra en las categorías de una a cuatro veces por semana. En contraposición, este reporte reitera el bajo consumo de hortalizas cocidas y crudas en general, para todos los grupos de edades encuestados. Razón por la cual, esta población puede presentar altos riesgos de ingesta de residuos de plaguicidas como los organofosforados.

De acuerdo a lo anterior, para este trabajo se consideraron dos escenarios para aproximarse a la evaluación del riesgo por ingesta de residuos organofosforados presentes en crucíferas, que la población expuesta consume brócoli o coliflor en el caso 1, una vez por semana, y para el escenario 2, cuatro veces por semana.

Se asumió como cantidad de la porción consumida 140 g (ICBF, 2010).

Adicionalmente, la falta de información referente a la concentración de residuos de organofosforados presentes en brócoli y coliflor en Colombia, se asumió el valor reportado por Pérez *et al.* (2009) en cultivos de brócoli establecidos en San Andrés Míxquic (México) y Pazmiño *et al.* (2015). Además, las aplicaciones de organofosforados en San Andrés Míxquic llegaron hasta cuatro en comparación a la cifra manejada en Colombia con 16 aplicaciones en el Oriente Antioqueño (Arévalo *et al.*, 1997), en el control de la polilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*).

Con estos supuestos, la ingesta diaria estimada de este residuo se podría calcular con la ecuación:

$$EDI = \frac{C * Co}{BW} \quad (1)$$

Donde:

EDI: ingesta diaria estimada de residuos de diazinón (mg kg⁻¹ d⁻¹ de BW)

C: concentración promedio del organofosforado en el alimento (mg kg⁻¹), equivalente a 1,16 mg kg⁻¹ de residuos de diazinón medido por Pérez *et al.* (2009) para brócoli en México y 0,1843 mg kg⁻¹ de residuos de clorpirifos medidos para brócoli en Ecuador por Pazmiño *et al.* (2015). En el caso del diazinón se observa que esta concentración supera el LMR propuesto por FAO/OMS para estos residuos generando una primera advertencia sobre los productos estudiados (2006).

Co: consumo promedio del alimento por persona y por día (kg d⁻¹). Este valor se calculó haciendo dos consideraciones, caso 1: consumo de una porción semanal, caso 2: consumo de cuatro porciones semanales.

Para el caso 1:

$$Co = 140 \text{ (g/porción)} * 1 \text{ (porción/semana)} * 52 \text{ (semana/año)} * 1 \text{ (año/365)} * 1 \text{ (kg/1.000 g)} = 0,02 \text{ kg d}^{-1}.$$

Para el caso 2,

$$Co = 140 \text{ (g/porción)} * 4 \text{ (porción/semana)} * 52 \text{ (semana/año)} * 1 \text{ (año/365)} * 1 \text{ (kg/1.000 g)} = 0,08 \text{ kg d}^{-1}.$$

BW: peso corporal medio (kg), para Colombia se tomará un valor de 65,4 kg.

De esa forma se tienen cuatro valores de EDI, correspondientes al cálculo para los dos pesticidas con las dos condiciones de consumo evaluadas:

Para el caso 1:

$$\text{EDI1diazinón} = 0,02 \text{ (kg d}^{-1}\text{)} * (1,16 \text{ mg kg}^{-1}) / 65,4 \text{ kg}$$

$$\text{PC} = 0,00035 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}$$

$$\text{EDI1clorpirifos} = 0,02 \text{ (kg d}^{-1}\text{)} * (0,1843 \text{ mg kg}^{-1}) / 65,4 \text{ kg}$$

$$\text{PC} = 0,000056 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}$$

Par el caso 2:

$$\text{EDI2diazinón} = 0,08 \text{ (kg d}^{-1}\text{)} * (1,16 \text{ mg kg}^{-1}) / 65,4 \text{ kg}$$

$$\text{PC} = 0,00144 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}$$

$$\text{EDI2clorpirifos} = 0,08 \text{ (kg d}^{-1}\text{)} * (0,1843 \text{ mg kg}^{-1}) / 65,4 \text{ kg}$$

$$\text{PC} = 0,00023 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}$$

Luego se puede proceder a realizar el cálculo del coeficiente de peligro (THQ), que permite determinar el efecto no-carcinogénico en salud asociado a la exposición al agente químico estudiado y se expresa como la relación de la dosis resultante de la exposición en el sitio (EDI), con la dosis que se cree no causa ningún riesgo o ingesta diaria admisible (IDA) (Darko y Akoto, 2008).

La IDA aceptable para diazinón es de 0,03 mg / (kg d⁻¹ de BW) y para clorpirifos es 0,01 mg/ (kg d⁻¹ de BW) según se menciona en Jiménez y Quiroga (2016), entonces THQ se calcula como:

$$\text{THQ} = \frac{\text{EDI}}{\text{ADI}} \quad (2)$$

Para el caso 1:

$$\text{THQ1diazinón} = (0,00035 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}) / (0,03 \text{ mg/ (kg d}^{-1}\text{ de BW)}) = 0,012$$

$$\text{THQ1clorpirifos} = (0,000056 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}) / (0,01 \text{ mg/ (kg d}^{-1}\text{ de BW)}) = 0,006$$

Para el caso 2:

$$\text{THQ1diazinón} = (0,00144 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}) / (0,03 \text{ mg/ (kg d}^{-1}\text{ de BW)}) = 0,048$$

$$\text{THQ2clorpirifos} = (0,00023 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}) / (0,01 \text{ mg/ (kg d}^{-1}\text{ de BW)}) = 0,023$$

Como los valores de THQ son menores a uno, es poco probable que la exposición de las personas a los residuos de diazinón y a las condiciones evaluadas derive en un riesgo para su salud (Yu *et al.*, 2016). Sin embargo, es necesario aclarar que esto correspondería al efecto de dos plaguicidas, pero en muchas ocasiones en los cultivos se aplica una mayor cantidad de estas sustancias, haciendo necesario determinar el efecto acumulado. Además para esta estimación se consideró únicamente el aporte por consumo de brócoli y coliflor. Este efecto se podría establecer a partir del cálculo del índice de peligro (HI) como se explica a continuación.

El HI determina el riesgo potencial de experimentar un efecto adverso para la salud desde una mezcla de constituyentes químicos dentro de los vegetales (Zheng *et al.*, 2007) y se calcula como:

$$\text{HI} = \sum_{n=1}^i \text{THQ}_n \quad (3)$$

En este caso, HI para los dos escenarios considerados sería:

Caso 1:

$$\text{HI1} = \text{THQ1diazinón} + \text{THQ1clorpirifos}$$

$$\text{HI} = 0,018$$

Caso 2:

$$\text{HI2} = \text{THQ2diazinón} + \text{THQ2clorpirifos}$$

$$\text{HI2} = 0,071$$

Cuando HI es menor a uno, es poco probable que la exposición genere efectos adversos para la salud de la población expuesta, pero si el HI excede uno, hay una posibilidad de que se presente un efecto adverso para la salud de la población expuesta y la probabilidad incrementa a medida que HI incrementa (Yu *et al.*, 2016).

Para el caso de la exposición a residuos de plaguicidas organofosforados en Colombia a través del consumo de brócoli y coliflor, el índice de peligro HI se calculó

considerando únicamente la exposición a dos plaguicidas debido a la ausencia de datos asociados a las concentraciones de dichos residuos en brócoli y coliflor.

CONCLUSIONES

En Colombia se utilizan en cultivos de brócoli y coliflor diferentes plaguicidas organofosforados, siendo los de uso más frecuente el paratión, metamidofos, diazinón, clorpirifos y malatión, razón por la cual estos podrían estar presentes como residuos en las crucíferas estudiadas.

Dentro de la revisión realizada no se encontró información asociada específicamente a la concentración de residuos de plaguicidas organofosforados en brócoli y coliflor y al consumo de estas crucíferas para Colombia. En ese sentido, el riesgo para la población se determinó utilizando datos de concentración de estos residuos en brócoli que fueron obtenidos de estudios realizados en México y Ecuador. La información sobre el consumo se extrajo de la ENSIN 2005 (ICBF, 2006), tomando los datos relacionados con hortalizas de modo general. En este escenario el riesgo determinado fue bajo, sin embargo, se aclara que la estimación realizada considera únicamente la presencia de residuos de diazinón y clorpirifos en las matrices estudiadas, quedando por fuera el efecto de los residuos de los otros plaguicidas organofosforados que también pudieran estar en dichas matrices como residuos.

Como recomendación es necesario realizar más estudios que involucren la concentración de organofosforados en otros alimentos, así como un análisis de la dieta total de los colombianos además se hace necesario conocer la concentración de estos plaguicidas a partir de investigaciones nacionales.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación y Transferencia de la Universidad de La Salle, Bogotá, por la financiación de esta investigación, al programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de La Salle por el apoyo para sacar adelante la investigación realizada.

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

- Agrequima. s.f. Uso y manejo responsable de productos para la protección de cultivos. Asociación del Gremio Químico Agrícola. En: <http://agrequima.com.gt/site/wp-content/uploads/2016/12/Presentacion-bas-Us-y-manejo-responsable.pdf>; consulta: septiembre de 2017.
- Arévalo, E., M. Londoño Z., J.E. Jaramillo N., L. Rojas, J. Álvarez, J. Arias y E. Ríos. 1997. Encuesta sobre el conocimiento general de la polilla dorso de diamante por parte de agricultores del Oriente antioqueño, su daño y métodos de control. Proyecto ICA-CORPOICA: Prevalencia y magnitud del daño ocasionado por la polilla dorso de diamante *Plutella xylostella* en cultivos de crucíferas del Oriente antioqueño. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Rionegro, Colombia.
- Brotóns, M. 2004. Desarrollo y validación de procesos de extracción con dióxido de carbono supercrítico para la determinación de residuos de plaguicidas organofosforados en alimentos de origen vegetal con bajo contenido en agua. Tesis de doctorado. Universidad de Almería, Almería, España.
- Cárdenas, O., E. Silva y J. Ortiz. 2010. Uso de plaguicidas inhibidores de acetilcolinesterasa en once entidades territoriales de salud en Colombia, 2002-2005. *Biomédica* 30, 95-106. Doi: 10.7705/biomedica.v30i1.157
- Charan, P., S. Ali, Y. Kachhawa y K. Sharma. 2010. Monitoring of pesticide residues in farmgate vegetables of central Aravalli region of Western India. *Am-Euras. J. Agric. Environ. Sci.* 7(3), 255-258.
- Codex Alimentarius. 2007. Pesticide residues in food - 2007. FAO; OMS, Ginebra, Suiza.
- Corpoica. 2007. Estrategias de producción limpia de hortalizas. Boletín Técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Mosquera, Colombia.
- Darko, G. y O. Akoto. 2008. Dietary intake of organophosphorus pesticide residues through vegetables from Kumasi, Ghana. *Food Chem. Toxicol.* 46(12), 3703-3706. Doi: 10.1016/j.fct.2008.09.049
- Fernández, D., L. Mancipe y D. Fernández. 2010. Intoxicación por organofosforados. *Rev. Fac. Med.* 18, 84-92.
- Fournier, M., F. Ramírez, C. Ruepert, S. Vargas y S. Echeverría. 2010. Diagnóstico sobre contaminación de aguas, suelos y productos hortícolas por el uso de agroquímicos en la microcuenca de las quebradas Plantón y Pacayas en Cartago, Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA); Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica.
- Galindo, G. 2015. Hábitos de consumo de frutas y hortalizas en personas de 15 a 39 años, habitantes de Bogotá. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

- ICA. 2017. Base de datos, listado de registros nacionales de plaguicidas químicos de uso agrícola. Instituto Colombiano Agropecuario. En: <https://www.ica.gov.co/>; consulta: septiembre, 2017.
- ICBF. 2010. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia 2010 ENSIN. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Bogotá, Colombia.
- ICBF. 2006. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia 2005 ENSIN. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Bogotá, Colombia.
- Mandal, K. y B. Singh. 2010. Magnitude and frequency of pesticide residues in farmgate samples of cauliflower in Punjab, India. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 85, 423-426. Doi: 10.1007/s00128-010-0107-9
- Nivia, E. 2000. Mujeres y plaguicidas. Una Mirada a la situación actual, tendencias y riesgos de los plaguicidas. Estudio de caso en Palmira, Colombia. Rapalmira, Cali, Colombia.
- Pazmiño, O., M. Flores, J.M. Vallejo, F. Iturra, P. Ramón y L. Medina. 2015. Estudio sobre residuos de plaguicidas en brócoli de exportación y consumo nacional. *Ecuad. Calid. Rev. Cient. Ecuat.* 2(2), 43-49.
- Pérez, M., A. Segura, R. García, T. Colinas, M. Pérez, A. Vázquez y H. Navarro. 2009. Residuos de plaguicidas organofosforados en cabezuela de brócoli (*Brassica oleracea*) determinados por cromatografía de gases. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25(2), 103-110.
- Pesticide Properties Database (PPDB). 2016. The University of Hertfordshire agricultural substances database: Price list. En: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/Price.pdf>; consulta: septiembre de 2017.
- USDA. 2008. Maximum residue limits (MRL) Database. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. En: <https://www.fas.usda.gov/maximum-residue-limits-mrl-database>; consulta: octubre 2017.
- Villatoro, M. 2011. Caracterización nutricional y agronómica, análisis de la actividad biológica y selección de crucíferas para uso alimentario. Tesis de doctorado. Instituto de Investigación y Formación Agraria, Pesquera y Alimentaria (IFAPA); Centro Alameda del Obispo de Córdoba; Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.
- Wood, H. 2000. Adverse reactions to food and food ingredients. Committee on Toxicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment, Londres, UK.
- Yu, R., Q. Liu, J. Liu, Q. Wang y Y. Wang. 2016. Concentrations of organophosphorus pesticides in fresh vegetables and related human health risk assessment in Changchun, Northeast China. *Food Control* 60, 353-360. Doi: 10.1016/j.foodcont.2015.08.013
- Zheng, Y., W. Lan, C. Qiao, A. Mulchandani y W. Chen. 2007. Decontamination of vegetables sprayed with organophosphate pesticides by organophosphorus hydrolase and carboxylesterase (B1). *Appl. Biochem. Biotechnol.* 136(3), 233-241. Doi: 10.1007/s12010-007-9022-x
- Zrostlíková, J., S. Lehotay y J. Hajšlová. 2002. Simultaneous analysis of organophosphorus and organochlorine pesticides in animal fat by gas chromatography with pulsed flame photometric and micro-electron capture detectors. *J. Sep. Sci.* 25, 527-537. Doi: 10.1002/1615-9314(20020601)25:8<527::AID-JSS-C527>3.0.CO;2-S

Total nitrogen and humic substances in aggregates of soils with onion crops under no-tillage and conventional tillage systems

Nitrógeno total y sustancias húmicas en agregados del suelo cultivado con cebolla bajo siembra directa y preparación convencional

LUIZ HENRIQUE DOS SANTOS¹
ARCÂNGELO LOSS^{1, 4}
CLEDIRMAR ROGÉRIO LOURENZI¹
MONIQUE SOUZA¹
ROGÉRIO GONZATTO²
CLAUDINEI KURTZ³
GUSTAVO BRUNETTO²
JUCINEI JOSÉ COMIN¹



Cover plants at 60 days after sowing.

Photo: M. Souza

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the soil total nitrogen (TN), and N contents in humic substances (HS) of the organic matter in aggregates of soils cultivated with onion under no-till system for horticulture (NTSH) and conventional tillage system (CTS), comparing with an area of forest. The evaluated treatments were natural vegetation (control), 100% black oats, 100% rye, 100% oilseed radish, intercrop of oilseed (14%) + rye (86%), intercrop of oilseed (14%) + black oats (86%), area under CTS of onion for ± 37 years, and area with secondary forest for ± 30 years. Five years after the NTSH implementation, undisturbed soil samples from the layers 0-5 cm, 5-10 cm, and 10-20 cm were collected; these samples presented aggregate sizes between 2.0 mm and 8.00 mm. The TN, and N contents of the HS were subdivided into fulvic acids (N-FA), humic acids (N-HA), and humin (N-HU) fractions. The change from CTS to NTSH increases the TN and N-HU contents in the 0-5 cm soil layer. The intercrop of oats and oilseed radish, used as soil plant cover species in NTSH, presented a greater increase in N-HU (0-20 cm) than the other treatments. Black oats, and natural

¹ Department of Rural Engineering, Postgraduate Program in Agroecosystems, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC (Brazil). ORCID Santos, L.E.d.: 0000-0002-0031-1891; ORCID Loss, A.: 0000-0002-3005-6158; ORCID Lourenzi, C.R.: 0000-0002-0347-0003; ORCID Souza, M.: 0000-0001-8370-967X; ORCID Comin, J.J.: 0000-0002-6176-6208

² Center of Rural Sciences, Graduate Program in Soil Science, Universidad Federal de Santa María, Santa Maria-RS (Brazil). ORCID Gonzatto, R.: 0000-0001-8376-3684; ORCID Brunetto, G.: 0000-0002-3174-9992

³ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), Ituporanga-SC (Brazil). ORCID Kurtz, C.: 0000-0002-1688-6139

⁴ Corresponding author. arcangeloloss@yahoo.com.br

vegetation presented a greater increase in N-HA, and N-FA contents, respectively, in the 10-20 cm layer, than the other treatments in NTSH and CTS. CTS with millet as soil plant cover presented a greater increase in N-FA (0-20 cm) contents than the NTSH treatments.

Additional key words: *Allium cepa* L., cover plants, aggregation, humic acids, soil nitrogen, tillage system.

RESUMEN

Se evaluaron los niveles de nitrógeno total (NT) y N de las sustancias húmicas (SH) de la materia orgánica en agregados de suelo cultivado con cebolla bajo siembra directa de hortalizas (SDH) y sistema de preparación convencional (SPC), comparando con un área de bosque. Los tratamientos evaluados fueron: vegetación espontánea; 100% avena; 100% centeno; 100% nabo; cultivos asociados de nabo (14%) + centeno (86%); cultivos asociados de nabo (14%) + avena (86%); área bajo SPC de cebolla (± 37 años) y de bosque secundario de ± 30 años). Cinco años después de la implantación del SDH fueron recogidas muestras no disturbadas del suelo en las capas 0-5, 5-10 y 10-20 cm y obtenidos los agregados (entre 2,0 y 8,00 mm). En estos se determinaron los niveles de NT y el N de las SH, subdivididos en fracción ácidos fúlvicos (N-FAF), ácidos húmicos (N-FAH) y humina (N-HUM). La conversión de áreas de SPC a SDH favorece el aumento de los niveles de NT y N-HUM en la capa de 0-5 cm. Entre las especies de plantas de cobertura utilizadas en el SDH, los cultivos asociados de avena + nabo favorecieron el aumento del N-HUM (0-20 cm) en comparación a los demás tratamientos. La avena solo y el control con vegetación espontánea aumentaron los niveles de N-FAH y N-FAF, respectivamente, en la capa de 10-20 cm, en comparación a los demás tratamientos en SDH y SPC. El SPC con mijo como planta de cobertura aumentó los niveles de N-FAF (0-20 cm) en comparación con el SDH.

Palabras clave adicionales: *Allium cepa* L., plantas de cobertura, agregación, ácidos húmicos, nitrógeno del suelo, sistemas de labranza.

Received for publication: 15-08-2017 Accepted for publication: 30-01-2018

INTRODUCTION

Onion (*Allium cepa* L.) crops cover an area of approximately 60,000 ha annually in Brazil, producing approximately 1.6 million t of onion bulbs (IBGE, 2017). The southern region of the country produces 49% of the national production, where the state of Santa Catarina (SC) stands out as the largest national producer since 1990, with a profitable production that has becoming more sustainable due to organic production studies (ACATE, 2014).

Soil conventional tillage system (CTS) is the most used system for onion crops in SC, comprising frequent turning of the soil (plowing, harrowing, subsoiling or scarification) in the preparation of the soil

of the planting bed (Menezes *et al.*, 2013). This soil preparation increases the occurrence of erosive processes and changes edaphic attributes, decreasing nutrient availability to plants and soil organic matter content (Loss *et al.*, 2015). CTS is an important system for food, fiber and energy production, however, it impacts the soil; thus, the search for soil management and conservation practices has been a constant challenge. No-till system for horticulture (NTSH) has stood out as a promising alternative for onion crops (Menezes *et al.*, 2013). Soil turning in NTSH is done only in the planting line, and cover plants are used for the production and maintenance of plant residues on the soil. This practice maintains or increases the

soil organic matter (SOM), thus improving edaphic attributes (Briedis *et al.*, 2012; Loss *et al.*, 2014; 2015). The use NTSH is a developing management strategy and differs from the current NTS in technological and social aspects, including the non-use of herbicides and the social bias, since this practice has potential for the development of sustainable agriculture (Fayad and Mondardo, 2004; Menezes *et al.*, 2013).

Evaluations of soil attributes after change from CTS to NTSH showed variations in total nitrogen (TN), and N contents in humic substances - fulvic acids (N-FA), humic acids (N-HA), and humin (N-HU fractions) - indicating changes in edaphic attributes and the impacts of the management system used on the soil quality (Assis *et al.*, 2006; Guerra *et al.*, 2008). These changes are mainly due to the N high dynamics and interactions with practically all processes occurring in the soil.

Humic substances (HS) are usually evaluated in deformed soil samples, because of the greater easiness and speed in obtaining the results. However, Loss *et al.* (2015) showed significant differences in aggregation between soils managed under CTS and NTSH, especially in the formation of macroaggregates (8.00 mm > Ø ≥ 2.0 mm). Thus, the use of undisturbed soil samples is important to better assess the effects of management systems in evaluations of HS contained in aggregates of the soil.

The soil loses its stability, its macroaggregates fragmentate (Loss *et al.*, 2015), and the SOM within its aggregates decompose (Six *et al.*, 2000) due to the conditions in management systems with frequent turning of the soil, such as CTS. However, more conservative systems that prioritize the contribution of organic residues and less soil turning, such as NTSH, have been efficient in maintaining the soil N contents, preserving its quality (Zibilske *et al.*, 2002; Lovato *et al.*, 2004; Assis *et al.*, 2006). Therefore, the quantification of N contents in HS in soil aggregates assists in studies on their dynamics, since the sizes of the aggregates denote the SOM time, stability, and sensitivity to soil management practices. The SOM content and quality are dependent on the land use and management system used, thus, the objective of this study was to evaluate the soil total nitrogen, and N contents in HS (N-FA, N-HA and N-HU) in aggregates of a Humic Cambisol (Inceptisol) cultivated with onion under NTSH and CTS, comparing with an area of secondary forest.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in the Experimental Station of the “Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)” in Ituporanga (Santa Catarina State, Brazil) (27°24'52" S and 49°36'9" W, at an altitude of 475 m). The climate of the region is subtropical humid mesotherm (Cfa), with hot summers, no frequent frosts, no defined dry season, average annual temperature of 17.6°C, and average annual precipitation of 1,400 mm.

The experiment was carried out in a Humic Cambisol (Inceptisol) of clay loam texture (Loss *et al.*, 2015), with 380 g kg⁻¹ clay, 200 g kg⁻¹ silt and 420 g kg⁻¹ sand. The area was cultivated with onion in CTS (plowing, harrowing and scarification) for about 20 years until 1996. In that year, liming with dolomitic limestone was incorporated to the 0-20 cm soil layer to increase the soil pH in water to 6.0. The minimum cultivation system of onion, rotated with cover plants - oats, *Avena strigosa* Schreb.; mucuna, *Mucuna aterrima* Piper and Tracy; millet, *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.; crotalaria, *Crotalaria juncea* L.; and vetch, *Vicia sativa* L. - was adopted from 1996 to 2007. The area was cultivated with sweet potatoes (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.) in 2008 and 2009. Then, the experiment with onion in NTSH and CTS was conducted; the natural vegetation was controlled using glyphosate herbicide, and no further pesticide applications was applied.

The soil characteristics before the NTSH implementation in the 0-10 cm soil layer were: 23.2 g kg⁻¹ of total organic carbon, pH in water of 6.0, SMP index of 6.2, 26.6 mg dm⁻³ of P, 145.2 mg dm⁻³ of K, 0.0 cmol_c kg⁻¹ of Al³⁺, 7.2 cmol_c kg⁻¹ of Ca²⁺, and 3.4 cmol_c kg⁻¹ of Mg²⁺ (Tedesco *et al.*, 1995). The treatments used in the experiment were: control with natural vegetation, with predominant plants of the Amaranthaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae, Compositae, Convolvulaceae, Cruciferae, Cyperaceae Euphorbiaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Leguminosae, Liliaceae, Malvaceae, Oxalidaceae, Plantaginaceae, Poaceae e Polygonaceae families (1); black oats (*A. strigosa*) in the entire area, with sowing density of 120 kg ha⁻¹ (2); rye (*Secale cereale* L.) in the entire area, with sowing density of 120 kg ha⁻¹ (3); oilseed radish (*Raphanus sativus* L.) in the entire area, with sowing density of 20 kg ha⁻¹ (4); intercropping of oilseed radish (14%) and rye (86%), with sowing density of 10 and 60 kg ha⁻¹, respectively (5); intercrop

of oilseed radish (14%) and oats (86%), with sowing density of 10 and 60 kg ha⁻¹, respectively (6); area with onion crops under CTS for ±37 years, until 2013, when the soil samples were collected (7); and area with a ±30 years old secondary forest, at approximately 500 m from the experiment area, representing the natural condition of the soil.

Seeds of the soil plant cover species were broadcasted in April of each year, and a grain-seeding machine was passed twice in the area to incorporate the seeds. The amount of seeds used per hectare was calculated according to the recommendations of Monegat (1991). Each experimental unit was 25 m² (5×5 m); they were arranged in a complete randomized block design with five replicates. A knife-roller (model RF240, MBO Ltd, Chaska, MN) was applied to all soil plant cover species in July of each year.

In the CTS area, the onion was cultivated in rotation with millet in the summer from 2007. The millet was managed with a knife-roller at flowering, and plowing followed by harvesting to the implementation of the onion crop were carried out after 30 to 60 d. Soil fertilization was carried out according to the recommendations of CQFSRS/SC (2004), with 165 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (triple superphosphate), 105 kg ha⁻¹ K₂O (potassium chloride) and 192 kg ha⁻¹ of N (ammonium nitrate). Liming with dolomitic limestone was performed in 2010 to increase the soil pH to 6.0.

In the NTSH area, the soil cover plants were managed and soil fertilization was performed in July of each year, with 96 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (natural phosphate of milled Gafsa), and 175 kg ha⁻¹ of P₂O₅, 125 kg ha⁻¹ of K₂O, and 160 kg ha⁻¹ of N (poultry manure), applying half at planting of the onion seedlings and half at 30 days after planting (dap). No natural phosphate was applied from the 2011 crop season, since the soil presented high levels of P (CQFSRS/SC, 2004). Furrows were opened using an adapted no-tillage machine, and the onion seedlings (cultivar Bola Precoce, Empasc 352) were manually transplanted. The spacing used was 0.50 m between rows and 0.10 m between plants, with 10 rows of onion per plot. Weeding was done at 60 and 90 dap of the onion seedlings.

Mucuna (M. aterrima) was planted in December (summer) of each year in the entire area after harvesting of the onions, using a sowing density of 120 kg ha⁻¹. The mucuna was managed with a knife roller in March of each year and the soil cover plants

were sowed in April. The mean dry matter, and onion productions were described by Loss *et al.* (2015).

Trenches with dimensions of 0.40×0.40×0.40 m were opened with a spade in each plot, and five undisturbed samples of soil from the 0-5, 5-10 and 10-20 cm layers were collected five years after the implementation of the treatments under NTSH, in September 2013. The samples collected were packed in plastic bags and sent to the laboratory; they were air dried and manually disaggregated, following cracks or weak points, and passed through 8.00-mm and 4.00-mm mesh sieves to obtain the soil aggregates (Claessen, 1997). The weight of each undisturbed sample was 900 to 1,000 g.

The aggregates (8.00 mm > Ø ≥ 4.0 mm) used to evaluate the TN, and N contents in HS represented about 60% of the soil mass in the NTSH, and forest areas; and 30 to 35% of the soil mass in the CTS areas.

The aggregates retained in the 4.00-mm mesh sieve were manually disaggregated and passed through a 2.00-mm mesh sieve. The obtained air-dried fine earth of the aggregates was used to perform the chemical analysis and determine the TN and N in HS - humin (N-HU), humic acid (N-HA), and fulvic acid (N-FA).

TN, and N in HS was determined according to Tedesco *et al.* (1995). The HS was extracted and separated according to the differential solubility technique established by the International Humic Substances Society (Swift, 1996). The standard methodology for soil TN (Tedesco *et al.*, 1995) was used to determine the N in the HU, since it is insoluble. An aliquot of 10 mL of the substances obtained in the chemical fractionation was used to determine the N-FA and N-HA (Swift, 1996). The sample was digested with sulfuric acid (H₂SO₄) and hydrogen peroxide, followed by distillation with sodium hydroxide and titration with H₂SO₄ of the solution collected in the boric acid indicator. The temperature of the block for the turning point of the color for FA was approximately 150°C, and for HA was 300°C.

The results were analyzed for data normality and homogeneity using the Lilliefors and Bartlett tests, respectively, and evaluated in a randomized block design with eight treatments and five replications. The results were subjected to analysis of variance by the F test and significant means were compared by the Scott-Knott test at 5% probability.

RESULTS AND DISCUSSION

Total nitrogen contents

The TN contents in the soil aggregates were higher ($P>0.05$) in the forest area, in the three depths evaluated. The average TN content in the 0-20 cm soil layer of the forest area was 65% (3.0 g kg^{-1} TN), higher than that found in areas with onion crops. TN contents were higher in the 0-5 cm layer, decreasing with increasing depth in both NTSH and CTS areas, with lower TN in CTS (Fig. 1).

The highest TN content was found in the forest area due to the higher deposition of organic material (litterfall), accumulating N on the soil surface as the plant residues are humidified (Mafra *et al.*, 2008). Imbalances in organic residue deposition, and decomposition rate, with a rapid decrease in TN content, were observed in the cultivated areas, depending on the management system used, and its time of implementation (Scholes and Breemen, 1997). These results were confirmed in the 0-5 cm layer (Fig. 1), with CTS presenting lower TN than NTSH.

CTS has higher annual input of dry matter than NTSH (Loss *et al.*, 2015), however, the soil TN accumulation and maintenance reduced, showing the negative effects of soil turning and pesticide spraying of the CTS and its stronger impacts on the environment, compared to the addition of crop residues through soil cover plants. Other studies have reported

negative correlations between soil turning and soil N loss (Zibilske *et al.*, 2002; Mielniczuk *et al.*, 2003).

The soil TN content in the NTSH and CTS depends on the amount of dry matter (shoot and root) produced by the soil cover crops and the adopted management. Therefore, systems that increase the production and maintenance of dry matter on the soil surface provide higher contents and accumulation of TN in the soil. This was observed in the comparison between NTSH and CTS in the 0-5 cm soil layer (Fig. 1); the lower TN in CTS was due to the increased TN mineralization caused by the soil turning, which fragmentates plant residues and favors the attack by microorganisms. These results confirm those found by Six *et al.* (2000), Lovato *et al.* (2004), and Loss *et al.* (2014), who reported losses in TN in soils with frequent turning due to increased microbial activity and greater exposure of plant residues to microorganisms and their enzymes. CTS had the greatest input of dry matter (Loss *et al.*, 2015), however, the soil tillage practices (plowing and harrowing) resulted in rupture of aggregates, with subsequent exposure of the N that was physically protected, reducing TN contents in the soil surface layers.

Some studies report the use of management systems with conservative practices and restricted soil turning, such as the NTSH, with a tendency of increasing the SOM contents, and reducing the losses of N of the CTS (Zibilske *et al.*, 2002; Mielniczuk *et al.*, 2003; Mrabet, 2006). The TN content found in the soil

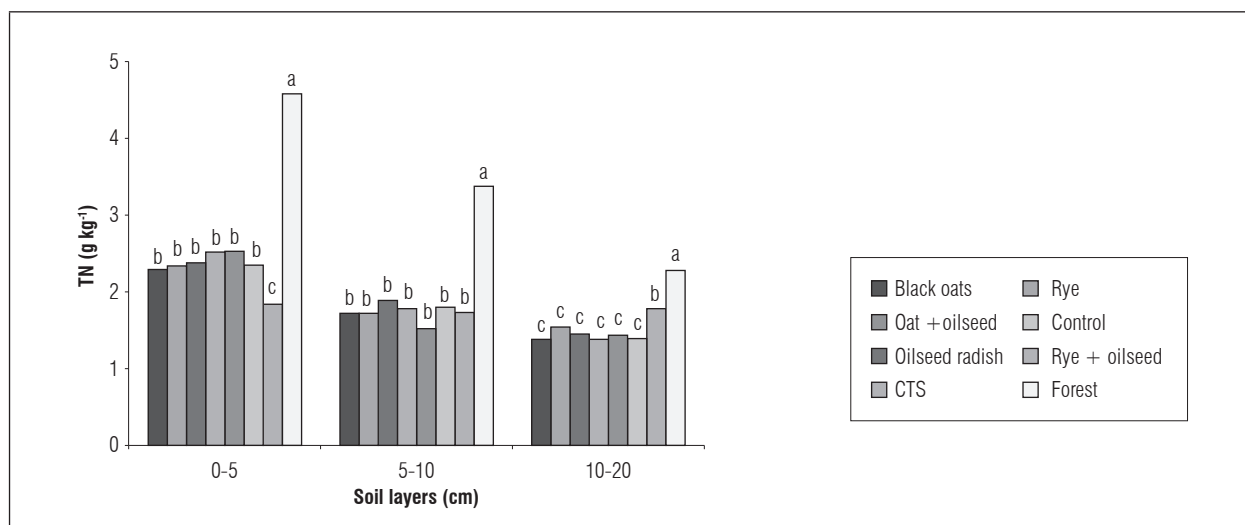


Figure 1. Total nitrogen (TN) contents in soil aggregates in onion crops, and forest areas. Columns with different letters in the same depth are statistically different by the Scott-Knott test ($P \leq 0.05$).

aggregates of the 0-5 cm soil layer at five years after implementing the NTSH increased to 36.8% (rye and cultivated-radish), 24.3% (oats), 37.3% (oats and cultivated-radish), 27.0% (control), 27.0% (rye), 23.8% (cultivated-radish), compared to the CTS. These results show the potential of NTSH for the increase of TN contents in soils under CTS, and the sustainability of agricultural systems. Moreover, the higher TN contents in the NTSH is connected to its higher soil aggregation indices (weighted average diameter, and macroaggregates and mesoaggregates) in the 0-5 cm layer, as observed by Loss *et al.* (2015) in the same experiment and treatments.

The absence of differences between the NTSH and CTS at depths of 5-10 cm indicates the similarity of the cover plants used in the NTSH in adding N. However, the higher TN of the CTS in the 10-20 cm soil layer may be due to the incorporation of millet plant residues into deeper layers, homogenizing the TN in the layers 0-5 cm, 5-10 cm, and 10-20 cm, and increasing the TN contents in the layer 10-20 cm. Similar result for TN accumulation was described by Assis *et al.* (2006) in aggregates of a Red Latosol (Oxisol) managed under NTS for 4 years, and under CTS for 30 years, with reduced TN contents in cultivated soils, compared to native forest soils (subcudifolia forest).

N contents in humic substances

The N-HU fraction was, in general, greater than the N-HA and N-FA fractions, especially in the 0-5 cm layer, indicating that the systems generated favorable conditions for the humification process of the organic material (Tab. 1). The highest N-HU, N-HA and N-FA contents were found in the forest, except the N-FA in the layer 0-5 cm, which was higher in the CTS. The NTSH treatment presented higher N-HU contents than the CTS in the 0-5 cm layer, as well as the oat and oilseed radish in the layer 5-10 cm. In the layer 10-20 cm, the N-HU contents of the treatments oats, oats and cultivated-radish, and control were similar to the contents found in the forest area (Tab. 1).

The N in HS of the forest area, and areas under NTSH had a similar pattern, with addition rates, transformation, and losses of N in the soil maintained in balance, favoring the humification process. Therefore, they presented the highest N content in the more stable fractions of the SOM, especially in the 0-5 cm

layer. According to Assis *et al.* (2006), the presence of N in HS indicates that part of the N of the soil is stable, with low recycling rate and availability to plants. These authors evaluated aggregates of an Oxisol and found that land use and management systems -NTS for four years with rotation of maize and soybean crops, CTS for 30 years with maize, and a native forest area - change the N content in the different aggregate size classes; and soil cultivation reduce N contents in HS.

The treatments oat, oat and cultivated-radish, and control of the NTSH stood out in N-HU contents in the 10-20 cm layer, due to their root systems and the diversity of species in the control. The abundance and diversity of these root systems affect the soil at different depths, distributing root exudates more evenly. Thus, the soil aggregates, and the N within the aggregates is protected, increasing N in deeper layers, especially in more stable fractions of the SOM, such as N-HU and N-HA (Santos *et al.*, 2008).

The effect of the intercropping of oats and oilseed radish, and rye and oilseed radish in the 0-5 cm layer was stronger compared to oilseed radish alone; N-HU contents were higher in the intercrops with oilseed radish. These differences may be due to the root system of grasses (oats and rye); their dense and fasciculate roots in contact with mineral particles promote stabilization of SOM fractions; the C from the roots has a 2.4-fold mean residence time compared to the C from the shoot; and the roots contribute 30% more to SOM than the shoot (Rasse *et al.*, 2005).

CTS presented the lowest Σ N-HU in the 0-20 cm layer, and the intercrop of oat and oilseed radish presented the highest Σ N-HU in NTSH. The decrease of N contents in the soil aggregates and, consequently, N in the humin fraction, in the CTS was due to the soil disaggregation and plant residue fragmentation resulting from plowing and harvesting practices; this increases microbial activity due to a greater aeration, higher temperature, and more frequent soil wetting and drying (Stevenson, 1994; Assis *et al.*, 2006). In addition, the continuous use of agricultural implements for soil preparation in CTS favors C and N losses caused by soil erosion (Pinheiro *et al.*, 2003). In the intercrop of oat and cultivated-radish, the absence of soil turning and the different root systems of oats and oilseed radish increased N protection in the aggregates, generating a higher N-HU content.

Table 1. Mean nitrogen content in humic substances (g kg⁻¹) in aggregates of a Humic cambisol (Inceptsol) cultivated with onion under different soil cover management systems, and a native forest, Ituporanga-SC, Brazil.

Treatments	N-HU				ΣN-HU	N-HA				ΣN-HA	N-FA				ΣN-FA
	Soil layers (cm)				0-20	Soil layers (cm)				0-20	Soil layers (cm)				0-20
	0-5	5-10	10-20	0-20		0-5	5-10	10-20	0-20		0-5	5-10	10-20	0-20	
Black oats	1.40 b	1.22 b	1.04 a	3.66 c	0.22 b	0.24 b	0.28 b	0.74 b	0.16 c	0.16 b	0.10 b	0.42 c			
Rye	1.76 b	1.16 b	0.72 b	3.64 c	0.24 b	0.20 b	0.24 c	0.68 b	0.10 d	0.12 b	0.12 b	0.34 c			
Oilseed radish	1.22 c	1.26 b	0.66 b	3.14 c	0.24 b	0.28 b	0.24 c	0.76 b	0.10 d	0.10 b	0.12 b	0.32 c			
Rye + oilseed	1.60 b	0.78 c	0.70 b	3.08 c	0.26 b	0.22 b	0.20 c	0.68 b	0.10 d	0.14 b	0.10 b	0.34 c			
Oat + oilseed	1.52 b	1.52 a	1.22 a	4.26 b	0.28 b	0.25 b	0.20 c	0.73 b	0.12 d	0.12 b	0.14 b	0.38 c			
Control	1.62 b	0.80 c	0.88 a	3.30 c	0.26 b	0.28 b	0.20 c	0.74 b	0.22 c	0.12 b	0.22 a	0.56 b			
CTS	0.86 d	0.84 c	0.60 b	2.30 d	0.26 b	0.22 b	0.22 c	0.70 b	0.40 a	0.20 a	0.12 b	0.72 a			
Forest	2.68 a	1.72 a	1.02 a	5.42 a	0.80 a	0.54 a	0.36 a	1.70 a	0.28 b	0.25 a	0.22 a	0.75 a			
CV (%)	12.62	20.10	26.77	22.12	20.37	22.04	24.40	25.51	37.74	46.37	31.94	30.15			

Means followed by the same letter in the column do not differ by the Scott-Knott test ($P \leq 0.05$). Control: natural vegetation; CV: coefficient of variation; N-HU: nitrogen of the humin fraction; N-HA: nitrogen of the humic acid fraction; N-FA: nitrogen of the fulvic acid fraction; ΣN: sum of the N contents; CTS: conventional tillage system.

The CTS presented the lowest N-HU contents in the 0-5 cm layer and the highest N-FA contents in the 0-5 and 5-10 cm layers - similar to the forest in the 5-10 cm layer. These differences can be attributed to the soil turning in the CTS, which causes disaggregation and subsequent aeration of the soil, resulting in greater microbial activity, and favoring the formation of FA (Guerra *et al.*, 2008). These results confirm those found by Assis *et al.* (2006), who found higher values of N-FA in CTS compared to NTS.

The treatments under NTS and CTS were similar in N-HA contents and presented lower means than the forest area in the 0-5 cm and 5-10 cm layers. The oat treatment stood out from the other NTS and CTS treatments in the 10-20 cm layer, presenting similar N-HA contents to the forest area. The higher N-HA content found in the oat treatment indicate that the plant material (oat shoot and root) is more efficient in increasing N-HA contents than the other plants in NTS and CTS. No differences were found between NTS and CTS for the ΣN-HA (Tab. 1).

The N-FA contents of the treatments in NTS in the 5-10 cm layer were similar. The oat, and control treatments stood out with the highest N-FA contents in the 0-5 cm layer.

The control had similar N-FA content to the forest, and higher to the other treatments under NTS, in the 10-20 cm layer. These results may be due to the

diversity and releasing speed of compounds in the decomposition of the natural vegetation biomass; since the control area presented the highest ΣN-FA among the treatments in NTS. The highest ΣN-FA was found in the CTS areas due to the incorporation of the plant residues into the soil and their fragmentation through the practices of plowing and harvesting, which increase the microbial activity and formation of FA.

The N contents in HS represent a passive fraction of the SOM; HS are highly recalcitrant organic molecules in the soil, i.e., they are more difficult to be altered by management practices (Stevenson, 1994). However, the CTS areas had reduced N-HU contents (0-5 cm), indicating that practices adopted in CTS do not favor the more stable fraction of the SOM (humins); and the NTS increase the humification of the SOM. This pattern is corroborated by the higher TN contents (Fig. 1) in the NTS compared to the CTS in the 0-5 cm layer, which may directly affect the agricultural productivity and longevity of the agricultural soil.

CONCLUSIONS

The change of areas from CTS to NTS increases TN and N-HU contents in the 0-5 cm soil layer. However, these increases are still lower than those found in native forest areas.

The intercrop of oat and oilseed radish increased the Σ N-HU, compared to the other treatments and species of cover crops used in NTSH.

The oat, and natural vegetation (control) treatments increased the N-HA and N-FA contents, respectively, in the 10-20 cm soil layer, compared to the other treatments in NTSH and CTS.

The CTS area with millet as cover plant increased the Σ N-FA contents, compared to NTSH.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the financial supporters (Call MCTI/MAPA/MDA/MEC/MPA/CNPq N° 81/2013); and the EPAGRI (Experimental Station of Ituporanga-SC, Brazil) for providing the experimental area.

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

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Assis, C.P., I. Jucksch, E.S. Mendonça, and J.C.L. Neves. 2006. Carbono e nitrogênio em agregados de Latosolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.* 41, 1541-1550. Doi: 10.1590/S0100-204X2006001000012
- Associação Catarinense de Empresas de Tecnologia (ACATE). 2014. ACATE lança anuário sobre o agronegócio e tecnologia em Santa Catarina. In: <https://www.acate.com.br/node/50060>; consulted: september, 2017.
- Briedis, C., J.C.D.M. Sá, R.S. De-Carli, E.A.P. Antunes, L. Simon, M.L. Romko, L. Elias, and A.D.O. Ferreira. 2012. Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 36, 1483-1490. Doi: 10.1590/S0100-06832012000500012
- Claessen, M.E.C. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2nd ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, EMBRAPA, Rio de Janeiro, Brazil.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo (COFERS/SC). 2004. Manual de adubação e de calagem para os estados para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10a ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Porto Alegre-RS, Brazil.
- Fayad, J.A. and M. Mondardo. 2004. Sistema de Plantio Direto de Hortaliças: O cultivo do tomateiro no Vale do Peixe, SC. In: 101 respostas dos agricultores. Epagri, Florianópolis-SC, Brazil.
- Guerra, J., G.D.A. Santos, L.D. Silva, F.D.O. Camargo, and G.D.A. Santos. 2008. Macromoléculas e substâncias húmicas. pp. 19-26. In: Santos, G.A., L.D. Silva, L.P. Canellas, and F.D.O. Camargo (eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2nd ed. Metrópole, Porto Alegre-RS, Brazil.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2017. Banco de dados. In: <http://www.ibge.gov.br>; consulted: May, 2017.
- Loss, A., A. Basso, B.S. Oliveira, L.P. Koucher, R.A. Oliveira, C. Kurtz, P.E. Lovato, P. Curmi, G. Brunetto, and J.J. Comin. 2015. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 39, 1212-1224. Doi: 10.1590/01000683rbcsc20140718
- Loss, A., E.M. Costa, M.G. Pereira, and S.J. Beutler. 2014. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. *Rev. Fac. Agron. Univ. Nac. La Plata* 113, 1-8.
- Lovato, T., J. Mielniczuk, C. Bayer, and F. Vezzani. 2004. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 28, 175-187. Doi: 10.1590/S0100-06832004000100017
- Mafra, A.L., S.D.F.F. Guedes, O. Klauber Filho, J.C.P. Santos, J.A.D. Almeida, and J.D. Rosa. 2008. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. *Rev. Árvore* 32, 217-224. Doi: 10.1590/S0100-67622008000200004
- Menezes Júnior, F.O.G., C. Kurtz, P.A.S. Gonçalves, V. Carré-Missio, E.Z. Sgrott, S.D. Lannes, G.H. Wamser, H. Werner, I.A. Santos, D.R. Schmitt, and J.V. Costa. 2013. Sistema de produção para a cebola: Santa Catarina. 4th ed. Epagri, Florianópolis-SC, Brazil.
- Mielniczuk, J., C. Bayer, F.M. Besan, T. Lovato, F.F. Fernández e L. Debarba. 2003. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. pp. 209-248. In: Curi, N., J.J. Marques, L.R.G. Guilherme, J.M. Lima, A.S. Lopes e V.V.H. Alvarez VVH (eds.). Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, Brazil.
- Monegat, C. 1991. Manejo de plantas de cobertura do solo em pequenas propriedades. pp. 146-239. Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades. 2nd ed. Edição do autor, Chapecó-SC, Brazil.
- Mrabet, R. 2006. Soil quality and carbon sequestration: impacts of no-tillage systems. pp. 43-55. In: Arrue Ugarte J.L. and C. Cantero-Martínez (eds.). Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens No. 69. CIHEAM, Zaragoza, España.
- Pinheiro, E.F.M., M.G. Pereira, L.H.C. Anjos, F. Palmieri, and R. Souza. 2003. Matéria orgânica em Latossolo

- Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e cobertura do solo. *Curr. Agric. Sci. Technol.* 9, 53-56. Doi: 10.18539/CAST.V9I1.493
- Rasse, D.P., C. Rumpel, and M.F. Dignac. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? mechanisms for a specific stabilisation. *Plant Soil* 269, 341-356. Doi: 10.1007/s11104-004-0907-y
- Santos, G.A., L.S. Silva, L.P. Canellas, and F.A.O. Camargo. 2008. Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2nd ed. Metrópole, Porto Alegre-RS, Brazil.
- Scholes, R.J. and N. Van Breemen. 1997. The effects of global change on tropical ecosystems. *Geoderma* 79, 9-24. Doi: 10.1016/S0016-7061(97)00036-0
- Six, J., K. Paustian, E.T. Elliott, and C. Combrink. 2000. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 681-689. Doi: 10.2136/sssaj2000.642681x
- Stevenson, F.J. 1994. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Swift, R.S. 1996. Organic matter characterization. pp. 1011-1020. In: Sparks, O.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, and M.E. Sumner, (eds.). *Methods of soil analysis: chemical methods*. Vol. 3. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Tedesco, M.J., C. Gianello, C.C.A. Bissani, H. Bohnen, and S.J. Volkweiss. 1995. Análise de solos, plantas e outros materiais. 2nd ed. Tec. Bol. Soil No. 5. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brazil.
- Zibilske, L.M., J.M. Bradford e J.R. Smart. 2002. Conservation tillage induced changes in organic carbon, total nitrogen and available phosphorus in a semi-arid alkaline subtropical soil. *Soil Till. Res.* 66, 153-163. Doi: 10.1016/S0167-1987(02)00023-5

Elaboración de un alimento para ganado bovino a base de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante fermentación en estado sólido como una alternativa ecoeficiente

Food preparation for carrot-based cattle (*Daucus carota* L.) using solid state fermentation for an eco-efficient alternative



DANIA FONSECA-LÓPEZ¹
GABRIEL SAAVEDRA-MONTAÑÉZ²
CARLOS-EDUARDO RODRÍGUEZ-MOLANO^{3, 4}

Muestra de zanahorias.

Foto: C.E. Rodríguez-Montaña

RESUMEN

La alimentación del ganado bovino debe basarse en estrategias sostenibles debido a la presión que se ejerce sobre los recursos naturales para la obtención de alimentos concentrados, una de dichas estrategias es la fermentación en estado sólido (FES), la cual, permite diseñar alimentos con menor impacto ambiental, debido a la acción de microorganismos eficientes que enriquecen sustratos con proteína de alto valor biológico. El objetivo de la investigación fue elaborar un alimento mediante FES a base de zanahoria (*Daucus carota* L.) en mezcla con otros ingredientes como alternativa para la alimentación de ganado, para ello, se obtuvieron tres productos fermentados en estado sólido con la inclusión de zanahoria (FES 1 [control], FES 2 [sin repila de trigo] y FES 3 [sin cascarilla de café]). Se evaluó la variación del pH durante el proceso de fermentación, se hizo análisis composicional y análisis microbiológico de los alimentos. Se obtuvo un aumento de cuatro veces el valor proteico (PB) inicial a las 48 horas pasando de 4,34% a 19% (FES 1), 17,4% (FES 2) y 14,4% (FES 3) ($P \leq 0,05$), se observó el mayor crecimiento de mesófilos totales a las 24 horas con 69×10^{-3} UFC/g (FES 1), 120×10^{-3} UFC/g (FES 2) y 45×10^{-3} UFC/g (FES 3) ($P \leq 0,05$); el pH descendió a las 96 horas de fermentación desde 5,9 (FES 1), 6,0 (FES 2) y 6,05 (FES 3) a 4,89 (FES 1), 4,91 (FES 2) y 5 (FES 3) ($P \leq 0,05$), respectivamente. Se concluye que con el uso de la biotecnología FES es posible utilizar la zanahoria en mezcla con otras materias primas para la obtención de un alimento ecoeficiente para ganado.

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación GIBNA, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia). ORCID Fonseca-López, D.: 0000-0003-3877-3730

² Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación GIBNA, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia). Saavedra-Montañéz, G.: 0000-0003-0463-7722

³ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación GIBNA, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia). ORCID Rodríguez-Molano, C.E.: 0000-0002-0862-3478

⁴ Autor para correspondencia. carlos.rodriguez@uptc.edu.co



Palabras clave adicionales: fermentación, biotecnología, microorganismos eficientes, rumiante, formulación de piensos.

ABSTRACT

Livestock feeding must use sustainable strategies because of the pressure exerted on natural resources seen with concentrated feed; solid state fermentation (FES) allows for the design of foods with less environmental impact because of the action of efficient microorganisms that enrich the residues of crops and flours with a low nutritional value. The objective of this research was to create a carrot-based FES (*Daucus carota* L.) food in combination with other ingredients as an alternative for cattle feed; for this, three solid-state fermented products (72 hours) were obtained with the inclusion of carrot (FES 1 [control], FES 2 [without repel of wheat] and FES 3 [without coffee husk]). The pH variation was evaluated during the fermentation process, and a compositional analysis and microbiological analysis of the diets were performed. A 4-fold increase in the initial protein value (BP) at 48 hours was obtained, from 4.34 to 19% (FES 1), 17.4% (FES 2) and 14.4% (FES 3) ($P \leq 0.05$). The highest growth of total mesophiles at 24 hours was observed with 69×10^3 UFC/g (FES 1), 120×10^3 UFC/g (FES 2) and 45×10^3 UFC/g (FES 3) ($P \leq 0,05$); the pH dropped at 96 hours of fermentation of 5.9 (FES 1) (FES 1), 6 (FES 2) and 6.05 (FES 3) at 4.89 (FES 1), 4.91 (FES 2) and 5 (FES 1) FES 3) ($P \leq 0.05$), respectively. It was concluded that, with the FES biotechnology, it is possible to use carrot mixed with other raw materials to obtain eco-efficient cattle feed.

Additional key words: fermentation, biotechnology, efficient microorganisms, ruminant, feed formulation.

Fecha de recepción: 24-10-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

El departamento de Boyacá se encuentra dentro de los principales productores de zanahoria (*Daucus carota* L.) con un área cultivada de 1.765 ha, rendimientos de 38,13 t ha⁻¹ (Agronet, 2015) y pérdidas del 1% asociadas al tamaño reducido, deformaciones y alteraciones en la superficie de la hortaliza. Esto último, no solo genera pérdidas sino un subproducto de bajo valor nutricional que puede ser utilizado como alimento alternativo para bovinos mediante la fermentación en estado sólido (FES) siendo esta una tecnología que posibilita el enriquecimiento de sustratos a partir de inoculantes, los cuales, son microorganismos que utilizan ha dicho sustrato como fuente de nutrientes y anclaje (Biz *et al.*, 2016) y a cambio, aportan proteína de alto valor biológico y energía. A raíz de ello, el objetivo de este trabajo fue elaborar un alimento FES a base de zanahoria como alternativa ecoeficiente para la alimentación de ganado en mezcla con otras materias primas de fácil adquisición en la zona como la tuza de mazorca *Zea maíz* L. (Poaceae), el nabo *Tropaeolum tuberosum*

Ruiz & Pav. (Tropaeolaceae) y la morera *Morus alba* L. (Moraceae).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Este trabajo se desarrolló en el laboratorio de nutrición animal y en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), seccional Tunja.

Tratamientos

Se compararon tres alimentos, un control (FES 1) que correspondió a un alimento base (35% de zanahoria) a partir del cual se diseñaron dos adicionales, en estos se sustituyó los materiales secantes cascarilla de café y repila de trigo por una mezcla de nabo, morera y

tusa de mazorca, de tal manera, que las dietas fueron isoproteicas e isoenergéticas según tablas del *National Research Council* (NCR) formando un FES 2 sin repila de trigo y FES 3 sin cascarilla de café (Tab. 1).

Tabla 1. Composición porcentual de tres alimentos evaluados.

Materia prima	FES 1	FES 2	FES 3
Nabo	0	17,5	5,2
Tusa	0	2,4	3,8
Morera	0	5	6
Cascarilla de café	15	10,1	0
Repila de trigo	20	0	20
Torta de palmiste (alta grasa)	20	20	20
Zanahoria	35	35	35
Sulfato de magnesio	0,5	0,5	0,5
Premezcla vitamínica	0,5	0,5	0,5
Inoculante Liofast®	2	2	2
Melaza	5	5	5
Urea	1,5	1,5	1,5
Carbonato de calcio	0,5	0,5	0,5
Total	100	100	100

Los ingredientes utilizados se caracterizaron por tener un bajo contenido de proteína (Tab. 2) a excepción de la morera y el ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam. (Poaceae)) cuyos contenidos de proteína bruta (PB) y fibra detergente neutra (FDN) los ubican como alimentos de alta calidad al contener más de 15% de PB y menos de 50% de FDN (Di Marco, 2011).

Por otro lado, la zanahoria utilizada se caracterizó por tener una firmeza de $115,9 \pm 0,10$ N (Newton), pH $6,79 \pm 0,01$ (18 °C) y un contenido promedio de sólidos solubles totales (SST) de $16,63 \pm 0,07$ °Brix, mientras que el nabo obtuvo una firmeza de $35,18 \pm 0,01$ N, pH $7,11 \pm 0,01$ (18°C) y un contenido de SST de $6,25 \pm 0,07$ °Brix.

Preparación del alimento mediante FES

Los ingredientes sólidos: nabo y zanahoria se picaron en tamaño de 4 mm aproximadamente, mientras que la tusa y el material vegetal de morera se secaron y se pasaron por una máquina pica pasto marca Indutornometal JR® (Funza, Colombia) hasta la presentación de harina. Todos los ingredientes se mezclaron homogéneamente y se inocularon con un preparado microbiano a partir de la metodología propuesta por Borrás-Sandoval *et al.* (2015) utilizando cultivo comercial Liofast Y452B, SACCO® (Cadorago, Italia). Luego, las mezclas se empacaron en bolsas plásticas herméticas con capacidad de 25 kg según el tratamiento y se fermentaron en incubadora a 20°C por 72 h.

Variables evaluadas

Análisis composicional. Se determinó el contenido de materia seca (MS) con una estufa de secado marca Memmert® (Karl Kolb, Schwabach, Alemania) y humedad (H) por diferencia; cenizas (Cen) por método de incineración a 550°C con mufla Thermolyne® (Dubuque, IA); proteína bruta (PB) por el método de Kjeldahl; extracto etéreo (EE) por soxhlet; fibra cruda (FC), fibra en detergente ácido (FDA) y fibra en

Tabla 2. Análisis composicional de los constituyentes del sustrato fermentado en estado sólido y el pasto ryegrass.

Materia prima	H	MS	FDN	FDA	EE	Cen	PB	FC	
Ingredientes FES	Tusa	46,6	53,3	70,1	5,3	1	3,6	0,3	14,4
	Nabo	27,2	72,1	54,9	15,9	1,6	7,3	2,1	5
	Torta de palmiste (alta grasa)	8,6	91,3	78,2	13,8	8,4	2,8	8	0,8
	Zanahoria	21,7	78,3	55,9	19,5	5,1	7,1	1,4	8,2
	Repila de trigo	3,5	96,4	75,4	13,7	1,4	6,1	8,4	17,2
	Cascarilla café	7,2	92,7	79,4	13,5	1,3	0,5	5,6	17,8
	Morera	65,4	34,6	40,3	7,7	0,8	8,6	14,6	18,9
Ryegrass	77,8	22,2	38,9	6,5	1,6	11,4	23,1	17,2	

H: humedad; MS: materia seca; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; EE: extracto etéreo; Cen: cenizas; PB: proteína bruta; FC: fibra cruda.

detergente neutra (FDN) por el método Van Soest *et al.* (1991).

pH durante el proceso de fermentación. Se evaluó el pH de las dietas fermentadas con un potenciómetro OAKTON® (OAKTON Instruments, Vernon Hills, IL, USA) desde el inicio hasta las 96 h, a partir de un filtrado obtenido de una muestra de 5 g de alimento mezclado en 45 mL de agua destilada según el método de Elías *et al.* (1990).

Análisis microbiológico. Se utilizó el método recuento en placa NTC 4092 utilizando dilución 10^{-3} , el cultivo se realizó con los procedimientos *Compact Dry*: *E. coli* formes®, aerobios mesófilos®, mohos y levaduras®, incubados a 37 °C por 48 h hasta las 72 h de fermentación de las dietas.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se aplicó la prueba de homogeneidad de Levene, la prueba de normalidad por Shapiro willk, análisis de varianza (Anova) y comparación de promedios por Tukey ($P \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis composicional

Se encontraron diferencias en las variables MS%, H%, EE%, FDA%, FC%, PB%, Cen% entre las dietas: FES 1 (control), FES 2 (sin repila de trigo) y FES 3 (sin cascarilla de café) (Tab. 3).

Humedad (H)

La H es uno de los principales factores que influyen en la preparación del FES, puesto que el agua funciona como vehículo de los nutrientes e interviene en el crecimiento de la microbiota fermentadora tras involucrarse en sus procesos metabólicos. El nivel de H aumentó durante las horas de fermentación, siendo mayor en el FES 1 (Control) pasando de 44,3% a las 24 h a 51,1% a las 72 h, sin embargo, solo se presentaron diferencias estadísticas significativas a las 72 horas de fermentación en los tres alimentos ($P \leq 0,05$). Este comportamiento está documentado por varios autores (Moyano, 2014; Borrás-Sandoval *et al.*, 2015), y se asocia a la producción de agua en los procesos metabólicos y a la formación de enlaces peptídicos en los que se pierde una molécula de agua por enlace formado, lo que explica el aumento del nivel de PB en los alimentos FES post-fermentación.

Proteína bruta (PB)

La proteína de los alimentos paso de 4,34%, valor al que fueron balanceados los tres tratamientos, a 18,4% en FES 1 (Control), 15,9% en FES 2 (sin repila de trigo) y 18,3% FES 3 (sin cascarilla de café) luego de 24 h, lo que indica un aumento en promedio de cuatro veces el valor inicial con diferencias estadísticas a las 48 y 72 h de fermentación ($P \leq 0,05$). Resultados similares fueron obtenidos por Díaz *et al.* (2014) en un alimento FES fermentado durante 20 días alcanzando una proteína de 15,83%. Este comportamiento se relaciona con el aporte de nitrógeno (urea) que, según

Tabla 3. Análisis composicional (%) de tres dietas usando zanahoria.

Horas de fermentación	T	MS	H	EE	FDA	FC	PB	Cen
24 h	FES 1	55,7±1,45 ns	44,3±1,45 ns	12,1±0,03 b	44,6±0,95 ns	40,5±0,49 b	18,4±0,8 ns	7,8±0,75 a
	FES 2	53,9±2,26 ns	46,1±2,26 ns	15,2±0,11 a	56,7±1,58 ns	48,2±0,26 a	15,9±0,1 ns	6,5±0,10 ns
	FES 3	58,8±0,26 ns	41,1±0,26 ns	8,5±0,03 c	45,3±0,87 ns	24,8±2,48 c	18,3±0,75ns	4,9±0,10 b
48 h	FES 1	51,9±0,83 ns	48±0,83 ns	14,8±0,23 a	30,4±1,33 b	34,7±1,02 ns	19,1±0,5 a	7,5±0,15 a
	FES 2	53,9±3,03 ns	46,1±3,03 ns	8,1±0,04 b	42,6±0,37 a	39,1±1,82 ns	17,4±0,1 a	6,4±0,10 b
	FES 3	59,7±1,69 ns	40,3±1,69 ns	12,8±0,18 a	39,9±0,43 ns	36,8±0,35 ns	14,3±0,55 b	4,6±0,10 c
72 h	FES 1	48,9±0,64 c	51,1±0,64 a	4,1±0,01 b	26,2±1,08 ns	15,7±1,39 c	16,9±0,05 b	7,5±0,25 ab
	FES 2	51,7±1,78 b	48,3±1,78 b	3,5±0,01 b	38,4±0,69 ns	59,4±0,49 a	16,6±0,1 b	5,3±0,10 b
	FES 3	58,1±1,02 a	41,9±1,02 c	21,3±0,02 a	30,5±0,59 ns	33,7±0,96 b	14,3±0,05 a	4,4±0,10 b

T: tratamiento, H: humedad, MS: materia seca, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácida, EE: extracto etéreo, Cen: cenizas, PB: proteína bruta, FC: fibra cruda.

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa, entre dietas para cada tiempo de muestreo, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$); ± error estándar; ns: sin diferencias estadísticas; a: $P \leq 0,05$; b: $P \leq 0,01$.

Brea-Maure *et al.* (2015) es utilizado junto con los carbohidratos fácilmente fermentables en la formación de protoplasma celular, aunque no se descarta una condensación de la proteína por la reducción de la MS. Esto explica a la vez, el menor contenido de PB en el FES 3 cuyo contenido de MS fue mayor al final del ensayo, de modo que en este alimento no se presentó un uso eficiente de nitrógeno ni de los carbohidratos para la formación de proteína de origen microbiano.

Materia seca (MS)

El contenido de MS se redujo con el tiempo de fermentación en los tratamientos, pasando de 55,7% (24 h) a 48,9% (72 h) en el FES 1 (Control); de 53,9% (24 h) a 51,7% (72 h) en el FES 2 (sin repila de trigo); y de 58,8% (24 h) a 58,1% (72 h) en el FES 3 (sin cascarilla de café) con diferencias estadísticas a las 72 h ($P \leq 0,05$). Esto se relaciona con la utilización de los carbohidratos solubles como fuentes energéticas de los procesos metabólicos (Rodríguez *et al.*, 2001) de los microorganismos presentes en el material, de modo que el contenido de carbono del sustrato soporte se consume con el tiempo de fermentación junto con las fuentes de nitrógeno y minerales.

Cenizas (Cen)

Los valores más altos se observaron en el FES 1 (Control) con 7,8% (24 h), 7,5% (48 h) y 7,5% (72 h); valores intermedios en FES 2 (sin repila de trigo) con 6,5% (24 h), 6,4% (48 h), 5,3% (72 h); y los valores más bajos en FES 3 (sin cascarilla de café) con 4,9% (24 h), 4,6% (48 h), 4,4% (72 h) existiendo diferencias estadísticas a las 24 h entre FES 1 y FES 3; y a las 48 y 72 h de fermentación ($P \leq 0,05$) entre todos los tratamientos.

Este comportamiento se atribuye al uso de minerales como P, Ca, Mg, Fe y S en la formación de estructuras bacterianas y su intervención como cofactores en los procesos metabólicos. Sin embargo, la variación en el contenido de cenizas en los tratamientos también se relaciona con el contenido de cenizas de las fuentes energéticas usadas (Ramos *et al.*, 2006).

Fibra en detergente ácido (FDA)

La FDA se redujo con el tiempo, sin embargo, solo hubo diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) a las 48 h de fermentación entre el FES 1 (30,4%) y el FES 2

(42,6%). No obstante, el menor valor para FDA lo obtuvo el FES 1 (Control) a las 72 h con 26,2%, resultado similar a lo reportado por Ramos *et al.* (2006) en la preparación del alimento FES sachacátrico con 25,82% y al FES sachapulido con 21,47%. Esto indica una mejora en la digestibilidad del producto (Borras-Sandoval *et al.*, 2014), debido a que la FDA y la digestibilidad están inversamente relacionados (Hernández, 2010) por lo que se concluye que las dietas a las 72 h tienen una mejor digestibilidad.

Fibra cruda (FC). Se observó diferencias estadísticas a las 24 y 72 h de fermentación en el contenido de FC de los tratamientos ($P \leq 0,05$), el valor más alto fue para el FES 2 (sin repila de trigo) a las 72 h con 59,9% FC, seguido del FES 3 con 33,7% ($P \leq 0,05$), lo que puede estar relacionado con la fibra aportada por la mora cuya inclusión fue del 11% para este tratamiento, mientras que en el FES 3 (sin cascarilla de café) la inclusión fue del 6%.

Lo anterior indica que la inclusión de ingredientes con fibra vegetal suele favorecer el contenido de FC, y esto es muy importante en la prevención de los trastornos metabólicos (Hernández, 2010). Aunque también, dicho aumento en los valores de la FC según Aranda *et al.* (2012) se relaciona con un incremento significativo en el contenido de paredes celulares, en relación con el contenido de almidón del producto utilizado.

Sin embargo, en el FES 1 hubo una reducción en el contenido de FC pasando de 40,5% (24 h) a 15,7% (72 h) lo que se asocia con la actividad de microorganismos, debido a que estos pueden utilizar la hemicelulosa y parte del nitrógeno asociado a la fibra como fuente de nutrientes para crecer en los sustratos, antes de comenzar a degradar la lignina (Van Soest *et al.*, 1991).

Extracto etéreo (EE)

Esta variable corresponde al grupo de nutrientes llamados grasa bruta o lípidos (Serna y López, 2010) donde también encontramos las vitaminas liposolubles. Se observó una reducción gradual conforme avanzó la fermentación desde las 24 hasta las 72 h pasando de 12,1 a 4,1% en FES 1 (Control) y de 15,2 a 3,5% FES 2 (sin repila de trigo) ($P \leq 0,05$), debido a que las bacterias lácticas (BAL), tales como los géneros *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* y algunos otros se destacan por sus requerimientos vitamínicos complejos (Madigan *et al.*, 2004) y requerimientos de energía

en forma de lípidos para la formación de enzimas, membranas y como fuentes de energía.

No obstante, se observó un efecto contrario en el FES 3 (sin cascarilla de café) con valores de 8,5% (24 h), 12,8% (48 h) y 21,3% (72 h) ($P \leq 0,05$), lo que se debe a una posible concentración de nutrientes debido a la reducción de los carbohidratos en el proceso fermentativo los cuales se utilizan como fuente energética, no solo por las BAL, sino también por la flora natural presente al inicio de la fermentación (Ortega y Hoyos, 2016).

Análisis microbiológicos

El crecimiento máximo de bacterias lácticas mesófilas se observó a las 24 h de fermentación en todos los tratamientos así: 120×10^3 UFC/g (FES 2), 69×10^3 UFC/g (FES 1) y 45×10^3 UFC/g (FES 3) ($P \leq 0,05$). Con el paso de las horas se redujo las UFC de mesófilos, directamente por el consumo de carbohidratos para la formación de proteína bacteriana.

Aunque, el considerable crecimiento de UFC de mesófilos en las dietas FES 1 y FES 2 también se asocia con el pH más bajo y con el contenido de humedad de dichas dietas, debido a que el agua disuelve homogéneamente los nutrientes del medio y facilita su acceso a la célula, además de disolver los productos del metabolismo cuando se excretan al medio (Carrasco *et al.*, 2003) (Fig. 1).

Sin embargo, el pH más bajo relacionado con la presencia de ácido láctico limitó el crecimiento de UFC de enterobacterias en las dietas FES 1 y FES 2 ($P \leq 0,05$), pero en la dieta FES 3 se observó lo contrario, lo que se pudiera asociar al pH y humedad inicial que afectó el crecimiento de bacterias, entre las que se destacan las ácido lácticas y las mesófilas, y con ello la producción de ácido láctico capaz de ejercer un efecto antibiótico sobre los agentes microbianos no deseables (Fig. 2). En cuanto al crecimiento de UFC de mohos y levaduras, no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos, de modo que los valores estuvieron entre 0 y 3 UFC/g con una tendencia decreciente (Fig. 3).

Lo anterior por el aporte de nitrógeno (1,5% urea) debido a que este ejerce un efecto inhibitorio en el crecimiento de hongos, así, la urea como fuente de nitrógeno en concentraciones desde el 1% frena el proceso de crecimiento para dar paso a una mayor esporulación (Agamez *et al.*, 2008). Estos resultados demuestran que los alimentos FES son medios complejos

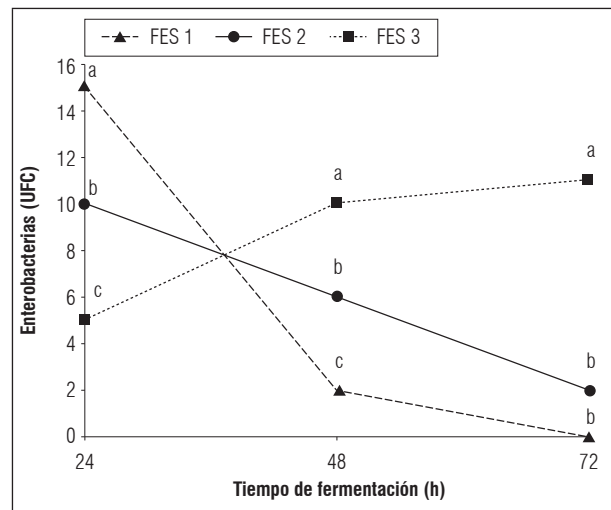


Figura 1. Crecimiento de mesófilos totales (UFC/g) en dietas fermentadas con zanahoria. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa, en cada punto de muestreo, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$); ns: sin diferencias estadísticas.

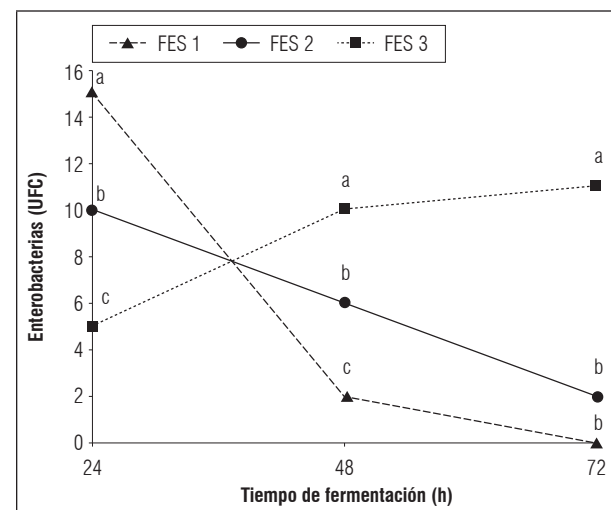


Figura 2. Crecimiento de enterobacterias (UFC/g) en dietas fermentadas con zanahoria. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa, en cada punto de muestreo, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

que aportan nutrientes y favorecen el crecimiento de ciertos microorganismos, siendo el nivel de humedad un factor decisivo que influye en el proceso de fermentación pudiendo inactivar las bacterias lácticas cuando es bajo y con ello favorecer las condiciones para que se multipliquen organismos indeseables.

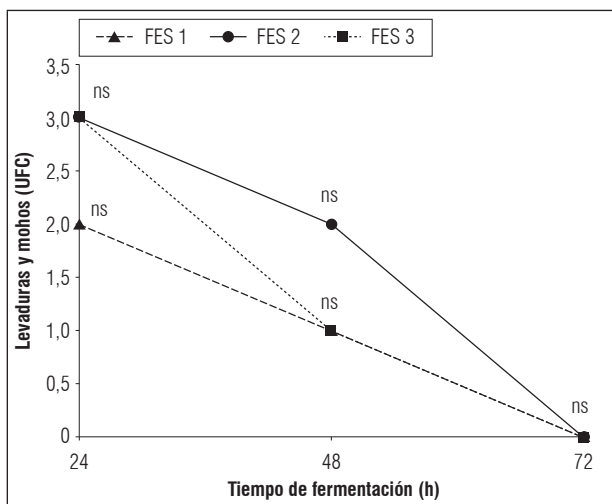


Figura 3. Crecimiento de mohos y levaduras (UFC/g) en dietas fermentadas con zanahoria. ns: sin diferencias estadísticas.

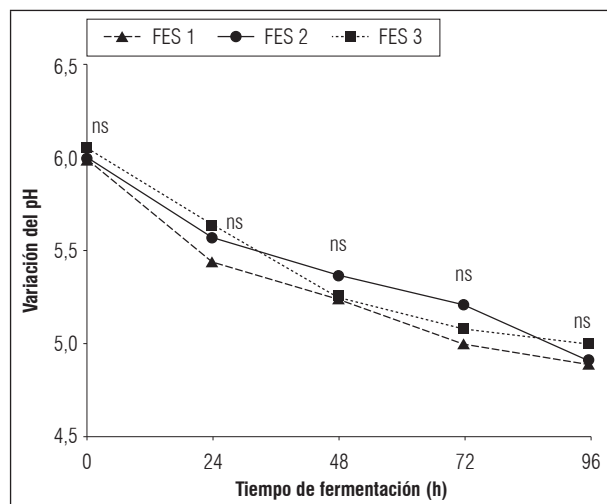


Figura 4. Variación del pH en dietas fermentadas con zanahoria. ns: sin diferencias estadísticas.

pH durante el proceso de fermentación

El pH es un indicador de la acidificación del medio y debe mantenerse entre 3,5 y 6,0 (Elías *et al.*, 1990) para favorecer el crecimiento de bacterias mesófilas. Esto explica, porqué en el FES 3 (sin repila de café) no hubo un buen crecimiento de dichas bacterias al quedar preparado con un pH inicial de 6,05 mientras que en el FES 1 (Control) y en el FES 2 (sin repila de trigo) el crecimiento de UFC de mesófilos fue mayor (Fig. 4).

Se obtuvo valores iniciales de 5,9 (FES 1), 6 (FES 2) y 6,05 (FES 3) y finales de 5 en el FES 3, 4,89 en FES 1 y 4,91 FES 2 ($P \leq 0,05$). Estos resultados son similares a los encontrados por Borrás-Sandoval *et al.* (2015) en el fes-papa con 4,86; pero mayores al rango reportado por Díaz *et al.* (2014) de 4,00 a 4,86 como óptimos en este proceso, por lo que se concluye que el nivel utilizado de carbonato de calcio (0,5%) fue muy alto y esto a su vez influyo en el crecimiento bacteriano.

Lo que se debe, según Díaz-Plascencia *et al.* (2010) a que el calcio tiene propiedades bufferantes que mantienen el pH superior a 6, lo que posiblemente deje fuera de rango la actividad microbial de las levaduras tal como lo observó en un proceso de fermentación con manzana. Igualmente, no se descarta que el nivel de urea también haya sido alto (1,5%), debido a que una mayor concentración de la misma es capaz de aumentar el amoníaco y el pH (Ramos *et al.* 2006), lo que depende, en menor o mayor grado, de

la concentración de los ácidos orgánicos (AGCC y láctico) (Brea-Maure *et al.*, 2015) por lo que se sugiere utilizar concentraciones menores para próximos estudios.

CONCLUSIONES

La fermentación en estado sólido es un proceso donde microorganismos eficientes usan el sustrato componente del alimento para multiplicarse y realizar sus procesos metabólicos mediante el consumo de carbohidratos (MS), minerales (Cen), lípidos (EE) y nitrógeno aportado por la urea y la fibra cuando existe un medio favorable.

Factores como la humedad impactan el proceso de fermentación, en este trabajo se observó que una humedad inicial en el alimento cercana a 41,1% (FES 3) reduce la disolución de nutrientes lo que limita el crecimiento de bacterias ácido lácticas. Además, niveles de 0,5% de carbonato de calcio y 1,5% de urea en el alimento aumentan el pH inicial dejándolo en un rango entre 5,9 y 6,05, lo que frena el crecimiento de bacterias benéficas.

La zanahoria como alimento base en los alimentos FES es un sustrato sólido que aporta azúcares deseables para el desarrollo de la microbiota fermentadora, además, es posible utilizarla en mezcla con otros materiales gracias a la capacidad fermentativa de los microorganismos eficientes obteniéndose proteínas de 16, 17 y 16,6% (FES 2) comparables con las aportadas por alimentos comerciales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus agradecimientos a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, al grupo GIBNA y a otras personas cuya colaboración fue imprescindible en la ejecución de este proyecto.

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

- Agamez, E.Y., R.I. Zapata, L.E. Oviedo y J.L. Barrera. 2008. Evaluación de sustratos y procesos de fermentación sólida para la producción de esporas de *Trichoderma* sp. Rev. Colomb. Biotecnol. 10(2), 23-34.
- Agronet. 2015. Zanahoria, resultado de las evaluaciones agropecuarias municipales. En: <http://www.agronet.gov.co/Documents/Zanahoria%20-%20A%C3%B1o%202015.pdf>; consulta: marzo de 2017.
- Aranda, E.M., L.E. Georgana, J.A. Ramos y S. Salgado. 2012. Elaboración de un alimento basado en caña de azúcar a partir de la fermentación en estado sólido y con diferentes niveles de zeolitas. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 46(2), 159-163.
- Biz, A., A.T. Finkler, L. Pitol, B. Medina, N. Krieger y D.A. Mitchell. 2016. Production of pectinases by solid-state fermentation of a mixture of citrus waste and sugarcane bagasse in a pilot-scale packed-bed bioreactor. Biochem. Eng. J. 111(1), 54-62. Doi: 10.1016/j.bej.2016.03.007
- Borras-Sandoval, L.M., A.E. Iglesias y G.F. Saavedra-Montañez. 2015. Evaluación de la dinámica de conservación del producto final de un alimento obtenido por fermentación en estado sólido de la papa (Fes-papa). Cienc. Agric. 12(1), 73-82. Doi: 10.19053/01228420.4125
- Borras-Sandoval, L.M., A.E. Iglesias y M.A. Moyano-Bautista. 2014. Efecto de la temperatura y el tiempo sobre los indicadores de la papa (*Solanum tuberosum*) fermentada en estado sólido. Cienc. Agric. 11(2), 31-38. Doi: 10.19053/01228420.3835
- Brea-Maure, O., A. Elías-Iglesias, A. Ortiz-Milán, W. Motta-Ferreira y S. Hechavarría-Riviaux. 2015. Efecto de la urea y del tiempo en la fermentación en estado sólido de la harina de frutos del árbol del pan (*Artocarpus altilis*). Rev. Cien. Agri. 12(2), 91-101. Doi: 10.19053/01228420.4395
- Carrasco, T., A. Ibarra, Y. García, E. Valiño, y T. Pérez. 2003. Efecto negativo de la humedad en la fermentación en estado sólido del bagazo de caña de azúcar. Rev. Cubana Cienc. Avíc. 37(1), 37-41.
- Di Marco, O. 2011. Estimación de calidad de los forrajes. Producir XXI 20, 24-30.
- Díaz, B., A. Iglesias y E. Valiño. 2014. Impacto de la biotecnología convencional en la seguridad alimentaria a través de producción animal en Ecuador. Estudio de caso: producto BIORÉS. Rev. Int. Cienc. Soc. 1(2), 51-61.
- Díaz-Plascencia, D., C. Rodríguez-Muela, P. Mancillas-Flores, C. Angulo, F. Salvador, O. Ruíz, H.O. Rubio, S. Mena y A. Elías. 2010. Desarrollo de un inoculo con diferentes sustratos mediante fermentación sólida sumergida. Rev. Electrón. Vet. 12(1).
- Elías, A., O. Lezcano, P. Lezcano, J. Cordero y L. Quintana. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteínico en la caña de azúcar mediante fermentación solida (Saccharina). Rev. Cubana Cienc. Agríc. 24(1), 1-12.
- Hernández, S. 2010. Importancia de la fibra en la alimentación de los bovinos. Tesis de pregrado, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko, J. Parker, T.D. Brock, C. Rodríguez, y M. Sánchez. 2004. Brock biología de los microorganismos. Pearson Educación, México, DF.
- Moyano, M.A. 2014. Fermentación en estado sólido (FES) de la papa (*Solanum tuberosum*), como alternativa tecnológica para la alimentación animal. Tesis de especialista. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Tunja, Colombia.
- Ortega, R. y J.L. Hoyos. 2016. Residuos piscícolas a ensilaje biológico: evaluación fisicoquímica. Publ. Investig. 10(1), 13-20. Doi: 10.22490/25394088.1584
- Ramos, J.A., A. Elías y F. Herrera. 2006. Procesos para la producción de un alimento energético-proteico para animales. Efecto de cuatro fuentes energéticas en la fermentación en estado sólido (FES) de la caña de azúcar. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 40(1), 51-58.
- Rodríguez, Z., R. Boucourt, A. Elías y M. Madera. 2001. Dinámica de fermentación de mezclas de caña (*Saccharum officinarum*) y boniato (*Ipomea batata*). Rev. Cubana Cienc. Agríc. 35(2), 147-151.
- Serna, L.F. y S.M. López. 2010. Actualización del manual del laboratorio de análisis de alimentos del programa de tecnología química de la Universidad Tecnológica de Pereira. Tesis en tecnología. Facultad de Tecnología, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson y B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74 (1), 3583-3597. Doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Abonos verdes en el rendimiento del perejil y la fertilidad del suelo en Piracicaba, Brasil

Green manure in parsley production and soil fertility in Piracicaba, Brazil



SIMONE DA COSTA-MELLO^{1, 3}
JOSINA NIMI-KASSOMA¹
GUSTAVO QUESADA-ROLDÁN¹
ADRIANO DANTAS-DA SILVA¹
MATEUS AUGUSTO DONEGÁ¹
CARLOS TADEU DOS SANTOS-DIAS²

Vista general de las tres especies de abonos verdes usadas en el experimento, *Mucuna deeringiana*, *Crotalaria juncea* y *C. spectabilis*.

Foto: J. Nimi-Kassoma

RESUMEN

Los abonos verdes han sido utilizados con éxito en la producción de hortalizas como fuente de nitrógeno y como acondicionador del suelo, principalmente en áreas degradadas. Sin embargo, la información referente a esos efectos en el cultivo del perejil es escasa. Así, abonos verdes como *Mucuna deeringiana*, *Crotalaria juncea* y *Crotalaria spectabilis* fueron estudiados en las propiedades físicas y químicas del suelo y en la productividad de dos cultivares de perejil (Lisa Preferida y Graúda Portuguesa). Dos experimentos fueron realizados en el Departamento de Producción Vegetal de la Escuela Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, en Piracicaba-SP, Brasil. Se evaluaron propiedades físicas del suelo como la densidad (real o aparente), porosidad total, macroporosidad y microporosidad, que no fueron alteradas por los abonos verdes en relación al control en los dos experimentos. También propiedades químicas del suelo como el pH, contenido de materia orgánica y nutrientes, quienes presentaron cambios en el segundo experimento, cuando las concentraciones de Ca, P y la suma de bases aumentaron con la aplicación de los abonos verdes de forma significativa. En suelos con alta fertilidad, como el estudiado, se dificulta encontrar beneficios a partir de una única fertilización con abonos verdes. La productividad del perejil en el primer experimento aumentó en promedio 61% después de la fertilización con abonos verdes en relación al control (14,9 t ha⁻¹), independiente de la especie de abonos verdes utilizada. En el segundo experimento, la productividad del perejil no aumentó con la fertilización de esos abonos en relación al control, posiblemente porque las condiciones abióticas afectaron la producción de biomasa de los abonos verdes y del propio perejil producido en ese ciclo.

Palabras clave adicionales: *Petroselinum crispum*, química de suelos, física de suelos, leguminosas.

¹ Escuela Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Producción Vegetal, Universidad de São Paulo, Piracicaba-SP (Brasil). ORCID Costa-Mello, S.: 0000-0002-1652-8171; ORCID Nimi-Kassoma, J.: 0000-0002-9304-391X; Quesada-Roldán, G.: 0000-0002-4171-0135; Dantas-da Silva, A.: 0000-0002-9224-3055; ORCID Donegá, M.A.: h0000-0002-7596-9663

² Escuela Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de São Paulo, Piracicaba-SP (Brasil). ORCID Santos-Dias, C.T.d.: 0000-0003-1015-1761

³ Autor para correspondencia. scmello@usp.br



ABSTRACT

Green manure has been employed successfully in vegetable production as a nitrogen source and for soil conditioning, especially in highly, intensively prepared soils. However, the information on the effects in parsley culture is very limited. The green manure species *Mucuna deeringiana*, *Crotalaria juncea* and *Crotalaria spectabilis* were studied for the physical and chemical soil properties and yield of two cultivars of parsley (Lisa Preferida and Graúda Portuguesa). Two experiments were conducted at the Crop Production Department at the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba-SP, Brazil. The soil physical properties, such as density, total porosity, macro and microporosity, were not affected by green manure, as compared to the control in both experiments. The chemical properties (pH, organic matter and nutrients content) only changed in the second experiment, significantly increasing the Ca and P concentration and bases sum with the green manure. In soils with high fertility, such as the one in this study, it is difficult to find benefits from a single green manure. The parsley yield increased on average 61% after green manure cultivation, as compared to the control (14.9 t ha⁻¹), regardless of the green manure species used, only in the first experiment. In the second experiment, the parsley yield did not increase because of the green manure effects, as compared to the control, possibly because, in this cycle, the produced green manure biomass and the parsley yield were affected by abiotic conditions.

Additional key words: *Petroselinum crispum*, soil chemistry, soil physics, leguminous.

Fecha de recepción: 09-06-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

El perejil (*Petroselinum crispum* Mill.), originario del sur de Europa y el Oriente Medio, es una de las especies foliosas bien valorizada comercialmente y tiene gran aceptación por los consumidores como condimento (Heredia *et al.*, 2008). Esta especie es muy utilizada como materia prima en la industria de alimentos, en forma fresca, deshidratada o congelada (Almeida, 2006), además de ser comercializada en atado para el mercado fresco. La planta es fuente de vitamina A, C, niacina, riboflavina, calcio, hierro, potasio y fósforo, además de poseer antioxidantes y ayudar en el tratamiento de procesos inflamatorios (Jia *et al.*, 2014).

El perejil se ha sembrado continuamente en áreas de cultivo, principalmente destinadas para industria, reduciendo la productividad y calidad de la materia prima. En este cultivo, la preparación intensiva del suelo, el uso limitado de materias orgánicas y el elevado volumen de agua aplicado por sistemas de riego por aspersión han provocado la reducción de la fertilidad del suelo, visualmente constatada por la erosión y la formación de capas compactadas. La compactación de las capas superficiales puede afectar la germinación de las semillas y aumentar la incidencia de patógenos de suelo y de enfermedades foliares (Koike *et al.*, 2013).

Para preservar y restaurar la fertilidad de los suelos intensivamente cultivados, el uso de abonos verdes ha ganado cada vez mayor importancia en la agricultura (Souza *et al.*, 2015). Según Carlos *et al.* (2006) el abono verde es el cultivo de especies vegetales capaces de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, y consecuentemente su capacidad productiva. El uso de abonos verdes puede ser practicado en rotación, sucesión o consorcio con otros cultivos, incorporando esos abonos o dejándolos en la superficie para protección de la capa superficial del suelo (Souza y Resende, 2006).

Las especies más utilizadas como abonos verdes pertenecen a la familia *Fabaceae* debido a la capacidad que tienen de fijar nitrógeno atmosférico y al asociarse simbióticamente a las bacterias del género *Rhizobium* (Mangaravite *et al.*, 2014). El uso de leguminosas como abonos verdes tiene relevancia al disminuir la disminución de insumos externos en la unidad de producción, por ser utilizadas como fuente de nitrógeno. En algunos casos, incluso pueden suministrar la totalidad del N a los cultivos. Según Almeida *et al.* (2008) el uso de leguminosas como abono verde fue capaz de substituir la fertilización con gallinaza para el suministro de N en la producción de lechuga. También

en el cultivo de la papa, los abonos verdes suplieron las exigencias mínimas de N y fueron responsables en el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Sharifi *et al.*, 2014).

Las leguminosas también aumentan la biomasa microbiana y la actividad enzimática de los microorganismos del suelo (Carvalho *et al.*, 2004; Talgre *et al.*, 2012; Sharifi *et al.*, 2014; Ye *et al.*, 2014); protegen el suelo de precipitaciones muy intensas; aumentan la capacidad de retención de agua del suelo, son eficientes en la movilización y reciclaje de los nutrientes y reducen la población de las malezas.

El cultivo continuo de plantas en la misma área causa la degradación del suelo, alterando los contenidos de carbono orgánico y nitrógeno, cuyas pérdidas pueden ser atribuidas a la reducción de la materia orgánica en el suelo. El tipo de materia orgánica aplicada al suelo determina sus propiedades químicas, físicas y biológicas, por tanto, en la forma de residuos vegetales por ejemplo, mejora su calidad (Smolinska, 2014).

Según Carvalho (2004) el cultivo de plantas leguminosas puede mejorar las características físicas del suelo, así como la densidad. Las leguminosas han sido usadas en programas de recuperación de áreas degradadas, por sus características como rusticidad y sistemas radiculares vigorosos y profundos (Favaretto *et al.*, 2000).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de tres especies de abonos verdes en la producción de dos cultivares de perejil y en las características de fertilidad del suelo, en la región de Piracicaba-SP, Brasil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y condiciones del estudio

Se llevaron a cabo dos experimentos en lotes contiguos, en el área experimental del Departamento de Producción Vegetal de la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) de la Universidad de São Paulo (USP), en el municipio de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil, a 546 msnm, 22°42'30" S y 47°38'00" W. El primer experimento (I) se realizó entre el 4 de diciembre de 2008 y el 23 de mayo de 2009, y el segundo experimento (II) entre los días 22 de enero y 3 de julio de 2009. Los datos climatológicos

de estos periodos fueron obtenidos por la estación meteorológica del Laboratorio de Ingeniería de Biosistemas de la ESALQ/USP (Fig. 1).

El suelo de las áreas experimentales fue clasificado como Nitosol rojo eutrófico A moderado de textura arcillosa. El análisis químico local del experimento I fue el siguiente: pH (CaCl₂) 5,9; materia orgánica 27,8 g dm⁻³; fósforo 377,6 mg dm⁻³; azufre 49,6 mg dm⁻³; potasio 11,6 mmol_c dm⁻³; calcio 81,6 mmol_c dm⁻³; magnesio 19,2 mmol_c dm⁻³; H+Al 26 mmol_c dm⁻³; suma de bases 112,4 mmol_c dm⁻³; capacidad de intercambio catiónico 138,4 mmol_c dm⁻³; saturación de bases 81,2 mmol_c dm⁻³; boro 0,8 mg dm⁻³; cobre 12,2 mg dm⁻³; hierro 54,8 mg dm⁻³; manganeso 28,9 mg dm⁻³; zinc 21,4 mg dm⁻³. En el experimento II, los resultados del análisis fueron: pH (CaCl₂) 5,9; materia orgánica 31,2 g dm⁻³; fósforo 412,6 mg dm⁻³; azufre 12,0 mg dm⁻³; potasio 9,5 mmol_c dm⁻³; calcio 115,6 mmol_c dm⁻³; magnesio 21,2 mmol_c dm⁻³; H+Al 23,8 mmol_c dm⁻³; suma de bases 146,3 mmol_c dm⁻³; capacidad de intercambio catiónico 170,1 mmol_c dm⁻³; saturación de bases 86,0 mmol_c dm⁻³; boro 0,6 mg dm⁻³; cobre 10,3 mg dm⁻³; hierro 50,8 mg dm⁻³; manganeso 30,0 mg dm⁻³; zinc 25,1 mg dm⁻³.

Estos análisis se llevaron a cabo momentos antes del inicio de los experimentos. Para el análisis de la materia orgánica se usó dicromato de K y posteriormente análisis colorimétrico; P, K, Ca y Mg fueron analizados por el método de resina. B a través de la metodología con agua caliente; Cu, Fe, Mn y Zn por extracción con DTPA; S por extracción con fosfato de calcio 0,01 mol L⁻¹.

Material vegetal

Los abonos verdes evaluados presentaron las siguientes características, conforme a lo descrito por Calegari *et al.* (1993): *Mucuna deeringiana* Merr.: planta anual de crecimiento determinado, de clima tropical y subtropical, con buen desarrollo en suelos arcillosos y arenosos; ofrece alguna resistencia a condiciones de acidez y baja fertilidad. *Crotalaria juncea* L.: planta de clima tropical y subtropical, con buen desenvolvimiento en suelos arcillosos y arenosos; presenta crecimiento rápido y elevada producción de biomasa. *Crotalaria spectabilis* Roth: planta anual de clima tropical y subtropical con buen desarrollo en los diferentes tipos de textura de suelo; posee raíz pivotante profunda y el crecimiento inicial es lento.

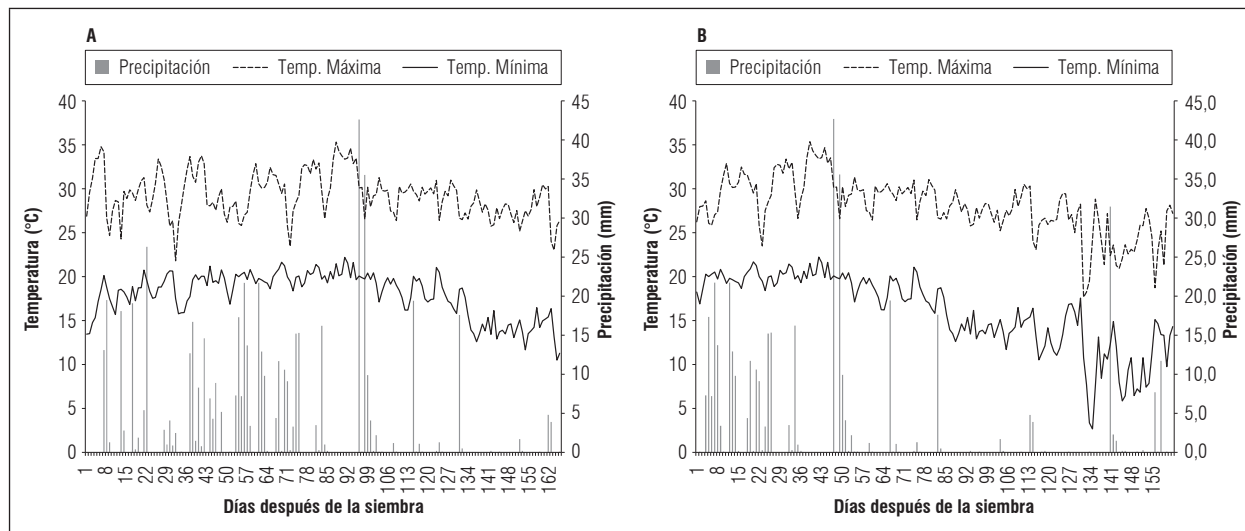


Figura 1. Datos climáticos registrados en ESALQ/USP (Piracicaba-SP, Brasil) en el momento de realizarse el experimento I (A) y experimento II (B).

Se emplearon dos cultivares de perejil, Graúda Portuguesa y Lisa Preferida. El primer cultivar presenta hojas grandes, lisas y de color verde oscuro, tallos gruesos y largos que miden cerca de 30 a 35 cm de altura, permite varios cortes obteniéndose alto rendimiento. El segundo cultivar crece con hojas lisas, largas y de color verde oscuro, miden de 30 a 35 cm de altura, pueden realizarse varios cortes y es resistente al volcamiento. El inicio de la cosecha ocurre entre 45 y 55 d después de sembradas (dds) en ambos cultivares.

Manejo del experimento y variables analizadas

Las semillas de los abonos verdes fueron sembradas al voleo y cortadas a los 75 y 95 dds, en los experimentos I y II, respectivamente. Estos experimentos no se llevaron a cabo secuencialmente, sino con un desfase de 48 d entre uno y otro experimento. Para el experimento I después del corte de los abonos verdes, las plantas fueron dejadas como cobertura sobre los surcos. En el experimento II, una semana después del corte fueron formados los surcos de siembra e incorporados sobre la superficie.

En ambos experimentos, inmediatamente después del corte de los abonos verdes, fueron colectadas muestras de suelo entre 0 a 20 cm de profundidad. En todas las parcelas se realizó una caracterización química de la materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido de P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe,

Mn y Zn. Para la determinación de las propiedades físicas del suelo (densidad, porosidad total, macro y microporosidad), se colectaron muestras inalteradas a esta misma profundidad con la ayuda de anillos volumétricos. En los dos experimentos se trasplantó las plántulas de perejil a 32 d después del corte de los abonos verdes. Las plántulas de perejil fueron producidas en vivero comercial usando bandejas de 288 celdas utilizando como sustrato fibra de coco y colocando 10 semillas por celda. Después de la geminación las bandejas fueron transferidas a invernadero para el desarrollo de las plántulas. Se plantaron con un espaciamiento de 15 cm entre plantas y 30 cm entre líneas. Cada subparcela tenía 20 plantas.

Para determinación de la masa fresca, se cosecharon los abonos verdes en un área equivalente a 1 m² por parcela. Después de esta etapa, 500 g de cada muestra se secaron por 48 h en estufa a 65°C con circulación forzada para las mediciones de masa seca de los materiales vegetales.

El perejil fue cosechado mediante el corte de las plantas inmediatamente encima de los brotes nuevos en un área de 0,45 m² en el centro de la subparcela a los 90 d después del trasplante (DDT) en el experimento I y 100 DDT en el experimento II. Se evaluó la producción de masa fresca del tallo, hojas, total (parte aérea), área foliar, número de hojas, masa seca del tallo, hojas y total. La masa fresca de cada parte y total es usada para evaluar el rendimiento destinado para industria (tallos y hojas). El área foliar fue medida

a través de un medidor de área foliar Licor 3100-C (Biosciences, Lincoln, NE).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño experimental de bloques al azar dispuesto en parcelas divididas, con cinco repeticiones. Las parcelas (10,8 m²) estaban compuestas por tres abonos verdes (*M. deeringiana*, *C. juncea* y *C. spectabilis*) y el tratamiento control (sin cobertura), mientras que las subparcelas (1,8 m²) estaban formadas por los cultivares de perejil (Graúda Portuguesa y Lisa Preferida). Se realizó un análisis de variancia de los datos y la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de biomasa de los abonos verdes

La cobertura *C. juncea* produjo mayor masa fresca comparado a *M. deeringiana* y mayor masa seca en relación a los demás tratamientos del experimento I. En el experimento II, la masa fresca y seca también fueron superiores para *C. juncea* en relación a las demás leguminosas (Tab. 1), corroborando con los resultados obtenidos por Calegari *et al.* (1993) y Wutke *et al.* (2009).

En el experimento I, la producción de masa seca de *C. juncea* y *M. deeringiana* alcanzó un 54,4% y 136,8% de mayor producción en relación a los registros reportados por Wutke *et al.* (2009), cuyos rendimientos máximos alcanzaron 10,0 y 17,6 t ha⁻¹ para *C. juncea* y 2,0 y 4,0 t ha⁻¹ para *M. deeringiana* entre septiembre y marzo. Para *C. spectabilis*, el rango de masa seca reportado por esos autores fue 4 a 14,9 t ha⁻¹. En el experimento II, aún con producciones menores en relación al primer experimento en consecuencia a menores temperaturas en ese período (Fig. 1) y por tanto menor crecimiento, los valores de masa seca de los tres abonos verdes evaluados se mantuvieron dentro de los rangos obtenidos por esos autores.

Propiedades físicas y químicas del suelo

Pese a que las condiciones favorecieron la producción de masa seca en los abonos verdes, las características químicas del suelo en el experimento I no fueron alteradas con el empleo de los abonos verdes conforme

a lo esperado (Tab. 2). Segundo Myers *et al.* (1994) citado por Espindola *et al.* (2005) son varios los factores que pueden influenciar en la degradación de los abonos verdes, siendo los principales las características edafoclimáticas, la composición química de los abonos verdes y las estrategias de manejo. De acuerdo con esos autores, en las mismas condiciones de clima y suelo, la velocidad de descomposición de los abonos verdes es afectada por la composición química del material vegetal. Abonos verdes con elevadas relaciones C/N y alto contenido de lignina proporcionaron una velocidad de descomposición y disponibilidad de nutrientes que no fueron suficientes para alterar las características químicas del suelo en el primer año de cultivo, más aún en un suelo con alta fertilidad como el que fue utilizado. Bajas relaciones lignina/nitrógeno son necesarias para aumentar la velocidad de descomposición de los abonos verdes y, consecuentemente, proporcionar nutrientes en el suelo (Cobo *et al.*, 2002). En un suelo más pobre (que no fue el caso de este trabajo), inmediatamente después del primer año podría esperarse alguna mejoría en la fertilidad, sin embargo Alcântara *et al.* (2000) en estudios sobre la recuperación de los suelos degradados, 150 d después de realizado el manejo, no encontraron efecto de los abonos verdes sobre la fertilidad del suelo.

En el experimento II, las concentraciones de Ca y P y la suma de bases aumentaron con el cultivo de *M. deeringiana* en relación a los demás abonos verdes y al control (Tab. 2), probablemente porque las plantas de esa especie extrajeron más P y Ca y sufrieron el proceso de descomposición más rápido en relación a los demás, haciendo disponibles esos nutrientes en el suelo. La especie *M. deeringiana* tiende a tener menor relación C/N (12 a 20) en comparación con especies de *Crotalaria* (17 a 20), acelerando la descomposición (Wutke *et al.*, 2007). La incorporación de los abonos verdes en el experimento II ayudó también a una mayor descomposición, beneficiando más a la *Mucuna*. Según Cavalcante *et al.* (2012) la *M. deeringiana* cosechada con 50% de las plantas en la fase de florecimiento extrajo más P y Ca que otros abonos verdes. Para Sharifi *et al.* (2014) el empleo de abonos verdes aumentó la biomasa microbiana del suelo, resultando en mayor fertilidad y disponibilidad de nutrientes para las plantas. Cultivos sucesivos de *C. juncea*, repollo y maíz, después de tres años consecutivos, aumentaron las concentraciones de P y redujeron las de K y Mg, además del pH. Las concentraciones de calcio, la suma de bases, la CIC potencial (pH 7,0) y el contenido de materia orgánica del suelo, por su parte,

Tabla 1. Producción de masa fresca y seca de tres abonos verdes a los 75 d después de la siembra en Piracicaba, Brasil.

Abono verde	Experimento I		Experimento II	
	Masa fresca (t ha ⁻¹)	Masa seca (t ha ⁻¹)	Masa fresca (t ha ⁻¹)	Masa seca (t ha ⁻¹)
<i>C. juncea</i>	89,59 a	27,18 a	48,52 a	12,16 a
<i>C. spectabilis</i>	72,85 ab	13,23 b	28,04 b	4,02 b
<i>M. deeringiana</i>	44,79 b	9,47 b	20,29 b	4,00 b
CV (%)	28,53	27,38	13,38	14,62

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

Tabla 2. Características químicas y físicas de suelos con tres abonos verdes bajo dos experimentos en Piracicaba, Brasil.

Características químicas	Experimento I					Experimento II				
	Md	Cs	Cj	Control	F	Md	Cs	Cj	Control	F
pH (CaCl ₂)	5,7	5,5	5,4	5,5	2,53 ^{ns}	5,4	5,6	5,7	5,6	2,60 ^{ns}
M.O. (g dm ⁻³)	34,50	35,50	36,75	36,75	0,60 ^{ns}	35,00	37,33	35,33	35,00	0,30 ^{ns}
P (mg dm ⁻³)	470,8	523,2	535,5	521,5	0,62 ^{ns}	352,7	450,3	399,0	425,0	4,09*
K (mg dm ⁻³)	9,8	8,4	9,2	9,8	0,45 ^{ns}	6,7	6,9	7,3	7,4	0,79 ^{ns}
Ca (mmol _c dm ⁻³)	79,75	77,50	81,25	78,50	0,22 ^{ns}	76,33	87,00	85,33	92,00	4,11*
Mg (mmol _c dm ⁻³)	20,00	19,75	18,75	18,50	0,64 ^{ns}	20,00	24,66	23,66	20,33	0,81 ^{ns}
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	36,50	41,25	44,75	43,25	1,91 ^{ns}	41,33	35,33	33,00	32,33	1,62 ^{ns}
SB ¹ (mmol _c dm ⁻³)	109,60	105,60	109,17	106,82	0,16 ^{ns}	103,00	118,60	116,30	119,76	5,19*
CIC ² (mmol _c dm ⁻³)	146,10	146,85	153,92	150,07	0,47 ^{ns}	144,33	153,93	149,33	152,10	1,87 ^{ns}
V ³ (%)	75,2	71,8	70,8	71,0	1,49 ^{ns}	71,7	77,0	78,0	78,7	2,55 ^{ns}
B (mg dm ⁻³)	0,7	0,6	0,7	0,6	0,90 ^{ns}	0,6	0,7	0,5	0,4	1,91 ^{ns}
Cu (mg dm ⁻³)	14,4	14,9	15,5	14,8	0,26 ^{ns}	13,9	15,4	14,4	12,8	1,21 ^{ns}
Fe (mg dm ⁻³)	57,8	73,8	81,2	79,8	1,63 ^{ns}	89,0	92,3	87,0	67,3	0,69 ^{ns}
Mn (mg dm ⁻³)	36,4	35,2	40,2	34,9	0,74 ^{ns}	50,4	49,3	46,1	38,0	1,17 ^{ns}
Zn (mg dm ⁻³)	33,2	33,3	33,0	32,8	0,02 ^{ns}	19,7	22,8	24,3	20,8	2,18 ^{ns}
Características físicas	Md	Cs	Cj	Control	F	Md	Cs	Cj	Control	F
Porosidad total	0,51	0,51	0,53	0,53	0,08 ^{ns}	0,52	0,52	0,53	0,53	0,22 ^{ns}
Macroporosidad	0,18	0,18	0,21	0,20	0,56 ^{ns}	0,18	0,20	0,22	0,20	0,50 ^{ns}
Microporosidad	0,33	0,33	0,32	0,32	0,43 ^{ns}	0,34	0,33	0,31	0,33	1,39 ^{ns}
Densidad (g cm ⁻³)	1,34	1,36	1,35	1,34	0,08 ^{ns}	1,43	1,50	1,39	1,42	1,58 ^{ns}

¹ suma de bases; ² capacidad de intercambio catiónico; ³ saturación de bases; ^{ns} no significativo a $P \leq 0,05$; * significativo a $P \leq 0,05$; Md: *M. deeringiana*; Cs: *C. spectabilis*; Cj: *C. juncea*.

no fueron alterados por esta práctica de manejo según Souza *et al.* (2015).

Las propiedades físicas del suelo no fueron influenciadas por los abonos verdes (Tab. 2), evidenciando que la mayor influencia de la técnica de los abonos verdes, a corto plazo, es la protección y la conservación de la

humedad del suelo (Villatoro, 2000). No son esperables cambios en la física del suelo producto de un solo ciclo de cultivo con abonos verdes. Silva *et al.* (2008) demostraron que algunas propiedades físicas del suelo como la humedad, macroporosidad, microporosidad y porosidad total no fueron influenciadas por los sistemas de manejo del suelo, caracterizados por cultivos

sucesivos de *C. juncea* y frijol, y el consorcio entre *Mucuna* y maíz seguido también del frijol. En otro trabajo, Nascimento *et al.* (2005), evaluando los efectos en la física del suelo de varios abonos verdes, entre ellos *C. juncea*, constataron que la densidad, la porosidad total, la arcilla dispersa en agua y la estabilidad de los agregados permanecieron inalteradas después de tres años de experimento.

Productividad del perejil

En ninguno de los experimentos hubo interacción significativa entre los abonos verdes y los cultivares de perejil (Tab. 3). La producción de masa fresca y seca de las hojas, tallos y total (parte aérea) aumentaron con el cultivo de los abonos verdes pero no difirieron significativamente entre sí en el primer experimento.

El área foliar del perejil fue superior en las áreas cultivadas con los abonos verdes *M. deeringiana* y *C. spectabilis* en relación al control. Bento *et al.* (2014) demostrando efectos benéficos de estos dos abonos verdes en la productividad de hortalizas de hoja, obtuvieron mayor producción de lechuga.

En el segundo experimento, los abonos verdes no afectaron las características estudiadas para los cultivares de perejil ‘Graúda Portuguesa’ y ‘Lisa Preferida’. Resultados semejantes fueron obtenidos por algunos autores como Fontanétti *et al.* (2006), donde los abonos verdes *Crotolaria juncea*, *Mucuna aterrima* y *Canavalia ensiformis* no presentaron un aumento de masa y de productividad para repollo y lechuga americana en relación al control. Para el caso de zanahoria plantada en suelos incorporados con *C. juncea*, fueron reportadas mayores productividades, sin embargo no se encontró

Tabla 3. Efecto de tres abonos verdes sobre la producción de masa fresca y seca en dos cultivares de perejil en dos experimentos (Piracicaba-SP, Brasil).

Experimento I							
Factor principal	Masa fresca (t ha ⁻¹)			Masa seca (kg ha ⁻¹)			AF (cm ²)
	Hoja	Tallo	Total	Hoja	Tallo	Total	
Abonos verdes (A)							
<i>M. deeringiana</i>	16,9 a	8,9 a	25,8 a	1575,8 a	635,4 a	2211,2 a	2403,5 a
<i>C. spectabilis</i>	15,2 a	7,9 a	23,1 a	1499,7 a	558,2 a	2057,9 a	2383,3 a
<i>C. juncea</i>	15,0 a	8,1 a	22,9 a	1430,3 a	564,8 a	1995,1 a	2128,0 ab
Control	9,8 b	5,1 b	14,9 b	1067,1 b	356,9 b	1424,0 b	1566,4 b
Cultivares de perejil (V)							
Graúda Portuguesa	14,8 a	7,6 a	22,4 a	1439,3 a	526,6 a	1965,8 a	2107,6 a
Lisa Preferida	13,6 a	7,4 a	20,9 a	1347,2 a	531,1 a	1878,3 a	2133,0 a
Interacción A X V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	22,37	27,86	23,94	20,9	23,16	20,51	26,04
Experimento II							
Abonos verdes (A)							
<i>M. deeringiana</i>	10,9 a	7,3 a	18,2 a	1127,6 a	524,8 a	1652,4 a	1536,0 a
<i>C. spectabilis</i>	12,7 a	7,9 a	21,6 a	1219,1 a	567,2 a	1786,3 a	1707,5 a
<i>C. juncea</i>	11,3 a	7,7 a	19,0 a	1079,8 a	484,0 a	1563,8 a	1503,6 a
Control	10,8 a	6,7 a	17,5 a	1089,4 a	444,5 a	1534,0 a	1511,1 a
Variedades (V)							
Graúda Portuguesa	11,1 a	7,7 a	18,8 a	1090,8 a	493,4 a	1584,2 a	1573,5 a
Lisa Preferida	11,8 a	7,6 a	19,4 a	1167,2 a	516,9 a	1684,0 a	1555,6 a
Interacción A X V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	22,8	28,15	24,44	19,79	24,2	20,2	17,10

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

significancia en relación a la fertilización convencional inorgánica (Bruno *et al.*, 2007). En plantas de frijol, el aumento de la productividad tampoco fue significativo en suelos cultivados con *M. aterrima* (Arf *et al.*, 1999). Los resultados obtenidos en el experimento II obedecen posiblemente al hecho de haber acumulado menor biomasa de los abonos verdes en relación al experimento I. Así, las condiciones no favorecieron para aumentar significativamente la productividad del perejil, aun siendo incorporada la biomasa de los abonos verdes antes de la siembra del perejil.

La otra posible justificación, es que la sincronía entre la liberación de nutrientes de los abonos verdes y los períodos de mayor demanda por nutrientes en las plantas de perejil puede no haber ocurrido. En el experimento II, las temperaturas más favorables que se registraron en los últimos 76 d de cultivo del perejil (acumulando más días fríos con temperaturas mínimas inferiores a 15°C, Fig. 1) pueden haber afectado la tasa de descomposición de los abonos verdes, consecuentemente la mineralización de los nutrientes y el patrón de crecimiento del perejil. La productividad de ese cultivo por efecto de los abonos verdes depende de factores abióticos como la temperatura, que afecta la tasa de crecimiento y de descomposición de los propios abonos verdes así como la tasa de crecimiento del propio perejil. Para Alcântara *et al.* (2000), citado por Santos *et al.* (2014), los efectos benéficos de los abonos verdes en la producción de plantas pueden ser influenciados por factores abióticos como la temperatura. Miyazawa *et al.* (2014) mencionan que fluctuaciones en las condiciones ambientales pueden también alterar los patrones de crecimiento y las interacciones entre especies vegetales.

CONCLUSIONES

El cultivo de abonos verdes de un único ciclo no fue suficiente para mejorar significativamente las características químicas y físicas del suelo, hecho corroborado en los dos experimentos realizados, aun realizando la incorporación de la materia orgánica en uno de esos ciclos. Por tanto, son necesarios más ciclos utilizando abonos verdes en el mismo suelo, así como los estudios pertinentes para confirmar mejoras en la fertilidad de los suelos, principalmente si los abonos verdes son incorporados en suelos no deficientes. Condiciones más favorables en el cultivo de los abonos verdes *M. deeringiana*, *C. spectabilis* y *C. juncea* benefició la producción de ambos cultivares de perejil solamente en el primer experimento, aumentando la biomasa

producida y el número total de atados que pueden ser comercializados. Nuevos estudios que consideren períodos de empleo de los abonos verdes más prolongados y en suelos de baja fertilidad serían útiles para confirmar los efectos benéficos de los abonos verdes aquí estudiados e intentar diferenciar algún abono verde en particular.

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

- Alcântara, F.A., A.E. Neto, M.B. Paula, H.A. Mesquita y J.A. Muniz. 2000. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. *Pesq. Agropec. Bras.* 35(2), 277-288. Doi: 10.1590/S0100-204X2000000200006
- Almeida, D. 2006. Manual de culturas hortícolas. Vol. 1. 3ª ed. Editorial Presença, Lisboa, Portugal.
- Almeida M.M., A. Lixa, E. Silva, P.H. Azevedo, H. Polli y R. Ribeiro. 2008. Fertilizantes de leguminosas como fontes alternativas de nitrogênio para produção orgânica de alface. *Pesq. Agropec. Bras.* 43(6), 675-682. Doi: 10.1590/S0100-204X2008000600002
- Arf, O., L.S. Silva, S. Buzetti, M.C. Alves, M.E. Sá, R.A. Rodrigues y F. Hernández. 1999. Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. *Pesq. Agropec. Bras.* 34(11), 2029-2036. Doi: 10.1590/S0100-204X1999001100008
- Bento, T., M.A. Carvalho y W. Gervazio. 2014. Adubação verde e sistemas de cultivo na produção orgânica de alface. *Cad. Agroecol.* 9(4), 1-12.
- Bruno, R.S., J. Viana, V.F. Silva, G.B. Bruno y M.F. Moura. 2007. Produção e qualidade de sementes e raízes de cenoura cultivada em solo com adubação orgânica e mineral. *Hortic. Bras.* 25, 170-174. Doi: 10.1590/S0102-05362007000200008
- Calegari, A., P.B. Alcântara, S. Muyasaka y T.J.C. Amado. 1993. Caracterização das principais espécies de abonos verdes. pp. 206-319. En: Costa, M.B. (ed.). Adubação verde no sul do Brasil. 2ª ed. Asses e Serv a Proj em Agricultura Alternat (AS-PTA), Rio de Janeiro, Brasil.
- Carlos, J.A., J.A. da Costa y M.P. da Costa. 2006. Adubação verde: do conceito à prática. Série Produtor Rural 30. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba-SP, Brasil.
- Carvalho, M.A., R. Soratto, M.L. Athayde, O. Arf y M. Sá. 2004. Produtividade do milho em sucessão a

- abonos verdes no sistema de plantio direto e convencional. *Pesq. Agropec. Bras.* 39(1), 47-63. Doi: 10.1590/S0100-204X2004000100007
- Cavalcante, V.S., V.R. Santos, A.L. Neto, M.A.L. Santos, C.G. Santos y L.C. Costa. 2012. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 16(5), 521-528. Doi: 10.1590/S1415-43662012000500008
- Cobo, J.G., E. Barrios, D.C.L. Kass y R.J. Thomas. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in tropical hillside agroecosystem. *Plant Soil* 240, 331-342. Doi: 10.1023/A:1015720324392
- Espindola, J.A., J.G. Guerra y D. Almeida. 2005. Uso de leguminosas herbáceas para adubação verde. pp. 435-451. En: Aquino, A.M. y Assis, R.L. (eds.). *Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável*. EMBRAPA, Brasília-DF, Brasil.
- Favaretto, N., A. Moraes, A.C. Motta y B.M. Prevedello. 2000. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na fertilidade do solo e nas características da palhada. *Pesq. Agropec. Bras.* 35(2), 289-297. Doi: 10.1590/S0100-204X2000000200007
- Fontanétti, A., G.J. Carvalho, L.A. Gomes, K. Almeida, S.R. Moraes y C. Teixeira. 2006. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. *Hortic. Bras.* 24, 146-150. Doi: 10.1590/S0102-05362006000200004
- Heredia, N.A., M.C. Vieira, J. Rech, A. Quast, B.C.A. Pontim y R.P. Gassi. 2008. Yield and gross income of arracacha in monocrop and intercropping with the Japanese bunching onion and parsley. *Hortic. Bras.* 26, 287-291. Doi: 10.1590/S0102-05362008000200032
- Jia, H., W. Aw, M. Hanate, S. Takahashi, K. Saito, H. Tanaka, M. Tomita y H. Kato. 2014. Multi-faceted integrated omics analysis revealed parsley (*Petroselinum crispum*) as a novel dietary intervention in dextran sodium sulphate induced colitic mice. *J. Funct. Foods* 11, 438-448. Doi: 10.1016/j.jff.2014.09.018
- Koike, S.T., N. Nichole, J. Wolf, P. Van Berkump y O. Dauvovich. 2013. Stemphylium leaf spot of parsley in California caused by *Stemphylium vesicarium*. *Plant Dis.* 97(3), 315-322. Doi: 10.1094/PDIS-06-12-0611-RE
- Mangaravite, J.C., R. Passos, F. Andrade, D. Burak y E. Mendonça. 2014. Phytomass production and nutrient accumulation by green manure species. *Rev. Ceres* 61(5), 732-739. Doi: 10.1590/0034-737X201461050017
- Miyazawa, K., M. Takeda, T. Murakami y T. Murayama. 2014. Dual and triple intercropping: potential benefits for annual green manure production. *Plant Prod. Sci.* 17(2), 194-201. Doi: 10.1626/ppls.17.194
- Myers, R.J.K., C.A. Palm, E. Cuevas, I.U.N. Gunatilleke y M. Brossard. 1994. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. pp. 81-116. En: Woomer, P.L. y M.J. Swift (eds.). *The biological management of tropical soil fertility*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Nascimento, J., I. Silva, R. Santiago y L.F. Neto. 2005. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 29, 825-831. Doi: 10.1590/S0100-06832005000500018
- Santos, R.A., P.T. Carneiro, V.R. Santos, L.C. Costa, C.G. Santos y A.S. Neto. 2014. Crescimento de leguminosas utilizadas na adubação verde em diferentes níveis de sais na água de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 18(12), 1255-1261. Doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1255-1261
- Sharifi, M., D.H. Lynch, A. Hammermeister, D.L. Burton y A.J. Messiga. 2014. Effect of green manure and supplemental fertility amendments on selected soil quality parameters in an organic potato rotation in Eastern Canada. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 100, 135-146. Doi: 10.1007/s10705-014-9633-x
- Silva, M.G., O. Arf, M.C. Alves y S. Buzetti. 2008. Sucessão de culturas e sua influência nas propriedades físicas do solo e na produtividade do feijoeiro de inverno irrigado em diferentes sistemas de manejo do solo. *Bragantia* 67(2), 335-347. Doi: 10.1590/S0006-87052008000200009
- Smolinska, U., B. Kowalska, W. Kowalczyk y M. Szczech. 2014. The use of agro-industrial wastes as carriers of *Trichoderma fungi* in the parsley cultivation. *Sci. Hortic.* 179, 1-8. Doi: 10.1016/j.scienta.2014.08.023
- Souza, J.L., G.P. Guimarães y L.F. Favarato. 2015. Desenvolvimento de hortaliças e atributos do solo com adubação verde e compostos orgânicos sob níveis de N. *Hortic. Bras.* 33, 19-26. Doi: 10.1590/S0102-053620150000100004
- Souza, J.L. y P. Resende. 2006. *Manual de horticultura orgânica*. 2ª ed. Aprenda Fácil, Viçosa-MG, Brasil.
- Talgre, L., E. Lauringson, H. Roostalu, A. Astover y A. Makke. 2012. Green manure as a nutrient source for succeeding crops. *Plant Soil Environ.* 58(6), 275-281. Doi: 10.17221/22/2012-PSE
- Villatoro, M.A. 2000. Contribuição da adubação verde como fonte de nitrogênio para as culturas de milho e sorgo. Tesis de maestría. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
- Wutke, E.B., E.J. Ambrosiano, L.F. Razera, P.F. Medina, L.H. Carvalho y H. Kikuti. 2007. Bancos comunitários de sementes de adubos verdes: informações técnicas. MAPA, Brasília-DF, Brasil.
- Wutke, E.B., P.E. Trani, E.J. Ambrosiano y M.I. Drugowich. 2009. Adubação verde no estado de São Paulo. *Boletim Técnico* 249. CATI, Campinas-SP, Brasil.
- Ye, X., H. Liu, Z. Li, Y. Wang, Y. Wang, H. Wang y G. Liu. 2014. Effects of green manure continuous application on soil microbial biomass and enzyme activity. *J. Plant Nutr.* 37, 498-508. Doi: 10.1080/01904167.2013.867978

Efecto del nitrógeno y el potasio sobre el intercambio gaseoso y la distribución de biomasa en albahaca (*Ocimum basilicum* L.)

Effect of nitrogen and potassium on gaseous exchange and biomass distribution in basil (*Ocimum basilicum* L.)

ENRIQUE COMBATT C.^{1,2}
DAIRO JAVIER PÉREZ P.¹
ALFREDO JARMA-OROZCO¹



Plantas del estudio con nutrientes N y K en albahaca.

Foto: J. Villalba A.

RESUMEN

La albahaca es considerada una planta promisoriosa de reciente explotación en Colombia, pero entre las limitaciones para su expansión, se encuentra la implementación de un plan de nutrición con la aplicación de nitrógeno y potasio, que permita el incremento y sostenibilidad de la producción. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la fertilización con nitrógeno y potasio sobre variables de intercambio gaseoso, ganancia de biomasa e índice de cosecha (IC) de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) cv. Nufar F1. La investigación fue realizada en condiciones de umbráculo en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba, Colombia. Se utilizó una matriz Box-Berard aumentada 3 ($2^k+2k+2k+1+1$), para la obtención de combinaciones de nitrógeno y potasio. Las respuestas de intercambio gaseoso evaluadas fueron: tasa de fotosíntesis, conductancia estomática y concentración interna de CO_2 . En cuanto a biomasa, se evaluó masa seca de raíz, tallo, hoja e índice de cosecha. Los resultados más relevantes indicaron que las máximas tasas de fotosíntesis ($17,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) fue observada aplicando $190 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ y $12,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$, en tanto que la conductancia estomática fue mayor ($65,13 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), con la misma dosis de N pero con dosis de K de $237,5 \text{ kg ha}^{-1}$. Los valores más altos de masa seca de raíces, tallos y hojas fueron encontradas con las máximas dosis de N (190 kg ha^{-1}), aunque para el potasio las combinaciones que incrementaron la mayor acumulación de biomasa en raíces, tallos y hojas fueron $180,69$; $237,5$ y $12,5 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente.

Palabras clave adicionales: nutrición mineral, plantas medicinales, variables fisiológicas, masa seca.

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agronómica y Desarrollo Rural, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia). ORCID Combatt C., E.: 0000-0002-8760-0089; ORCID Pérez P., D.J.: 0000-0001-9041-5856; ORCID Jarma-Orozco, A.: 0000-0002-5821-2183

² Autor para correspondencia. ecombatt@correo.unicordoba.edu.co.

ABSTRACT

Basil is considered a promising plant of recent exploitation in Colombia, but among the limitations for its expansion, counts the implementation of a nutrition plan with the application of nitrogen and potassium, which result in increased and sustainable production. The objective was to evaluate the effect of nitrogen and potassium on the gaseous exchange variables and biomass gain and harvest index (HF) of a basil crop, hybrid Nufar F. This research was carried out under greenhouse conditions in the Faculty of Agricultural Sciences of the University of Córdoba, Colombia. In order to optimize the response variables, a Box Bernard matrix was used, increased to 3 (2k + 2k + 2k + 1 + 1) to obtain the combinations of nitrogen and potassium necessary for this research. Among the gaseous exchange variables evaluated were: the rate of photosynthesis, the stomatal conductance and the internal CO₂ concentration. As for the biomass, the dry mass of the roots, stem, and leaves and the harvest index were evaluated. The most relevant results indicated that the maximum rate of photosynthesis (17.3 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) was observed when applying 190 kg ha⁻¹ N and 12.5 kg ha⁻¹ K, while the stomatal conductance was higher (65.13 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹) with the same dose of N but with doses of 237.5 kg ha⁻¹ of K. The highest value of the dry mass of the roots, stem and leaves was found with the maximum dose of N (190 kg ha⁻¹) although, for potassium, the combinations that promoted the highest accumulation of biomass were differential for the roots, stem and leaves (180.69, 237.5 and 12.5 kg ha⁻¹, respectively).

Additional key words: mineral nutrition, medicinal plants, physiological variables, dry mass.

Fecha de recepción: 16-05-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta aromática y medicinal compuesta por altos contenidos de aceites esenciales tales como monoterpenos, sesquiterpenos y sus análogos oxigenados, presentes en bajas concentraciones (Búfalo *et al.*, 2015), utilizada en elaboración de alimentos, fármacos y perfumes; además es usada en medicina tradicional y en otras costumbres populares de las regiones productoras (Pacheco y Jürgen, 2005). Según Koba *et al.* (2009), las hojas frescas y secas de albahaca se utilizan como aromáticas, aceites esenciales, y sus componentes principales también se utilizan como fármacos vegetales, ya que tiene actividad antimicrobiana y fungistática.

La albahaca y otras especies aromáticas son cultivos promisorios de reciente explotación en Colombia, consideradas recursos genéticos de gran potencial económico, los cuales cada vez más atraen nuevos inversionistas por su reciente entrada y comercialización a mercados internacionales. En la actualidad las principales áreas se encuentran en los departamentos de Putumayo y Boyacá (20 ha cada uno), Cundinamarca (9 ha) y Tolima (8 ha), con rendimientos promedio de 20, 27, 24 y 19 t ha⁻¹ (Agronet, 2017). Según Zheljzkov *et al.* (2008), la albahaca dulce (*O.*

basilicum) es una de las especies considerada como promisorias para el aprovechamiento industrial de su aceite esencial, dado que posee una producción mundial estimada en 43 t de aceite albahaca al año con un valor de 2,8 millones de US\$.

Debido al reciente incremento en la explotación y expansión del cultivo en Colombia, se ha evidenciado que existen serias limitaciones para que el rendimiento esté acorde con los requerimientos de calidad exigidos por los mercados internacionales. Lo anterior puede ser una consecuencia de las diversas y deficientes tecnologías de manejo, entre ellas la aplicación de dosis de nutrientes o elementos químicos esenciales, que contribuyan a la producción de volúmenes constantes y de altos estándares de calidad (Bonilla y Guerrero, 2010).

En términos generales, la utilización eficiente de nitrógeno y potasio, es una meta esencial en el manejo de los cultivos (Patil, 2010); los estudios de nutrición deben estar dirigidos al establecimiento de la relación entre el suministro de nutrientes y el crecimiento de las plantas en términos de producción de materia seca (Marschner, 2002) y eficiencia fotosintética.

Un aspecto importante en la nutrición mineral, cuya deficiencia afecta la cantidad y calidad del rendimiento en albahaca, y en muchos cultivos, son los niveles de fertilización nitrogenada y potásica, entre otras. Matsumoto *et al.* (2013), verificaron que existe interacción entre N y K en el incremento del área foliar; los autores indican que, aplicaciones elevadas de N y bajas de K, incrementaron de manera importante el área foliar, en tanto que al aumentar la dosis de estos dos elementos, no se observó un incremento en esta variable. Biesiada y Kuś (2010), en un estudio sobre nutrición en albahaca encontraron altas cantidades de P y Mg foliar, con la aplicación edáfica de 150 kg ha⁻¹ de N, mientras que altas cantidades de K y Ca fueron verificados con 250 kg ha⁻¹ de este mismo elemento. Por su parte, Sifola y Barbieri (2006), indican que la fertilización nitrogenada correlaciona directamente con el crecimiento, rendimiento y contenido de aceite esencial de albahaca.

Pereyra (2001), indica que la constitución estructural de los aminoácidos no sólo está dada por el requerimiento de esqueletos carbonados sintetizados en la fotosíntesis para la incorporación del amonio, sino también debido a la dependencia de algunas reacciones del metabolismo del nitrógeno de ATP y NADPH, producido en la fotosíntesis. Por otra parte, en los tejidos no fotosintéticos, los requerimientos energéticos son obtenidos por la degradación de los azúcares transportados desde las hojas.

Según Taiz y Zeiger (2006), el potasio (K⁺) funciona como activador de enzimas esenciales para la fotosíntesis y la respiración, además es uno de los contribuyentes más importantes del potencial osmótico de las células y por consiguiente, a su presión de turgencia, siendo fundamental en el balance de las cargas negativas de ácidos orgánicos y de aniones tales como el sulfato y nitrato, absorbidos por las raíces del medio externo y manteniendo la electro-neutralidad de las células.

Actualmente no existen reportes de dosis óptimas de fertilización con N y K⁺ en cultivos de albahaca bajo la oferta ambiental del Sinú en Córdoba, Colombia. Esta situación limita la expresión del máximo potencial en rendimiento y aumenta su susceptibilidad a plagas y enfermedades, lo que finalmente incide en la producción de hojas de baja calidad, que no cumplen con los estándares de comercialización exigidos por mercados internacionales. Además los ingresos y competitividad de este cultivo son bajos, lo que compromete su sostenibilidad y la posibilidad de

mejora de calidad de vida de los medianos y pequeños productores.

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del N y K sobre algunos aspectos de intercambio gaseoso y distribución de biomasa en albahaca establecida bajo condiciones controladas, con el propósito de construir conocimiento para incrementar la productividad de la especie y ofrecer alternativas de producción al sector agrícola del departamento de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue realizada bajo condiciones controladas en casa de vegetación del Centro Experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba, ubicada en Montería, Colombia (8°48' N y 78°53' W), clasificación climática de Bosque seco tropical (BsT), con promedio anual de temperatura de 27,4°C, precipitación de 1.346 mm año⁻¹, 85% de humedad relativa y 2.108 h luz por año (Palencia *et al.*, 2006).

Se utilizó una matriz Box-Berard aumentada 3 (Box, 1954), definida por la siguiente expresión: 2k+2k+2k+1+1, en donde k corresponde al número de factores involucrados (Tab. 1); se obtuvieron catorce (14) tratamientos, mediante la combinación de siete dosis de nitrógeno (10; 25; 50; 100; 150; 175 y 190 kg ha⁻¹) y siete de potasio (12,5; 31,25; 62,5; 125; 187,5; 218,8 y 237,5 kg ha⁻¹). Se usó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial parcial y tres repeticiones.

Cada unidad experimental fue constituida por una planta del híbrido Nufar F1 establecida en una maceta de 6 kg de capacidad, que contenía un suelo de textura arcillo limosa, típico del Valle del Sinú medio, con las siguientes características químicas: 6,6 de pH; CICE 21,9 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹; materia orgánica 3,96%; azufre y fósforo disponible con 10,4 y 12,6 mg kg⁻¹, además 13,2; 7,9; 0,55 y 0,20 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ de Ca, Mg, K y Na, respectivamente. Los micronutrientes Cu, Fe, Zn, Mn y B se encontraron en cantidades de 2,8; 27,2; 4,0; 60,8; y 0,28 mg kg⁻¹, respectivamente.

La fertilización fue realizada a través de la aplicación de soluciones nutritivas de N, K y elementos menores (B, Zn, Cu, Mn y Mo). El N fue suministrado en forma de NH₄ y fraccionado en tres partes iguales a los 10, 44 y 77 días después del trasplante. El K fue

Tabla 1. Combinación de dosis de nitrógeno y potasio aplicadas en albahaca, obtenidas con la matriz Box-Berard aumentada 3: 2k+2k+2k+1+1.

Tratamiento	Variables codificadas		Nutriente (kg ha ⁻¹)		Expresión
	X ₁	X ₂	N	K	
1	-1	-1	50	62,5	2k
2	-1	1	50	187,5	
3	1	-1	150	62,5	
4	1	1	150	187,5	
5	-1,5	0	25	125	2k
6	1,5	0	175	125	
7	0	-1,5	100	31,25	
8	0	1,5	100	218,8	
9	-1,8	-1	10	62,5	2k
10	-1	-1,8	50	12,5	
11	1,8	1	190	187,5	
12	1	1,8	150	237,5	
13	0	0	100	125	1*
14	-1,8	-1,8	10	12,5	1*

*Tratamiento adicional.

aplicado en forma de KCl y fraccionado en dos aplicaciones iguales, las cuales coincidieron con la primera y segunda fertilización de N. Con el fin de evitar deficiencias nutricionales que pudieran influir sobre la respuesta de N y K, se realizó una aplicación uniforme de P fraccionada en dos partes iguales, la primera un día antes del trasplante y la segunda con el 50% de la solución de micronutrientes; la segunda aplicación de micronutrientes se realizó con la segunda fertilización de N y K.

En el período de cosecha (inicio de floración), se evaluaron variables de intercambio gaseoso: fotosíntesis neta (P_n), concentración interna de CO₂ en la cámara subestomática (C_i) y la conductancia estomática (g_s). Las mediciones fueron realizadas con un Analizador de Gases al Infrarrojo (IRGA) modelo CIRAS 2 (PP Systems, Hitchin, UK), tomando la quinta hoja en sentido descendente (sana y fotosintéticamente activa); las lecturas fueron realizadas entre las 9:00 y 11:00 am utilizando estándares de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) en 1.000 μ moles de fotones m⁻² s⁻¹ y concentración de CO₂ en 350 ppm.

La cuantificación de biomasa de raíces, tallos y hojas, se realizó al momento de la cosecha sometiendo las

muestras a 72°C durante 3 d; el área foliar se determinó con el software libre ImageJ (versión 1.45).

Los efectos de los tratamientos fueron evaluados con ecuaciones de regresión lineal múltiple en función de N y K, mediante las cuales se determinaron las dosis óptimas de estos elementos y la máxima respuesta de las variables. Las ecuaciones de regresión se determinaron con el programa R v. 3.2.2 (R Development Core Team, 2015), las cuales fueron seleccionadas en función de la significancia de los coeficientes de los parámetros de las ecuaciones y del coeficiente de determinación (R^2), además de su funcionalidad entre las dosis de nutrientes aplicados; asimismo, fueron representados en superficies de respuesta para mejorar su análisis e interpretación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fotosíntesis y conductancia estomática.

Los máximos valores de la P_n y g_s , fueron explicadas por modelos de regresión de segundo orden (Tab. 2), observando un importante efecto de las altas dosis de N en ambas respuestas, en tanto que altas dosis de K fueron más importantes para la conductancia. Lo anterior confirma la fuerte relación entre la asimilación del carbono y el N. Según Azcón-Bieto y Talón (2008), la albahaca, que pertenece al grupo de plantas de fotosíntesis tipo C3, requiere de una alta cantidad de N para aumentar la concentración de ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa-oxigenasa (rubisco) en las hojas, principalmente como consecuencia de un incremento de la proteína soluble y el nitrógeno total y así mantener altas tasas de P_n .

Por otra parte, Pessaraki (2001), reporta que existe una correlación positiva entre la P_n y el contenido de N en la hoja y que la rubisco y otras enzimas de asimilación del CO₂ y del metabolismo de carbohidratos, hacen más efectiva la captación de energía lumínica. En ese sentido, Pereyra (2001) resalta la evidente relación entre el N y la regulación de la actividad y síntesis de las enzimas del metabolismo del carbono. La autora indica que la luz no solo afecta la fotosíntesis sino que también controla la expresión de la nitrato reductasa (NR), nitrato reductasa (NiR) y la sacarosa fosfato sintetasa (SPS), de tal manera que la acumulación de los productos finales de la fotosíntesis aumentan la actividad de estas enzimas, existiendo un rápido ajuste del ritmo de reducción del nitrato

a fluctuaciones en la disponibilidad de carbohidratos, regulando en definitiva, los flujos del carbono (P_n y g_s) y nitrógeno en las células vegetales.

En cuanto al K, aunque en este trabajo se observó un mayor efecto de este elemento sobre la g_s respecto a la P_n , es importante mencionar que este mineral es esencial para la activación y síntesis de ATP y proteínas asociadas con la fijación del CO_2 y que, cantidades considerables en los estomas permiten mantener altas tasas de P_n , debido a la regulación de su apertura y la reducción de los niveles de ácido abscísico en la planta, permitiendo mayores tasas de g_s (Marschner, 2002; Mejía, 2010). Consecuentemente con lo anterior Barker y Pilbeam (2007), reportaron que incrementos en la asimilación de CO_2 , acompañados de un decrecimiento en la respiración mitocondrial, fueron correlacionados con incrementos en la concentración de K en la hoja. Los autores indican además que el estado energético de la planta está estrechamente relacionado con el transporte de iones K a través de las membranas del cloroplasto y la mitocondria y que este elemento tiene una influencia favorable sobre la fotorreducción y la fotofosforilación.

Con base en la respuesta de la g_s , se encuentra en función de altas dosis de N y K (Tab. 2). De acuerdo con el modelo de regresión $\hat{Y} = 89,5217 - 0,7813N^{**} + 0,1634K + 0,0049N^{2**} - 0,0016NK^*$, se determinó que, para llegar al máximo valor de la g_s en albahaca ($65,13 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), se necesitan 190 y $237,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N y K, respectivamente. En ese sentido, Jákli *et al.* (2017) indican que con frecuencia la g_s se reduce bajo deficiencia de K; sin embargo, los autores indican que algunos estudios cuestionan la causalidad directa entre la deficiencia de K y el cierre estomático. Por lo tanto, una disminución de la g_s no reflejaría necesariamente una baja capacidad para el control de apertura y cierre estomático, pero podría ser el resultado de un ajuste de los estomas a la reducción de la utilización de CO_2 por la fotosíntesis.

En relación a la concentración interna de CO_2 (C_i) en la cámara subestomática, se encontró que esta concentración depende en mayor proporción de los niveles de potasio respecto a los de nitrógeno (Fig. 1); la C_i se incrementó significativamente con las dosis de K hasta su punto de saturación, lo cual fue explicado por el modelo $\hat{Y} = 45,4173 - 0,3693N + 1,2429K - 0,0049K^2$ ($R^2 = 49,41\%$). Mediante esta ecuación se determinó que la dosis máxima de potasio para encontrar la máxima C_i en albahaca fue de $127,02 \text{ kg ha}^{-1}$, en tanto que para el N, las más altas C_i ($120,54 \text{ ppm de CO}_2$), se observaron con dosis de 10 kg ha^{-1} . En esta figura también se observa que existe una relación inversamente proporcional entre la dosis de N y la C_i , lo que podría explicarse por la mayor actividad de rubisco con las altas dosis de N que agotarían rápidamente la C_i ; asimismo se encontró que dosis intermedias de potasio incrementan la concentración interna de CO_2 , resultados que confirman que la nutrición con K contribuye con la asimilación del CO_2 , tal como lo reportan Azcón-Bieto y Talón (2008).

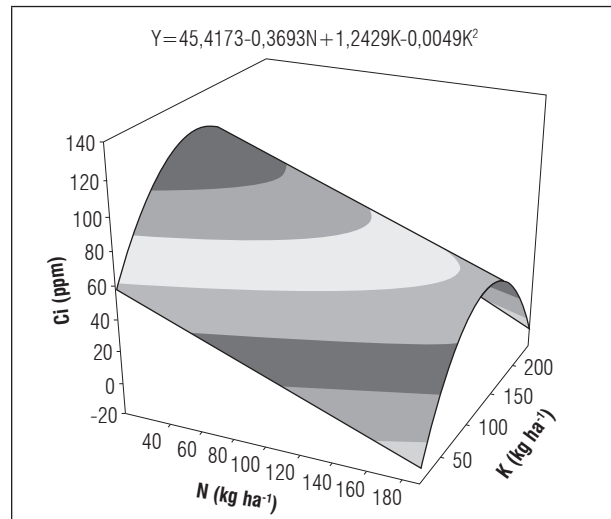


Figura 1. Concentración interna de CO_2 (C_i) en función de las dosis de N y K en el cultivo de albahaca.

Tabla 2. Modelos de regresión y máxima respuesta de la fotosíntesis (P_n) y la conductancia estomática (g_s) de albahaca (*O. basilicum*) en función de las dosis óptimas de N y K.

Variable	Modelo de regresión	R^2	CV (%)	Dosis (kg ha^{-1})		Máxima respuesta
				N	K	
P_n	$\hat{Y} = 16,2761 - 0,1254N^{**} - 0,0334K + 0,0007N^{2**} + 0,0001K^2$	0,40	22,49	190	12,50	$17,31 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
g_s	$\hat{Y} = 89,1 - 0,7813N^{**} + 0,1634K + 0,0049N^{2**} - 0,0016NK^*$	0,41	20,21	190	237,5	$65,13 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

*: significativo al 5%; **: altamente significativo al 1%.

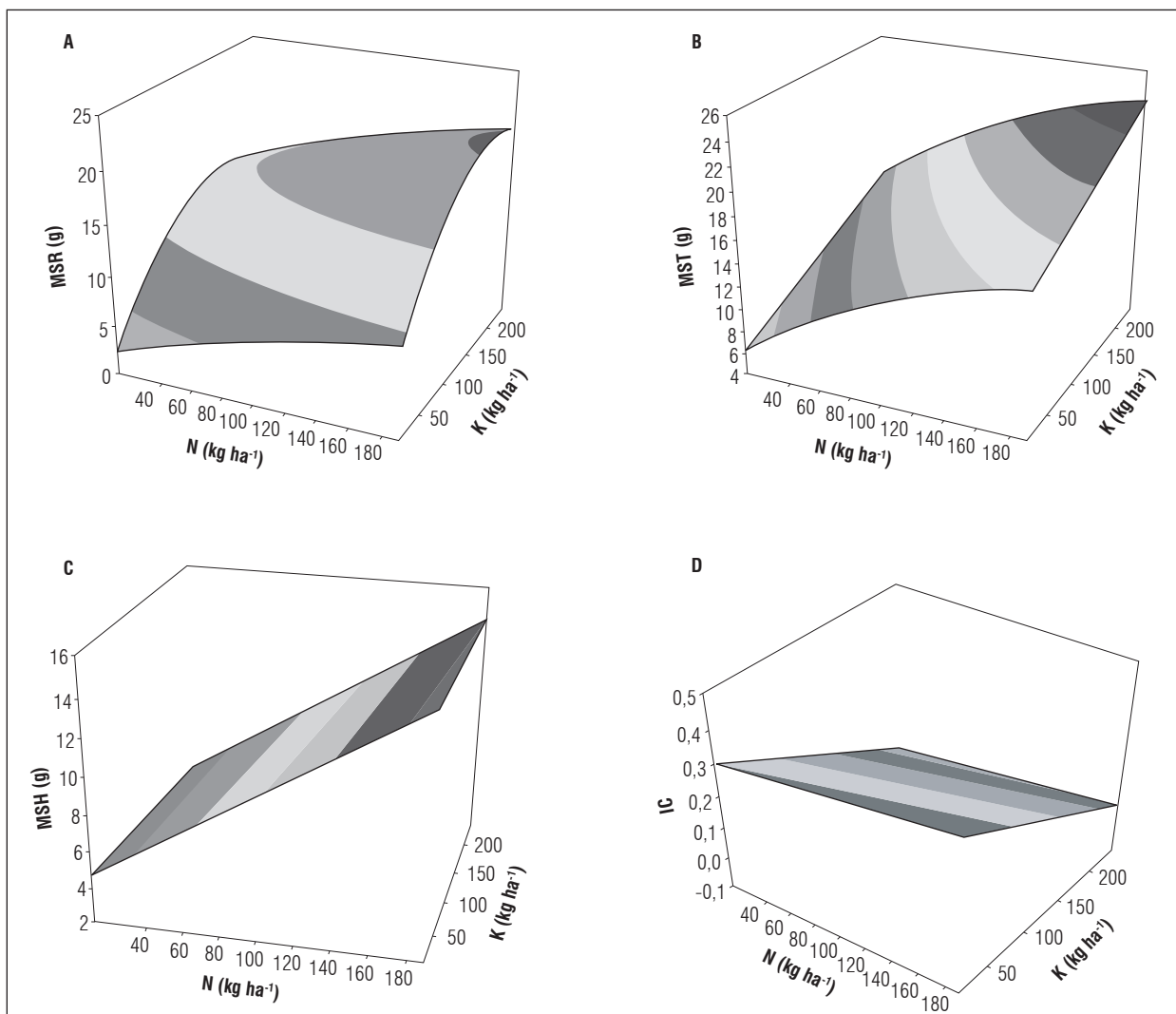


Figura 2. Superficie de respuesta de la biomasa de masa seca de raíz-MSR (A), tallo-MST (B), hojas-MSH (C) e índice de cosecha-IC (D), en función de la aplicación de dosis de N y K en el cultivo de albahaca.

Respecto a la masa seca de raíces, tallos, hojas e índice de cosecha, se pudo determinar que estas respuestas se ajustaron a ecuaciones de segundo orden, generalmente explicadas por el incremento significativo en ganancia de masa seca en la medida que se presentaron aplicaciones crecientes de N y K (Fig. 2). El K junto al N y P, son conocidos como los “tres factores esenciales” de la nutrición mineral de las plantas (Hu *et al.*, 2016). Robertson *et al.* (2009), explican que para plantas medicinales, es necesario conocer los niveles óptimos de fertilización que permitan proveer suficiente N a la planta para maximizar su crecimiento, rendimiento y cantidad de compuestos benéficos para la salud humana.

Los resultados del presente trabajo no sorprenden si se considera la estrecha relación sinérgica de estos elementos; una deficiencia de K podría afectar significativamente el metabolismo del N, especialmente el metabolismo de aminoácidos y proteínas. Wang *et al.* (2012), indican que el metabolismo del N es determinante en el metabolismo de la planta y que se ha observado que las deficiencias de K causan una sustancial reducción en la asimilación del N y reducen la asimilación radicular del NO_3^- . Se ha demostrado que el suministro de K aumenta la absorción del NO_3^- en raíces, así como el transporte desde la raíz hasta el dosel, por lo que es necesario centrarse en el efecto que la deficiencia de K ejerce sobre el metabolismo de

N en la hoja y en general en la planta, y no sólo en la raíz (Hu *et al.*, 2016).

Masa seca de raíz (MSR)

La respuesta de la MSR, fue explicada por una tendencia positiva creciente a la dosis de N, independientemente de la dosis de K; se evidenció la máxima respuesta con niveles de N y K de 190 y 180,69 kg ha⁻¹, respectivamente, para obtener un rendimiento de 20,67 g de biomasa radicular por planta (Fig. 2A). El modelo que explicó esta tendencia fue $\hat{Y} = -0,1699 + 0,0583N + 0,1444K^{**} - 0,0001N^2 - 0,0004K^{2**}$ ($R^2 = 75,06\%$). El efecto de la aplicación de N sobre el crecimiento de las raíces es poco entendido, pero, tal como se discutió anteriormente, es evidente el mayor crecimiento de estas cuando el nitrógeno no es limitante, lo que además podría explicarse por la proliferación de raicillas (datos no mostrados), o el aumento en la longitud radical en la zona de aplicación del fertilizante, lo que potenciaría la absorción de otros elementos en horizontes más profundos del suelo.

Masa seca del tallo

La masa seca del tallo (MST) se incrementó positivamente conforme aumentaron las dosis de N y K; el modelo de regresión $\hat{Y} = 4,8714 + 0,0974N + 0,0308K - 0,0002N^2$ ($R^2 = 79,00$), indica que la máxima ganancia de MST se presentó con las aplicaciones de 190 kg ha⁻¹ de N y 237,5 kg ha⁻¹ de K (Fig. 2B). Estos resultados coinciden con los reportes de Cenóz y Burgos (2005), quienes al evaluar dosis entre 150 y 300 kg ha⁻¹ de N en forma de triple 15 en albahaca, obtuvieron las mayores ganancias de biomasa de tallo cuando el suministro del fertilizante fue mayor. Como se mencionó, la ganancia de biomasa en el tallo de las plantas sometidas a las mayores dosis de N y K, podría ser una consecuencia del efecto sinérgico de estos elementos. Sharafzadeh y Alizadeh (2011) verificaron una mayor acumulación de masa seca de brotes de albahaca cuando fueron aplicadas dosis altas de NPK con 150, 100 y 100 kg ha⁻¹, respectivamente. Barker y Pilbeam (2007), indican que el K es requerido en grandes cantidades por la planta por su papel fundamental en la traslocación de fotoasimilados y en el incremento de la turgencia de las células, lo que genera presión para el crecimiento de tallos y hojas, influenciando finalmente el rendimiento y la calidad final. Por su parte, Sifola y Barbieri (2006) al evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la cantidad y calidad de aceites esenciales en albahaca, encontraron una relación positiva entre el N y estas dos respuestas, lo

que atribuyeron al aumento en la cantidad de biomasa por unidad de superficie, al desarrollo del área foliar y el aumento de la tasa fotosintética.

Masa seca de hojas (MSH)

La máxima ganancia de MSH está asociada principalmente con las aplicaciones de N y el modelo que explicó esta tendencia fue $\hat{Y} = 4,1226 + 0,0568N^{**} - 0,0032K + 0,00001K^2$ ($R^2 = 84,87\%$), mediante el cual se encontró que la dosis máxima aplicada de N con 190 kg ha⁻¹ y mínima de K con 12,5 kg ha⁻¹, son las que influyen en los máximos rendimientos de esta variable con 14,87 g (Fig. 2C). Estos resultados son contrarios a los reportados por Jaćimović *et al.* (2010), quienes no encontraron efecto del aumento de las dosis de N en la ganancia de masa seca de hoja en albahaca dulce, pero similares a los encontrados por Nurzyńska-Wierdak *et al.* (2012) quienes no encontraron ningún efecto significativo de la dosis de potasio sobre las características biométricas examinadas en las plantas de albahaca.

La alta demanda de N se explica por la función que cumple este elemento en las hojas, ya que de acuerdo a Pessaraki (2001), es indispensable para el desarrollo del aparato fotosintético, a través de enzimas, pigmentos y otros componentes requeridos para incrementar la capacidad asimilatoria de la planta, la cual es retribuida por una mayor intercepción de luz y fotosíntesis de dosel, lo que conlleva a mayores tasas de crecimiento y rendimiento.

Las respuestas variables del K podrían explicarse por su efecto sobre el metabolismo de proteínas y aminoácidos que al parecer, dependen del tipo de planta (Hu *et al.*, 2016); algunos autores indican que este metabolismo está conectado con la actividad cambiante de la nitrato reductasa (NR) (Wang *et al.*, 2012) y la glutamina sintetasa (GS) (Ding *et al.*, 2006) ante deficiencias de K.

Los resultados encontrados en esta investigación, se aproximan a los reportes de Matsumoto *et al.* (2013) en *O. basillicum*, quien encontró que la masa seca aérea en función del N mostró una tendencia cuadrática, donde dosis de N cercanas a los 70 kg ha⁻¹ produjeron hasta 35 g por planta. Según reportes de Cenóz y Burgos (2005), en *O. basillicum*, las mayores ganancias de biomasa se obtienen con dosis de 150 a 300 kg ha⁻¹ de N en forma de triple 15; Golcz *et al.* (2006) en un estudio sobre fertilización en el cultivo de albahaca dulce, indicaron que dosis intermedias de

N/planta ($1,2 \pm 0,6$ g), resultan en una mayor nivel de clorofila foliar y mayores tasas de fotosíntesis; por su parte Nguyen *et al.* (2010), demostraron que los cambios en el nivel de potasio afectan significativamente la composición de los fenoles y la capacidad antioxidante de las hojas de albahaca.

Índice de cosecha (IC)

Consecuentemente con lo observado en las hojas, los altos IC se observaron con aplicaciones elevadas de N y bajas de K, los cuales fueron determinados por el modelo estadístico $\hat{Y} = 0,3171 + 0,0005N^{**} - 0,0015K^{**} + 0,0000K^{2**}$ ($R^2=54,17\%$), con dosis de N y K de 190 y 12,5 kg ha⁻¹, respectivamente (Fig. 2D). Estos resultados difieren del descrito por Rincón (2002) en el cultivo de lechuga icelberg, quien indica que el IC se reduce en la medida que se incrementan las dosis de N especialmente por encima de dosis superiores a 100 kg ha⁻¹. Según Malik *et al.* (2011), la plantación de hierbas medicinales bajo manejo integrado de fertilizantes orgánicos o inorgánicos, es la mejor estrategia actual que pueden emplearse para mejorar el rendimiento y los compuestos activos de estas plantas. Wahab y Hornok (1982) encontraron que un incremento de las dosis de N proporcionó un aumento en el rendimiento fresco y seco de la albahaca dulce y Frabboni *et al.* (2011) al estudiar el efecto de dosis de nitrógeno sobre variables fisiológicas como área foliar, número de ramificaciones por planta y biomasa fresca de hojas, encontraron la mejor respuesta en rendimientos a dosis de 160 kg ha⁻¹ de N. Ferreira *et al.* (2016) al evaluar las características productivas del cultivo de albahaca verificaron que las dosis de nitrógeno entre 90 a 135 kg ha⁻¹ fueron las más adecuadas, porque elevaron todas las características productivas del cultivo.

Aumentos en el IC en albahaca, ante elevadas dosis de N, podrían estar explicados además por el aumento en el número de hojas por planta, ya que las plantas que crecen bajo condiciones deficientes de este elemento, reducirían el número de hojas para mantener la concentración de N adecuada en las hojas que quedan en el dosel, tal como se ha demostrado también en papa (Sifola y Barbieri, 2006).

CONCLUSIONES

Para la producción comercial de albahaca en el departamento de Córdoba, la aplicación de nitrógeno es

fundamental para el incremento de la tasa de fotosíntesis y el potasio para la conductancia estomática, lo que se traduce en una mayor eficiencia fisiológica y/o producción de biomasa.

La albahaca demanda altas dosis de N y K para la producción de raíces y tallos, dado que la máxima respuesta en masa seca de raíz se registró con los niveles óptimos de 190 kg de N y 180,69 kg ha⁻¹ de K; y para la masa seca de tallo con dosis de 190 kg ha⁻¹ de N y 237,5 kg ha⁻¹ de K. En cambio, la producción de masa seca de hojas e índice de cosecha están asociadas principalmente con las aplicaciones de nitrógeno (dosis óptima de 190 kg ha⁻¹).

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

- Agronet. 2013. Base de datos de estadísticas agrícolas: área, producción, rendimiento y participación. En: <http://www.agronet.gov.co>; consulta: enero de 2016.
- Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª ed. Editorial Mc Graw Hill Interamericana, Madrid, España.
- Barker, A. y D. Pilbeam (eds.). 2007. Handbook of plant nutrition. CRC Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA..
- Biesiada, A. y A. Kuś. 2010. The effect of nitrogen fertilization and irrigation on yielding and nutritional status of sweet basil (*Ocimum basillicum* L.). Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus 9, 3-12.
- Bonilla, C. y M. Guerrero. 2010. Albahaca (*Ocimum basillicum* L.), producción y manejo poscosecha. Corredor Tecnológico Agroindustrial, Cámara de Comercio de Bogotá; Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Box, G. 1954. The exploration and exploitation of the response surfaces: some general considerations and examples. Biometrics 10(1), 16-60. Doi: 10.2307/3001663
- Búfalo, J., C. Cantrell., T. Astatkiec, V. Zheljzakov, A. Gawde y C. Fernandes. 2015. Organic versus conventional fertilization effects on sweet basil (*Ocimum basillicum* L.) growth in a greenhouse system. Ind. Crops Prod. 74, 249-254. Doi: 10.1016/j.indcrop.2015.04.032

- Cenóz, P. y A. Burgos. 2005. Influencia de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de la albahaca (*Ocimum basillicum* L.). *Hortic. Argent.* 24, 56-57.
- Ding, Y., W. Luo y G. Xu. 2006. Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. *Ann. Appl. Biol.* 149, 111-123. Doi: 10.1111/j.1744-7348.2006.00080.x
- Ferreira, S., L. Bulegon., R. Yassue y M. Echer. 2016. Efeito da adubação nitrogenada e da sazonalidade na produtividade de *Ocimum basillicum* L. *Rev. Bras. Plantas Med.* 18(1), 67-73. Doi: 10.1590/1983-084X/15_035
- Frabboni, L., G. da Simone y V. Russo. 2011. The influence of different nitrogen treatments on the growth and yield of basil (*Ocimum basillicum* L.). *J. Chem. Chem. Eng.* 5, 799-803.
- Golcz, A., B. Politycka y K. Seidler-Łożykowska. 2006. The effect of nitrogen fertilization and stage of plant development on the mass and quality of sweet basil leaves (*Ocimum basillicum* L.). *Herba Pol.* 52, 22-30.
- Hu, W., W. Zhao, J. Yang, D. Oosterhuis, D. Loka y Z. Zhou. 2016. Relationship between potassium fertilization and nitrogen metabolism in the leaf subtending the cotton (*Gossypium hirsutum* L.) boll during the boll development stage. *Plant Physiol. Biochem.* 101, 113-123. Doi: 10.1016/j.plaphy.2016.01.019
- Jaćimović, G., J. Crnobarac., J.T. Ninić., B. Marinković, J. Ninić-Todorović y J. Štetić. 2010. The yield and morphological properties of calendula and basil in relation to nitrogen fertilization. *Godina.* 34, 69-79.
- Jáklí, B., E. Tavakola, M. Tränknera, M. Senbayrama y K. Dittert. 2017. Quantitative limitations to photosynthesis in K deficient sunflower and their implications on water-use efficiency. *J Plant Physiol.* 209, 20-30. Doi: 10.1016/j.jplph.2016.11.010
- Koba, K., P.W. Poutouli., C. Raynaud., J.P. Chaumont y K. Sada. 2009. Chemical composition and antimicrobial properties of different basil essential oils chemotypes from Togo. *Bangladesh J. Pharmacol.* 4, 1-8.
- Malik, A.A., S. Suryapani y J. Ahmad. 2011. Chemical vs organic cultivation of medicinal and aromatic plants: the choice is clear. *Int. J. Med. Arom. Plants* 1, 5-13.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, New York, NY, USA.
- Matsumoto, S., G. Araujo y A. Viana. 2013. Growth of sweet basil depending on nitrogen and potassium doses. *Hortic. Bras.* 31(3), 489-493. Doi: 10.1590/S0102-05362013000300024
- Mejía, M. 2010. Conceptos sobre fisiología de absorción y funciones de los minerales en la nutrición de las plantas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Nguyen, P.M.N., E.M. Kwee y E.D. Niemeyer. 2010. Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basillicum* L.). *Food Chem.* 123, 1235-1241. Doi: 10.1016/j.foodchem.2010.05.092
- Nurzyńska-Wierdak, R., E. Rożek., K. Dzida y B. Borowski. 2012. Growth response to nitrogen and potassium fertilization of common basil (*Ocimum basillicum* L.) plants. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 11(2), 275-288.
- Pacheco, A. y A. Jürgen. 2005. Plantas aromáticas como cultivo intercalado, experiencias y efectos alelopáticos sobre el café (*Coffea arabica* L.). pp. 207-216. En: Memorias I Congreso Internacional de Plantas Medicinales en Villahermosa. Tabasco, México.
- Palencia, S.G., T. Mercado-Fernández, y E. Combatt-Caballero. 2006. Estudio agroclimático del departamento de Córdoba, Universidad de Cordoba, Montería, Colombia.
- Patil, N.M. 2010. Biofertilizer effect on growth, protein and carbohydrate content in *Stevia rebaudiana* var. Bertoni. *Rec. Res. Sci. Technol.* 2(10), 42-44.
- Pereyra, M. 2002. Asimilación del nitrógeno en plantas. En: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Asimilacion%20del%20nitrogeno.pdf>; consulta: marzo de 2017.
- Pessaraki, M. (ed.) 2001. Handbook of plant and crop physiology. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Doi: 10.1201/9780203908426
- R Development Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing Version. 3.2.2.. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rincón, L., A. Pérez, C. Pellicer, J. Sáenz y A. Abadía. 2002. Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg. *Inv. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 17(2), 303-318.
- Robertson, G.P. y P.M. Vitousek. 2009. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. *Ann. Rev. Environ. Resour.* 34, 97-125. Doi: 10.1146/annurev.environ.032108.105046
- Sharafzadeh, S. y O. Alizadeh. 2011. Nutrient supply and fertilization of basil. *Adv. Environ. Biol.* 5, 956-960.
- Sifola, M.I. y G. Barbieri. 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. *Sci. Hort.* 108, 408-413. Doi: 10.1016/j.scienta.2006.02.002
- Taiz, L. y E. Zeiger, 2006. Plant physiology. 4th ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
- Wahab, A.S.A. y L. Hornok. 1982. Effect of NPK fertilization on *Ocimum basillicum* yield and essential oil content. *Kert. Egyet. Közlem.* 45, 65-73.

- Wang, N., H. Hua., A. Egrinya Eneji., Z. Li., L. Duan y X. Tian. 2012. Genotypic variations in photosynthetic and physiological adjustment to potassium deficiency in cotton (*Gossypium hirsutum*). J. Photochem. Photobiol. B. 110, 1-8. Doi: 10.1016/j.jphotobiol.2012.02.002
- Zheljazkov, V., C. Cantrell, B. Tekwani y S. Khan. 2008. Content, composition, and bioactivity of the essential oils of three basil genotypes as a function of harvesting. J. Agric. Food Chem. 56(2), 380-385. Doi: 10.1021/jf0725629

Effects of indolebutyric acid, stem cutting positions and substrates on the vegetative propagation of *Stevia rebaudiana* Bertoni

Efectos de ácido indolbutírico, posiciones de estacas de tallo y sustratos sobre la propagación vegetativa de *Stevia rebaudiana* Bertoni

GUILHERME BORTOLOSO PIGATTO¹
ERIK NUNES GOMES^{1, 2}
JÉSSICA DE CÁSSIA TOMASI¹
AUREA PORTES FERRIANI¹
CÍCERO DESCHAMPS¹

Branch, stem and leaf cutting of *Stevia rebaudiana* Bertoni.

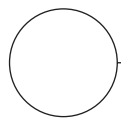
Photo: E.N. Gomes



ABSTRACT

Stevia rebaudiana Bertoni is a species with high economic importance because of the production of natural sweeteners with a low caloric value. The seed production of this species is irregular and micropropagation techniques raise the cost of seedling production. Thus, this study aimed to optimize the vegetative propagation of a Brazilian accession of this species through stem cuttings. The plant material was collected from one-year-old mature plants. Two experiments were carried out to determine the best indolebutyric acid (IBA) concentration to improve rooting and to evaluate the interaction between the stem cutting position (apical, medium and basal) and substrates (Tropstrato HT[®], vermiculite, and vermiculite/Tropstrato HT[®] mixture). The rooting of the stem cuttings was affected by the IBA concentrations. The application of 710 mg L⁻¹ was recommended for higher rooting percentages. The stem cuttings from the apical branch region had higher rooting percentages than the medium and basal areas (means of 70, 45.8 and 7.5%, respectively). Similar results were observed for the root numbers, root lengths and root fresh and dry mass. The substrate Tropstrato HT[®] promoted higher rooting percentages and lower mortality than vermiculite.

Additional key words: auxin, natural sweetener, rooting, seedling production.



¹ Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR (Brazil). ORCID Pigatto, G.B.: 0000-0003-4574-011X; ORCID Gomes, E.N.: 0000-0002-7999-070X; ORCID Tomasi, J.d.C.: 0000-0002-4333-3521; ORCID Ferriani, A.P.: 0000-0002-2896-6427; ORCID Deschamps, C.: 0000-0003-0786-0532

² Corresponding author. e93gomes@gmail.com

RESUMEN

Stevia rebaudiana Bertoni es una especie de alta importancia económica debido a la producción de edulcorantes naturales con bajo valor calórico. La producción de semillas de esta especie es irregular y las técnicas de micropropagación aumentan el costo de la producción de plántulas. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo optimizar la propagación vegetativa de un genotipo brasileño de esta especie a través de estacas de tallo. El material vegetal se recogió de plantas maduras con 1 año de edad. Se realizaron dos experimentos para determinar la mejor concentración de ácido indolbutírico (IBA) para mejorar el enraizamiento y evaluar la interacción entre la posición de corte del tallo (apical, mediana y basal) y sustratos (Tropstrato HT®, vermiculita y mezcla de vermiculita y Tropstrato HT®). Las estacas de tallos se vieron afectadas por las concentraciones de IBA. Se recomienda la aplicación de 710 mg L⁻¹ de IBA para mayores porcentajes de enraizamiento. Las estacas de tallos de la región apical de las plantas mostraron mayor porcentaje de enraizamiento que las medianas y basales (medias de 70, 45,8 y 7,5%, respectivamente). Se observaron resultados similares para el número, longitud y masa de raíz fresca y seca. El sustrato Tropstrato HT® promovió mayores porcentajes de enraizamiento de las estacas de tallo y menor mortalidad en comparación con la vermiculita.

Palabras clave adicionales: auxina, edulcorante natural, enraizamiento, producción de plántulas.

Received for publication: 25-06-2017 Accepted for publication: 30-01-2018

INTRODUCTION

Popularly known as stevia, *Stevia rebaudiana* Bertoni is an herbaceous plant of the Asteraceae family. This plant is native to the Amambai mountain range on the border between Paraguay and Brazil (Lima Filho *et al.*, 2004). The main interest in the cultivation of this species is the production of diterpene glycosides from its leaves. These compounds, also known as steviol glycosides, have a high sweetening potential together with a low calorific value (Ramesh *et al.*, 2007; Saad *et al.*, 2014; Jarma *et al.*, 2010).

At least eight forms of steviol glycosides are known, with stevioside and rebaudioside-A being the most important to the industry. These substances are considered to be 300 to 400 times sweeter than sucrose, respectively (Lemus-Mondaca *et al.*, 2012; Mandal *et al.*, 2013). For industrial processing purposes, a higher concentration of rebaudioside-A over stevioside is desired because the latter has a strong bitter residual taste, a characteristic not appreciated by the market (Yadav *et al.*, 2011).

In addition to the sweetening potential, this species also presents hypoglycemic action, improving pancreatic function, with antihypertensive, anti-inflammatory, antitumor, antioxidant, antidiarrheal, diuretic and immunomodulatory activities (Chatsudthipong

and Muanprasat, 2009). In Brazil, its cultivation is still incipient, with imports of more than US\$8 million registered in 2013 (Brasil, 2014). One of the main difficulties encountered in the cultivation of this crop is the absence of genetic materials adapted to different climatic conditions (Yadav *et al.*, 2011).

In addition to the lack of adapted genetic materials, adequate propagation techniques are also a limiting factor. Sexual propagation presents a series of drawbacks, such as the reduced seed size, low germination percentages rates and high sensitivity to biotic stress (Goettemoeller and Ching 1999; Yadav *et al.*, 2011). Techniques for micropropagation are already standardized and effective; however, the high cost of this method is an obstacle (Sivaram and Mukundam 2003; Khalil *et al.*, 2014). Clonal propagation through stem cuttings represents a potential alternative for propagation of the species, but still requires additional studies in order to achieve reasonable rooting percentages (De Carvalho and Zaidan, 1995; Kassahun and Mekonnen, 2011; LeCroy, 2014; Patel, 2015).

Many factors affect the adventitious rooting of stem cuttings; endogenous hormone concentration, plant regulators, juvenility, seasonality and environmental conditions during rooting are the most important (Hartmann *et al.*, 2010).

For environmental conditions, the use of a suitable substrate that improves root growth and development is desirable. It must have characteristics such as adequate porosity, drainage, homogeneity, absence of pathogens, and economic viability (Mendes *et al.*, 2014).

The position of the stem cuttings in the branches also affects rooting since it interferes with hormonal and juvenile issues. Apical cuttings have higher rates of auxin synthesis and may be less tissue differentiated, but they are more sensitive to dehydration. Basal stem cuttings, in spite of the lower levels of endogenous auxin, have a greater capacity to provide the necessary reserves for the formation and growth of roots and shoots (Cunha *et al.*, 2015).

The exogenous application of plant regulators, especially auxins, has been used in several species of interest, resulting in increased rooting percentages and root system development, with a greater root number, vigor and uniformity and reduction of the period for root emission (Tracz *et al.*, 2014). Among the auxins, indolebutyric acid (IBA) is one of the most used since it is a photostable compound, non-toxic and has low rates of degradation by biological action (Paulus *et al.*, 2014).

The objective of this study was to evaluate the influence of the stem cutting position, substrate and IBA concentrations on the rooting of an accession of *S. rebaudiana* adapted for cultivation in Parana State, Brazil.

MATERIAL AND METHODS

The stem cuttings were collected in September, 2015, from one-year-old plants (clones) grown in the Medicinal and Aromatic Plants Research Area of the Federal University of Parana (Brazil) at the following coordinates: 25°23'30" S and 49°07'30" W, with an altitude of 930 m a.s.l.

The evaluated plant accession was provided by the "Genetic Resources and Biotechnology Centre – GENARGEN" of the Brazilian Agricultural Research Corporation - EMBRAPA. In a previous evaluation of the productive potential of this accession in Parana State, a dry mass yield of leaves higher than 3,000 kg ha⁻¹ with stevioside and rebaudioside-A contents of 13.4 and 6.9%, respectively, and high frost tolerance were observed (unpublished data).

Stem cuttings were made with a length between 10 and 12 cm with one pair of leaves and the leaf area reduced by half. Before planting, the stem cuttings were submitted to phytosanitary treatment with 0.5% (v/v) sodium hypochlorite for 15 min, followed by washing in running water for 5 min.

Two experiments were carried out in order to evaluate better conditions for promoting the rhizogenic potential of this accession. The first experiment compared the rooting of non-treated cuttings and cuttings treated with IBA (Vetec®, 98% purity) concentrations (250; 500; 1,000 or 2,000 mg L⁻¹) in a completely randomized design with 5 treatments and 4 replicates, each one with 10 stem cuttings. The base of the stem cuttings were immersed for 15 sec in the IBA solutions and then placed in tubes filled with the commercial substrate Tropstrato HT® for rooting.

The second experiment compared the stem cutting positions (apical, medium and basal) in the branches and substrates on the development of the root system. The evaluated substrates were Tropstrato HT® (Vida Verde - Tecnologia em Substratos™, Brazil) commercial substrate (TROP), fine granulometry vermiculite (VERM) and a mixture of 50% Tropstrato HT® commercial substrate and 50% vermiculite (MIX). According to the manufacturer information, the Tropstrato HT® commercial substrate is composed of pine bark, peat, expanded vermiculite, enriched with macro and micronutrients, with a pH of 5.8 and density in dry basis of 200 kg m⁻³. The experiment design was completely randomized in a 3x3 factorial arrangement, comparing the stem cutting positions and substrates with 4 replicates, each one with 10 stem cuttings.

For both experiments, the cuttings were planted in 120 cm³ polypropylene tubes and kept in a greenhouse with intermittent mist of 5 s every 30 min. The relative humidity in the greenhouse was around 80% and the temperature varied between 20 and 30°C during the experiment period.

Thirty days after planting, the stem cuttings were evaluated for the rooting percentage (considering the number of live cuttings with roots of at least 1 mm in length in relation to the number of planted cuttings in each replicate), mortality (considering the relative amount of cuttings with all of the tissues necrotic), sprouting percentage (calculated with the number of cuttings with formation of new sprouts) and average number, length and dry mass of roots.

The length of the roots was measured with a graduated ruler and the result was the arithmetic mean of the three longer roots lengths in each cutting within the replicate. The dry mass of the roots was obtained by drying the fresh material in a forced circulation air oven at 65°C until constant weight. The dried roots were weighed on an analytical precision scale (0.0001 g).

The data were submitted to analysis of variances homogeneity with Bartlett's test. For the experiment with cutting positions and substrates, the means were compared with Tukey's Test at 5% probability. For the experiment with different IBA concentrations, polynomial regression analysis was performed. For all analyses, the statistical software Assistat (Silva and Azevedo, 2016) was used.

RESULTS AND DISCUSSION

Rooting percentages ranging from 2.5 to 32.5% were observed after the stem cutting treatment with indolebutyric acid. The response of this variable to the plant growth regulator concentrations was quadratic, with a maximum technical efficiency concentration of 710 mg L⁻¹, calculated with the regression equation (Fig. 1A).

The adventitious rhizogenesis in the stem cuttings was strongly influenced by auxins, and, in plants of commercial interest, this process is greatly enhanced by the exogenous supplementation of synthetic auxins (Zuffellato-Ribas and Rodrigues, 2001). The application of plant growth regulators at an optimal concentration stimulates the growth and differentiation of the tissues, causing an increase in the percentage of rooting, which will also be dependent on the endogenous level of hormones and other rooting promoters (Hartmann *et al.*, 2010).

The application of auxin increased the rooting percentages; however, there was a marked decrease in the rooting when the stem cuttings were treated with 2,000 mg L⁻¹ of IBA. Similar results were obtained by Smitha and Umesha (2012), where a higher percentage of rooting was reported in stevia stem cuttings treated with IBA 500 mg L⁻¹ and 1,000 mg L⁻¹, as compared to the control treatment and concentration of 2,000 mg L⁻¹. The reduction in the rooting, sprouting, number, length and dry mass of roots, as well as a significant increase in mortality rates (Fig. 1) at higher concentrations of IBA may be related to

a phytotoxicity effect since excessive concentrations of auxins may inhibit the development of roots and shoots, causing yellowing and leaf abscission, necrosis and even death of stem cuttings (Alcantara *et al.*, 2010).

Compared to other studies on stevia propagation with stem cuttings (De Carvalho and Zaidan 1995; Kassahun and Mekonnen, 2011; Smitha and Umesha 2012; Khalil *et al.*, 2014), a higher mortality and significantly lower rooting percentages were found under these experiment conditions.

In addition to the genetic variations observed among cultivars or accessions, the physiological condition of plants can result in differences in survival and rooting potential. Seasonality is considered one of the main factors affecting the physiological condition of plants. In a study evaluating the seasonality effect on the rooting of stevia stem cuttings, De Carvalho and Zaidan (1995) found reduced rooting percentages in October (mean of 5.75%), as compared to May and July (means of 44.3 and 40.6%, respectively). The authors attributed the low rates of rooting in October to the synthesis of hormones related to reproductive aspects that can inhibit or compete with the action of auxins in the process of adventitious rooting induction. In addition to the effects of seasonality, the physiological condition affected by the collection position of the stem cuttings in the parent plants may influence rhizogenesis.

The maximum sprouting percentage was observed at the concentration of 542.5 mg L⁻¹ of IBA (Fig. 1C). The fact that the maximum efficiency of sprouting was lower than that observed for rooting may be associated with the fact that the synthetic auxin mobilized nutrients for root formation, inhibiting sprouting when applied at the base of the cutting (Magevski *et al.*, 2011), so, when the better conditions to rooting were provided, some reduction in sprouting was observed.

The root number and length were also affected by IBA treatments, reaching maximum values estimated at concentrations of 1,250 and 700 mg L⁻¹ of IBA by the second-degree polynomial equations, respectively (Figs. 1D and E).

In comparison with other studies on *S. rebaudiana*, the maximum efficient concentration for the number of roots was high. Koppad *et al.* (2006) reported a higher average number of roots at 35 d after implantation

with stem cuttings treated with 500 mg L⁻¹ of IBA. Similarly, Khalil *et al.* (2014) reported higher values with immersion of cuttings in an IBA solution at 500 mg L⁻¹. In an experiment conducted in Malaysia with

two commercial cultivars of stevia, greater increases were observed in the number of roots with an IBA concentration of 426, 8 mg L⁻¹ for the cultivar MS012 and 499.9 mg L⁻¹ for cultivar MS007, evidencing the

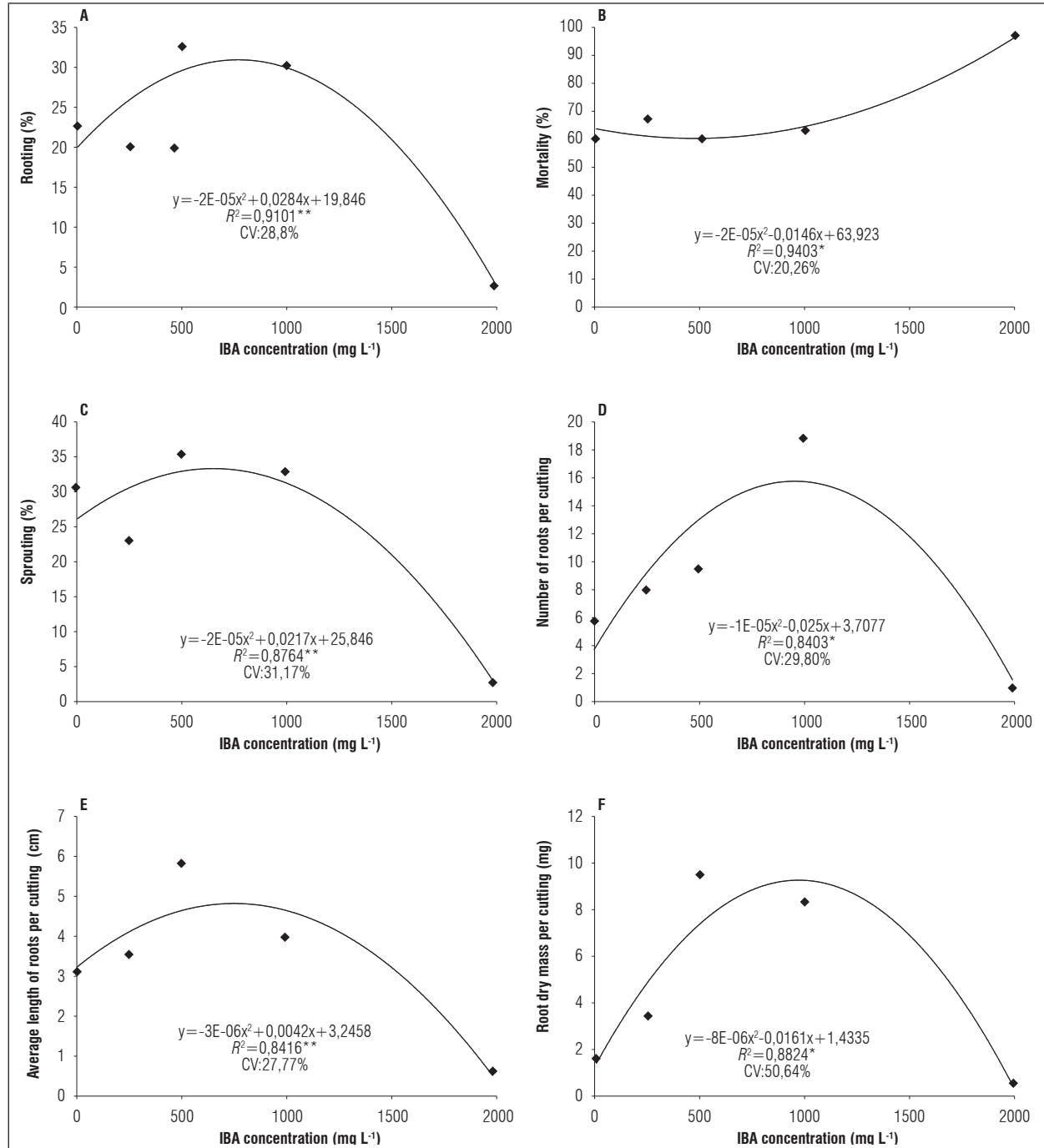


Figure 1. A. Rooting; B. Mortality; C. Sprouting percentages; D. Number; E. Average length; F. Dry mass of roots in *Stevia rebaudiana* Bertoni (Accession 8) stem cuttings treated with different indolebutyric acid (IBA) concentrations. **Significant at 1% probability according to polynomial regression analysis. * Significant at 5% probability according to polynomial regression analysis. CV: coefficient of variation.

difference in response between genetic materials (Abdullateef and Osman, 2011).

Genetic interference in the responses of each cultivar or accession to a regulator application is the most probable cause of the observed difference in the present experiment in relation to those previous mentioned in the literature. It strongly justifies the need for studies on specific accessions or cultivars in order to improve the vegetative propagation of potential genetic materials.

For the average root length, the response to the plant growth regulator was closer to that reported by some authors who reported optimal concentrations of 500 mg L⁻¹ of IBA (Koppad *et al.*, 2006; Smitha and Umesha 2012; Khalil *et al.*, 2014). Medina *et al.* (2016) also reported positive effects of IBA applications on root lengths for stevia cuttings. The increase in the number and length of roots of stevia stem cuttings submitted to auxin treatment may be related to an increase in the sensitivity of the basal tissue of the cutting, as well as to an improvement in the capacity for hydrolysis of reserves, necessary for root development (Osman *et al.*, 2013).

The root dry mass was also affected by the application of IBA, with the maximum value estimated at 1,006.25 mg L⁻¹. In a study reported by Khalil *et al.* (2014) with stevia stem cuttings in Pakistan, the fresh mass of roots treated with 500 mg L⁻¹ and 1,000 mg L⁻¹ concentrations did not differ statistically, with the dry mass for the concentration of 1,000 mg L⁻¹ being higher, similar to the present study. Different results, however, were reported by Smitha and Umesha

(2012), where a higher root dry mass was obtained with cuttings treated with 2,000 mg L⁻¹ of IBA.

For the experiment on substrates and stem cutting positions, a significant interaction was found for root length and root dry mass (Tab. 1). Evaluating the factors alone, the type of substrate influenced all analyzed variables, except the sprouting percentage. The type of cutting was the factor that exerted the greatest influence on the rooting of accession 8, being significant for all observed variables. The apical stem cuttings presented a greater rooting than the median ones, which, in turn, performed better than the basal stem cuttings. For the substrates, Tropstrato HT® promoted higher percentages in comparison to vermiculite (Tab. 2).

The highest percentages of rooting, observed in the apical stem cuttings, can be related to a low level of phenolic compounds at these locations and the fact that hormones (mainly auxins) and cofactors that act in rooting are in higher concentrations at the apex of branches (Fachinello *et al.*, 1995; Hartmann *et al.*, 2010).

Smitha and Umesha (2012) evaluated the rooting of stevia basal stem cuttings in different substrates, rooting environments and plant regulators in southern India. Among the substrates evaluated, a higher percentage of rooting (79.7%) was observed in a mixture of soil, sand and coconut shell powder at a ratio of 1:1:1. The lowest rooting percentage was 67% in a mixture of soil, sand and manure in equal proportions, which was even superior to the means observed in the present experiment for basal

Table 1. Summary of the analysis of variance (ANOVA) for the variables percentage of rooting (ROT), mortality (MRT), sprouting (SPT) number of roots per cutting (NRC), average length of roots per cutting (LRC) and roots dry mass per cutting (RDM) of apical, medium and basal stem cuttings of *Stevia rebaudiana* Bertoni (Accession 8) planted in three substrates: Tropstrato HT®, vermiculite and mixture (50% Tropstrato HT® and 50% vermiculite).

Source of variation	D.F.	Mean square					
		ROT	MRT	SPT	NRC	LRC	RDM
Substrates	2	677,8**	436,1*	97,7 ^{ns}	3,0*	12,5*	515,1**
Types of cuttings	2	11586,1**	11136,1**	3167,2**	48,9**	81,7**	5610,5**
Interaction	4	106,9 ^{ns}	27,8 ^{ns}	76,9 ^{ns}	2,1 ^{ns}	20,0**	260,7*
Error	27	97,2	110,2	48,4	0,8	3,7	70,3
C.V. (%)		23,82	19,58	30,12	41,73	34,12	37,56

D.F.: Degree of freedom; **Significant at 1% probability; * Significant at 5% probability; ns: Not significant at 1% and 5% probability. C.V.: coefficient of variation.

Table 2. Means of rooting, mortality and sprouting percentages, number of roots per cutting, average length of roots and roots dry mass in *Stevia rebaudiana* Bertoni (Accession 8) stem cuttings planted in different substrates.

Substrates	Type of stem cutting			Mean
	Apical	Medium	Basal	
	Rooting (%)			
Vermiculite	67,50	32,50	2,50	34,17 b
Tropstrato HT®	77,50	55,00	15,00	49,17 a
Mixture	65,00	50,00	7,50	40,83 ab
Mean	70,00 A	45,83 B	8,33 C	
	Mortality (%)			
Vermiculite	30,00	52,50	90,00	57,50 a
Tropstrato HT®	17,50	42,50	80,00	46,67 b
Mixture	32,50	47,50	90,00	56,67 a
Mean	26,67 C	47,50 B	86,66 A	
	Sprouting (%)			
Vermiculite	17,50	42,50	10,00	23,33 ^{ns}
Tropstrato HT®	12,50	45,00	20,00	25,83
Mixture	15,00	37,92	7,50	20,14
Mean	15,00 B	41,81 A	12,50 B	
	Number of roots per cutting			
Vermiculite	3,35	1,78	0,28	1,80 b
Tropstrato HT®	5,88	2,03	0,35	2,75 a
Mixture	3,85	1,70	0,48	2,01 ab
Mean	4,35 A	1,83 B	0,37 C	
	Average length of roots per cutting (cm)			
Vermiculite	7,46 aA	7,41 aA	0,20 bB	5,02
Tropstrato HT®	9,99 aA	6,49 abB	4,02 aB	6,83
Mixture	7,23 aA	3,27 bB	4,81 aAB	5,10
Mean	8,22	5,72	3,01	
	Root dry mass per cutting (mg)			
Vermiculite	39,60 bA	14,87 aB	0,23 aB	18,23
Tropstrato HT®	63,68 aA	20,90 aB	5,08 aC	29,88
Mixture	34,67 bA	16,50 aB	5,43 aB	18,87
Mean	45,98	17,42	3,58	

Means followed by the same capital letter in the rows and lowercase in the columns do not differ by the Tukey's test ($P \leq 0.05$). ns: not significant.

cuttings. This indicates that not just the substrate and type of stem cutting exert influence on rooting. The genetic differences of the plant material and the time of year in which the cuttings are collected can also be determinant of the rhizogenic process (Zuffellato-Ribas and Rodrigues, 2001).

Bona *et al.* (2005) compared five substrates (soil, sand, vermiculite, charcoal rice husk and commercial substrate Plantmax®) in the rooting of median stem

cuttings of plants of the genus *Baccharis* (Asteraceae). Similar to the present study, there was a significant difference between the substrates, the commercial substrate being superior in two of the three species analyzed for the rooting percentage.

According to Hartmann *et al.* (2010) the ideal substrate would allow high aeration and water retention capacity and, at the same time, be well-drained and free of pathogens. In this sense, it can be confirmed

that the commercial substrate Tropstrato HT[®], as well as being a source of nutrients, also showed suitable physical characteristics for rooting stevia stem cuttings. The results also showed that mixing with inert materials, such as vermiculite, is not necessary for rooting this stevia accession.

For the mortality percentage of the stem cuttings, higher values occurred in the basal cuttings (86.66%). Considering the substrates, the vermiculite and the vermiculite and Tropstrato HT[®] mixture presented the highest values. Garbuio *et al.* (2007), evaluating apical, median and basal patchouli (*Pogostemon cablin*) stem cuttings, reported lower mortalities for basal cuttings, different from that observed for the stevia cuttings in the present study. According to these authors, basal cuttings have greater resistance to dehydration; however, they presented low rooting percentages, not justifying their use.

For the sprouting percentage, the medium cuttings had the highest values in comparison with the apical and basal ones, which can be related to the higher mortality of the basal cuttings, as well as to the fact that apical cuttings have a greater allocation of reserves for rooting rather than sprouting. It is possible that the superiority in the percentage of sprouting in the median stem cuttings in relation to the apical ones was due to the smaller rooting capacity. Bischoff *et al.* (2017); similarly, the low rooting capacity of black sage (*Varronia curassavica* Jacq.) stem cuttings was attributed to the high sprouting percentages observed since, according to the authors, most of the reserves present in the stem were translocated for shoot formation rather than for roots.

The average number of roots per cutting, similar to the responses observed for rooting percentages, was higher in the apical cuttings, followed by the median and basal ones. The apical stem cuttings of *Lavandula dentata* L. also presented a greater number and length of roots than the basal ones (Bona *et al.*, 2012), corroborating with the results of the present study.

For the effect of substrates, the number of roots was higher in the Tropstrato HT[®] commercial substrate than in the vermiculite. For the average length and dry mass of roots, a similar behavior was observed, with higher values in the apical cuttings planted in Tropstrato HT[®] and very low values in the basal cuttings planted in tubes containing vermiculite.

The main aspect that differentiated the substrates used in the present experiment was the availability of nutrients since vermiculite is an inert substrate. The availability of nutrients, although not a fundamental characteristic for rooting stem cuttings, is an important factor for the early development of seedlings (Amaro *et al.*, 2013). For stevia, Smitha and Umesha (2012) reported a higher number of roots per cutting in substrates with higher nutrient contents, in detriment of other substrates such as soil and sand. In *Piper amalago* stem cuttings, Nunes Gomes and Krinski (2016) similarly reported that the substrate with a greater availability of nutrients promoted the highest values of number, length and fresh mass of roots.

Based on the results obtained in the present work, it is possible to affirm that the supply of suitable mesological characteristics (substrates) can potentiate favorable endogenous conditions for rooting stem cuttings of the studied accession, and the association of apical cuttings and the commercial substrate Tropstrato HT[®] is recommended for the production of seedlings with higher quality.

CONCLUSIONS

The evaluated stevia accession had a capacity for adventitious rhizogenesis and initial development of root system that was influenced by the application of the indolebutyric acid. The application of 710 mg L⁻¹ is recommended for higher rooting percentages.

The position in the plant from where the stem cuttings are collected affects the rooting of *Stevia rebaudiana*. Cuttings collected from the apical segment are more indicated for the evaluated accession. For higher values of rooting and number of roots, as well as lower mortality values, the commercial substrate Tropstrato HT[®] is the most suitable for the rooting of the evaluated genotype.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the Brazilian Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) and the Federal University of Parana. The authors would like to acknowledge the Brazilian company of agricultural research division of genetic resources and biotechnology (EMBRAPA-CENARGEN) for providing the genetic material.

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

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Abdullateef, R.A. and M. Osman. 2012. Effects of stem cutting types, position and hormonal factors on rooting in *Stevia rebaudiana* Bertoni. *J. Agr. Sci.* 4(1), 49-57. Doi: 10.5539/jas.v4n1p49
- Alcantara, G.B., Y. Oliveira, D.M. Lima, L.A. Fogaça, F. Pinto, and 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
- Amaro, H.T.R., J.R. Silveira, A.M.S.S. David, M.A.V. Rende, and J.A.S. Andrade. 2013. Tipos de estacas e substratos na propagação vegetativa da menta (*Mentha arvensis* L.). *Revista Rev. Bras. Plantas Med.* 15(3), 313-318. Doi: 10.1590/S1516-05722013000300001
- Bischoff, A., D. Vendramim, E. Nunes Gomes, K.C. Zufellato-Ribas, M.L. Engel, and R.A. Maggioni. 2017. Enraizamento de estacas de erva-baleeira em função de diferentes concentrações de ácido indol butírico e número de folhas. *Rev. Ciênc. Agroveterinárias* 16(1), 41-47. Doi: 10.5965/223811711612017041
- Bona, C.M., I.R. Biasetto, M. Masetto, C. Deschamps, and L.A. Biasi. 2012. Influence of cutting type and size on rooting of *Lavandula dentata* L. *Rev. Bras. Plantas Med.* 14(1), 8-11. Doi: 10.1590/S1516-05722012000100002
- Bona, C.M., L.A., F. Zanette, and T. Nakashima. 2005. Estaquia de três espécies de *Baccharis*. *Cienc. Rural.* 35 (1), 223-226. Doi: /10.1590/S0103-84782005000100037
- Brasil (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior). Secretaria do Comércio Exterior. 2014. Programa AliceWeb. 2014. In: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>; consulted: May 26, 2014.
- Chatsudthipong, V. and C. Muanprasat. 2009. Stevioside and related compounds: Therapeutic benefits beyond sweetness. *Pharmacol. Ther.* 121(1), 41-54. Doi: 10.1016/j.pharmthera.2008.09.007
- Cunha, A., F. Chaves, A. Batista, and A. Hidalgo. 2015. Propagação vegetativa de estacas de *Piper hispidum* Sw. em diferentes substratos. *Rev. Bras. Plantas Med.* 17(4), 685-692. Doi: 10.1590/1983-084X/14_113
- De Carvalho, M.A.M. and L.B.P. Zaidan. 1995. Obtenção de estacas de *Stevia rebaudiana* através de estacas. *Pesq. Agropec. Bras.* 30(2), 201-206.
- Fachinello, J. C., A. Hoffmann, J. C. Nachtigal, E. Kersten, and G.R.L. Fortes. 1995. Propagação de plantas frutíferas de clima temperado. 2nd ed. Editora UFPEL, Pelotas-RS, Brazil.
- Garbuio, C., L.A. Biasi, A. Kowalski, D. Signor, E. Machado, and C. Deschamps. 2007. Propagação por estaquia em patchouli com diferentes números de folhas e tipos de estacas. *Sci. Agr.* 8(4), 435-438. Doi: 10.5380/rsa.v8i4.9893
- Goettmoeller, J. and A. Ching. 1999. Seed germination in *Stevia rebaudiana*. pp. 510-511. In: Janick, J. (ed.). *Perspectives on new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, USA.
- Hartmann, H., D. Kester, F. Davies, and R. Geneve. 2010. *Plant propagation. Principles and practices*. 8th ed. Prentice Hall, New Jersey, NJ, USA.
- Jarma, A., M. Espitia, and G. Fischer. 2010. Síntesis de esteviósidos en estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.). *Acta Biol. Colomb.* 15(1), 263-268.
- Kassahun, B. M. and S.A. Mekonnen. 2011. Effect of cutting position and rooting hormone on propagation ability of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *J. Plant. Biochem. Biotechnol.* 6(1), 5-8.
- Khalil, S.A., R. Zamir, and N. Ahmad. 2014. Selection of suitable propagation method for consistent plantlets production in *Stevia rebaudiana* (Bertoni). *Saudi. J. Biol. Sci.* 21(6), 566-573. Doi: 10.1016/j.sjbs.2014.02.005
- Koppad, A.G., N.K. Umarbadshah, and M. Gouda. 2006. Effect of growth regulators on propagation of stem cuttings in *Stevia rebaudiana*. *Karnataka J. Agric. Sci.* 19(3), 740-742.
- LeCroy, J. 2014. Factors affecting seed and stem cutting propagation of *Stevia rebaudiana* (Bert.). M.Sc. thesis. Graduate Faculty, Auburn University, Auburn, AL, USA.
- Lemus-Mondaca, R., A.Vega-Gálvez, L. Zura-Bravo, and K. Ah-Hen. 2012. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chem.* 132(3), 1121-1132. Doi: 10.1016/j.foodchem.2011.11.140
- Lima Filho, O.F., A.C. Valois, and Z.M. Lucas. 2004. *Sistemas de Produção 5: Estévia*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Agropecuária Oeste, Dourados-MS, Brazil.
- Magdevski, G.C., M.P. Czepak, E.R. Schimdt, R.S. Alexandre, and A.A. Fernandes. 2011. Propagação vegetativa de espécies silvestres do gênero *Piper*, com potencial para uso como porta enxertos em pimenta-do-reino (*Piper nigrum*). *Rev. Bras. Plantas Med.* 13(special), 559-563. Doi: 10.1590/S1516-05722011000500009
- Mandal, S., H. Evelina, B.B. Giri, V. P.Singha, and R. Kapoor. 2013. Arbuscular mycorrhiza enhances the production of stevioside and rebaudioside-A in *Stevia*

- rebaudiana* via nutritional and non-nutritional mechanisms. *Appl. Soil Ecol.* 72(1), 187-194. Doi: 10.1016/j.apsoil.2013.07.003
- Medina, E.L., A.E.G. Rivero, and A.L. Zavaleta. 2016. Enraizamiento de esquejes de *Stevia rebaudiana* Bertoni (Asteraceae) "estevia", aplicando dosis creciente de ácido indolbutírico. *Arnaldoa*, 23(2), 569-576. Doi: 10.22497/arnaldoa.232.23209
- Mendes, A.D.R., T.H.S. Lacerda, S.M.G. Rocha, and E.R. Martins. 2014. Reguladores vegetais e substratos no enraizamento de estacas de erva-baleeira (*Varronia curassavica* Jacq.). *Rev. Bras. Plantas Med.* 16(2), 262-270. Doi: 10.1590/S1516-05722014000200015
- Nunes Gomes, E. and D. Krinski. 2016. Propagação vegetativa de *Piper amalago* L. (Piperaceae) em função de tipos de estaca e substratos. *Cult. Agron.* 25(3), 199-210.
- Osman, M., N.S. Samsudin, G. Faruq, and A. Nezhadahmadi. 2013. Factors affecting microcuttings of *Stevia* using a mist-chamber propagation box. *Sci. World J.* 2013, 1-10. Doi: 10.1155/2013/940201
- Patel, D.K. 2015. Stem cutting propagation for ex-situ conservation of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni in herbal garden. *Eur. J. Biotechnol.* 3(9), 35-42.
- Paulus, D., R. Valmorbidia, E. Toffoli, and E. Paulus. 2014. Propagação vegetativa de *Aloysia triphylla* (L'Hér.) Britton em função da concentração de AIB e do comprimento das estacas. *Rev. Bras. Plantas Med.* 16(1), 25-31. Doi: 10.1590/S1516-05722014000100004
- Ramesh, K., V. Singh, and P.S. Ahuja. 2007. Production potential of *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni. under intercropping systems. *Arch. Agron. Soil Sci.* 53(4), 443-458. Doi: 10.1080/03650340701474949
- Saad, A., F.A. Khan, A. Hayee, and M.S. Nazir. 2014. A Review on Potential Toxicity of Artificial Sweeteners vs Safety of Stevia: A Natural Bio-Sweetener. *J. Biol. Agric. Healthc.* 4(15) 137-145.
- Silva, F.A.S. and C.A.V. Azevedo. 2016. Comparison of means of agricultural experimentation data through different tests using the software Assistat. *Afr. J. Agric. Res.* 37(11), 3527-3531. Doi: 10.5897/AJAR2016.11523
- Sivaram, L. and U. Mukundam. 2003. *In vitro* culture studies on *Stevia rebaudiana*. *In Vitro Cell. Dev. Biol.* 39(5), 520-523. Doi: 10.1079/IVP2003438
- Smitha, G.R. and K. Umesha. 2012. Vegetative propagation of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hems.] through cuttings. *J. Trop. Agr.* 50(1), 72-75.
- Tracz, V., C.T.A. Cruz-Silva, and M.Z. Luz. 2014. Produção de mudas de penicilina (*Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze) via estaquia. *Rev. Bras. Plantas Med.* 16(3), 644-648. Doi: 10.1590/1983-084x/12_098
- Yadav, A. K., S. Singh, D. Dhyani, and P.S. Ahuja. 2011. A review on the improvement of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni)]. *Can. J. Plant Sci.*, 91(1), 1-27. Doi: 10.4141/cjps10086
- Zuffellato-Ribas, K.C. and J.D. Rodrigues. 2001. Estaquia: uma abordagem dos principais aspectos fisiológicos. Editora UFPR, Curitiba-PR, Brazil.

Efecto de la colchicina sobre la morfología foliar y los estomas de *Kalanchoe daigremontiana* Raym.-Hamet & H.Perrier (Crassulaceae)

Effect of colchicine on *Kalanchoe daigremontiana* Raym.-Hamet & H.Perrier (Crassulaceae) leaf morphology and stomates

SEIR ANTONIO SALAZAR M.^{1, 2}
GUILLERMO JAVIER VALDERRAMA R.¹
JESÚS DAVID QUINTERO C.¹



***Kalanchoe daigremontiana* e hijuelos
tratados con colchicina**

Foto: J.D. Quintero C.

RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto de diferentes concentraciones y tiempo de exposición de colchicina, sobre la morfología foliar y los estomas de *Kalanchoe daigremontiana*. Inicialmente, se recolectaron y se sometieron las plántulas de *K. daigremontiana* a concentraciones de 0,025% y 0,1% (p/v) de colchicina y a dos tiempos de exposición (24 y 48 horas). Posteriormente, se realizaron estudios morfológicos como la altura de la planta (AP), anchura de la hoja (AH), número de hojas (NH), longitud foliar (LH), espesor de hoja (EH) y volumen foliar (VH) cada 15 días, durante 16 semanas después de la siembra. Luego, se caracterizaron los estomas, teniendo en cuenta el ancho, el largo, índice estomático y el número de cloroplasto por estoma. Se encontró un incremento significativo en la morfología foliar y estomática, en los tratamientos con colchicina de 0,025% a 24 y 48 horas. Lo que demuestra que el uso de la colchicina logra un mayor crecimiento en poco tiempo y aumento de la biomasa en la planta medicinal *K. daigremontiana*.

Palabras clave adicionales: morfogénesis, índice estomático, ploidía, planta medicinal, volumen foliar.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y del Medio Ambiente, Programa de Ingeniera Agronómica, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta (Colombia). ORCID Salazar M., S.A.: 0000-0002-3287-703X; ORCID Valderrama R., G.J.: 0000-0001-7432-9667; ORCID Quintero C., J.D.: 0000-0002-2011-2638

² Autor para correspondencia. salazar663@hotmail.com

ABSTRACT

The current study evaluated the effect of different concentrations and exposure times of colchicine on *Kalanchoe daigremontiana* leaf morphology and stomates. Initially, *K. daigremontiana* seedlings were harvested at concentrations of 0.025% and 0.1% (w/v) of colchicine and at two exposure times (24 and 48 hours). Subsequently, morphological studies, such as plant height (PH), leaf width (LW), number of leaves (NL), leaf length (LL), leaf thickness (LT) and leaf volume (LV), were done every 15 days for 16 weeks after sowing. Afterwards, the stomates were characterized, taking into account the width, length, stomatal index and number of chloroplasts per stomate. A significant increase in foliar and stomatal morphology was found in treatments with colchicine of 0.025% at 24 and 48 hours. This shows that the use of colchicine achieves greater growth in a short time and increased biomass in medicinal *K. daigremontiana* plants.

Additional key words: morphogenesis, stomatal index, ploidy, medicinal plant, leaf volume.

Fecha de recepción: 12-07-17 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

El género *Kalanchoe* pertenece a la familia crasulácea (crasa o suculenta), tiene alrededor de 125 especies descritas. Se encuentran principalmente en África, Madagascar, América tropical y Australia (Abdel-Raouf, 2012). Actualmente está distribuido por todo el mundo (Mora-Pérez y Hernández-Medel, 2016). Son comúnmente usadas en la medicina natural y farmacéutica, por producir metabolitos secundarios ricos en alcaloides, triterpenos, glucósidos, flavonoides, esteroides (bufadienolides) y lípidos (Majaz *et al.*, 2011), que ayudan a tratar problemas de salud como la bronquitis, quemaduras, dolores de oído, picaduras de insectos, infecciones respiratorias, tuberculosis, problemas de la piel, infecciones bacterianas y fúngicas, problemas intestinales, cáncer (linfoma), epilepsia, varicela, tratamientos clínicos del corazón, entre otros (Okwu y Nnamdi, 2011; Tkalec *et al.*, 2012; Salahdeen y Yemitan, 2006; Kolodziejczyk-Czepas *et al.*, 2017).

Kalanchoe daigremontiana Raym.-Hamet & H. Perrier (espinazo del diablo) es una hierba suculenta, nativa de zonas semiáridas de Madagascar (Herrera, 2011). Su característica principal es producir pequeñas plántulas o hijuelos, que nacen entre los dientes del margen aserrado del foliolo (Garcês *et al.*, 2007; Puertas *et al.*, 2014). Produce sustancias bioactivas con propiedades antioxidantes, antitumorales, antihistamínicas, antiinflamatorias e inmunomoduladora (Tkalec *et al.*, 2012). Además, se ha utilizado tradicionalmente para la cura de heridas y como relajante o calmante,

se ha estudiado su eficacia para controlar células cancerígenas de pulmón, cuello de útero y en carcinoma hepatocelular, debido a la presencia de compuestos bufadienolides en hojas y raíces (Saz-Peiró y Tejero-Lainez, 2016).

El uso de *K. daigremontiana* como planta medicinal se ha incrementado específicamente en los tratamientos del cáncer, en donde se ve como una alternativa viable, a las moléculas químicas que produce (Puertas *et al.*, 2014; Majaz *et al.*, 2011). Sin embargo, la extracción y purificación de dichos compuestos, requiere una gran cantidad de material vegetal para obtener cantidades significativas del compuesto de interés (Foley y Moore, 2005). Por lo tanto, es necesario desarrollar un sistema o metodología de cultivo, que garantice una producción sostenible de estos metabolitos (Arias *et al.*, 2009). Esto ha desarrollado alternativas para la obtención de mayores volúmenes de producción, a través de programas de selección y mejoramiento genético (Quintero *et al.*, 2009; Sattler *et al.*, 2016). La utilización de la colchicina ha sido exitosa, demostrando un mayor crecimiento y aumento en la producción de biomasa en diferentes plantas (Urwin, 2014), ya que permite un incremento de sus partes vegetativas ocasionadas por la poliploidía (Sánchez y Matos, 2012; Matos, 2014; Sadat *et al.*, 2017). La colchicina es probablemente, el producto químico más ampliamente utilizado para la inducción de poliploidía en plantas (Urwin, 2014), debido a que es un agente inhibidor eficaz de la mitosis, que impide la

polimerización de la tubulina durante la formación del huso mitótico, lo que causa el bloqueo de la metafase y dispersión de los cromosomas en la célula (Planchais *et al.*, 2000). La ventaja más importante de la poliploidía, es que las plantas suelen tener mejor rendimiento y características morfológicas, como la altura y el tamaño de los órganos vegetales (Hannweg *et al.*, 2016), y el aumento de la biomasa en general (Urwin, 2014).

Para identificar plantas poliploides, se realizan métodos indirectos como caracteres morfológicos (Sánchez y Matos, 2012), métodos citológicos midiendo el tamaño y densidad estomática, el número de cloroplastos en las células guardas de los estomas (Standring *et al.*, 1990; Choque *et al.*, 2007; Orrillo y Bonierbale, 2009; Sadat *et al.*, 2017) y mediante el conteo de cromosomas (Poggio *et al.*, 2008; Matos, 2014). Por lo anterior, teniendo en cuenta la importancia medicinal, y que no se han realizado investigaciones sobre la utilización de la colchicina en *K. daigremontiana*, el siguiente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de diferentes concentraciones, y tiempo de exposición de colchicina sobre la morfología foliar y los estomas de *K. daigremontiana*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones del cultivo

Las plántulas (hijuelos) de *Kalanchoe daigremontiana*, se recolectaron de una planta madre, adquirida en el municipio de Villa del Rosario de Norte de Santander (Colombia). Se tomaron 60 hijuelos, con una altura promedio de 1 cm y un sistema radicular desarrollado (Imery y Cequea, 2001). Posteriormente, en cámara oscura las plántulas fueron sometidas a diferentes concentraciones (0,025 y 0,1%: p/v) y tiempos de exposición (24 y 48 h) con colchicina, tomando como control el agua destilada (Tab. 1). Seguidamente, fueron sembrados en bolsas de polietileno de 1 kg en un sustrato compuesto de lombrinaza, cascarilla de arroz y suelo de perfil arcilloso en proporción 1:1:1, bajo condiciones climáticas de la zona, caracterizada por ser un bosque seco tropical a 320 msnm, temperatura promedio de 28,3 °C, humedad relativa del 60% y precipitación promedio anual de 450 mm año⁻¹ (Ramírez, 2007). El estudio se realizó en el laboratorio de fitomejoramiento de la Universidad Francisco de Paula Santander.

Tabla 1. Tratamientos de *Kalanchoe daigremontiana* con diferentes concentraciones y tiempos de exposición con colchicina.

Tratamientos	Concentraciones de colchicina (%)	Tiempo de exposición (h)
T1	0,1	24
T2	0,025	24
T3	Control (H ₂ O)	24
T4	0,1	48
T5	0,025	48
T6	Control (H ₂ O)	48

Estudio morfológico

Para el análisis de la morfología se tuvieron en cuenta las plantas tratadas y los hijuelos que se formaron en los tratamientos. Se calculó el volumen foliar (V) empleando la fórmula empleada por Matos (2014):

$$V = \pi \times LH \times AH \times EH/12 \quad (1)$$

consideraron aspectos como altura de la planta (AP), largo de las hojas (LH), ancho de las hojas (AH), número de hojas (NH), espesor (EH). Las anteriores variables fueron tomadas con una regla milimetrada a excepción del EH, para este se utilizó un calibrador pie de rey. Las mediciones se realizaron cada 15 d, durante 16 semanas después de la siembra. Los hijuelos formados se evaluaron a las 8 semanas.

Características de los estomas

Para las características estomáticas como el ancho, el largo y el número de cloroplasto, se implementó y se modificó la metodología realizada por Ganem *et al.* (2014), donde se utilizó cinta adhesiva transparente, para retirar la epidermis de la zona abaxial de la parte central de la hoja (1 cm² aproximadamente). La cinta se fijó en un porta objeto, posteriormente se colocó la muestra al microscopio compuesto LEICA modelo DME 500 (Leica Microsystems, Buffalo, NY, USA). Al elegir los estomas, se enfocó con el objetivo 100X, esto se repitió 10 veces por accesión. Las fotos obtenidas se analizaron con el *software* Infinity Analyze 6.5 (Release 5.0.3, Lumenera, Ottawa, Canada).

En la determinación del índice estomático (IE), se contó el número de estomas por célula epidérmica

donde el campo de observación contaba con un aumento total de 400X. El IE se calculó utilizando la fórmula implementada por Wilkinson (1979):

$$IE = \frac{NE}{CE + NE} \times 100 \quad (2)$$

donde *NE* es el número de estomas por campo de observación y *CE* número de células epidérmicas en el campo visual. Se hicieron 10 réplicas por tratamiento.

Diseño experimental y análisis estadístico

Consistió en un diseño factorial 3×2 completamente al azar (tres concentraciones y dos tiempos de exposición), con 10 repeticiones por tratamiento, para un total de 60 unidades experimentales. Los datos obtenidos en el análisis morfológico y estomático, se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA). Posteriormente, las medias se compararon utilizando la prueba de rangos múltiples de *HSD* (Diferencia Significativa Honesta) de Tukey, para determinar las diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ (Tukey, 1953). Para el análisis estadístico se utilizó el *software Statgraphic Centurión v. 16.0* (Statpoint, Herndon, VA) y para graficar se implementó el *software KyploT v. 2.0* (Kyence Lab. Tokyo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio morfológico

De acuerdo a la evaluación de las características morfológicas en *K. daigremontiana*, se encontró variación en los tratamientos implementados (Figs. 1 y 2). En la valoración final (semana 16: Tab. 2), se observó diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento con colchicina 0,025% por 24 h (T2) causando un mayor incremento en el largo de la hoja (LH), ancho de la hoja (AH) y volumen foliar (VF), con respecto a los tratamientos control y las demás plantas tratadas, de igual manera el tratamiento 0,025% por 48 h (T5) mostró diferencias significativas en el espesor de la hoja (EH), en la altura de la planta (AP) y número de hijuelos (NHT; Tab. 2; Fig. 2). Del mismo modo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de control (T3, 24 h y T6, 48 h), con medias muy por debajo del resto de los tratamientos en el análisis morfológico (Tab. 2). Es de destacar que solo en los tratamientos 2, 4 y 5

formaron hijuelos en el transcurso de las 16 semanas (Tab. 3 y Fig. 2B). Según lo anterior, los tratamientos T2 y T5 (colchicina 0,025% a 24 y 48 h, respectivamente de exposición) fueron más efectivos, ya que el incremento en la morfología foliar fue más rápido y mayor que los demás tratamientos (Tab. 2 y Figs. 2A, B, C y D). Sin embargo, en los hijuelos del tratamiento 0,025% por 48 h (T5) se encontró mejor desarrollo morfológico y volumen foliar (Tab. 3). Estos resultados difirieron de los encontrados por Sánchez y Matos (2012) y Matos (2014), en donde encontraron que el tratamiento con colchicina 0,10% por 48 h en *Aloe vera* causó incrementos significativos en altura de las plantas (AP), longitud de las hojas (LH) y volumen foliar de los hijuelos. En una investigación realizada por Sadat *et al.* (2017) el tratamiento en el cual se halló mayor altura de la planta en *Trachyspermum ammi* aplicando colchicina, fue al 0,1% durante 6 h. En cuanto a la longitud de la hoja el mejor tratamiento fue de 0,5% por 48 h de colchicina. Además, la aplicación de colchicina generó diferentes tamaños y hojas en las plantas medicinales de *Trachyspermum ammi* y *Tetradenia riparia*, algo similar ocurrió en las hojas de *K. daigremontiana* (Fig. 2D). Según Hannweg *et al.* (2016), la ventaja más importante de la poliploidía inducida es que las plantas obtenidas suelen tener mejor rendimiento y características morfológicas tales como altura, mayor tamaño de hojas, rizoma o raíz. Asimismo, incrementa la biomasa, la capacidad fotosintética, el tamaño de los frutos y semillas (Urwin, 2014). En este estudio, se registraron diferencias altamente significativas en plantas tratadas con colchicina en cuanto a la morfología foliar se pudo apreciar un cambio en las proporciones de las hojas de acuerdo a cada tratamiento esto se puede constatar comparando las medias de variables como largo de hoja (LH) y ancho de la hoja (AH) entre los tratamientos T2 y T5, tomando estos como referencias puesto que presentaron mayor desarrollo (Tabs. 2 y 3; Figs. 1 y 2). Lo anterior representa un indicio muy fuerte de poliploidía (Sadat *et al.*, 2017; Hannweg *et al.*, 2016; Urwin, 2014). Sánchez y Matos (2012), señalaron que en plantas de *A. vera* tratadas con colchicina al 0,05% y 0,10% durante 48 h se logró inducir cambios a nivel morfológico, citogenético y anatómicos. Según Matos (2014), si se expone a mayor tiempo las plantas de *A. vera* con colchicina hasta 48 h, estas inducen cambios morfológicos en las plantas. Debido a que aumenta el número de células meristemáticas en contacto con colchicina, favoreciendo la penetración del alcaloide a las capas celulares durante la actividad mitótica de la misma.

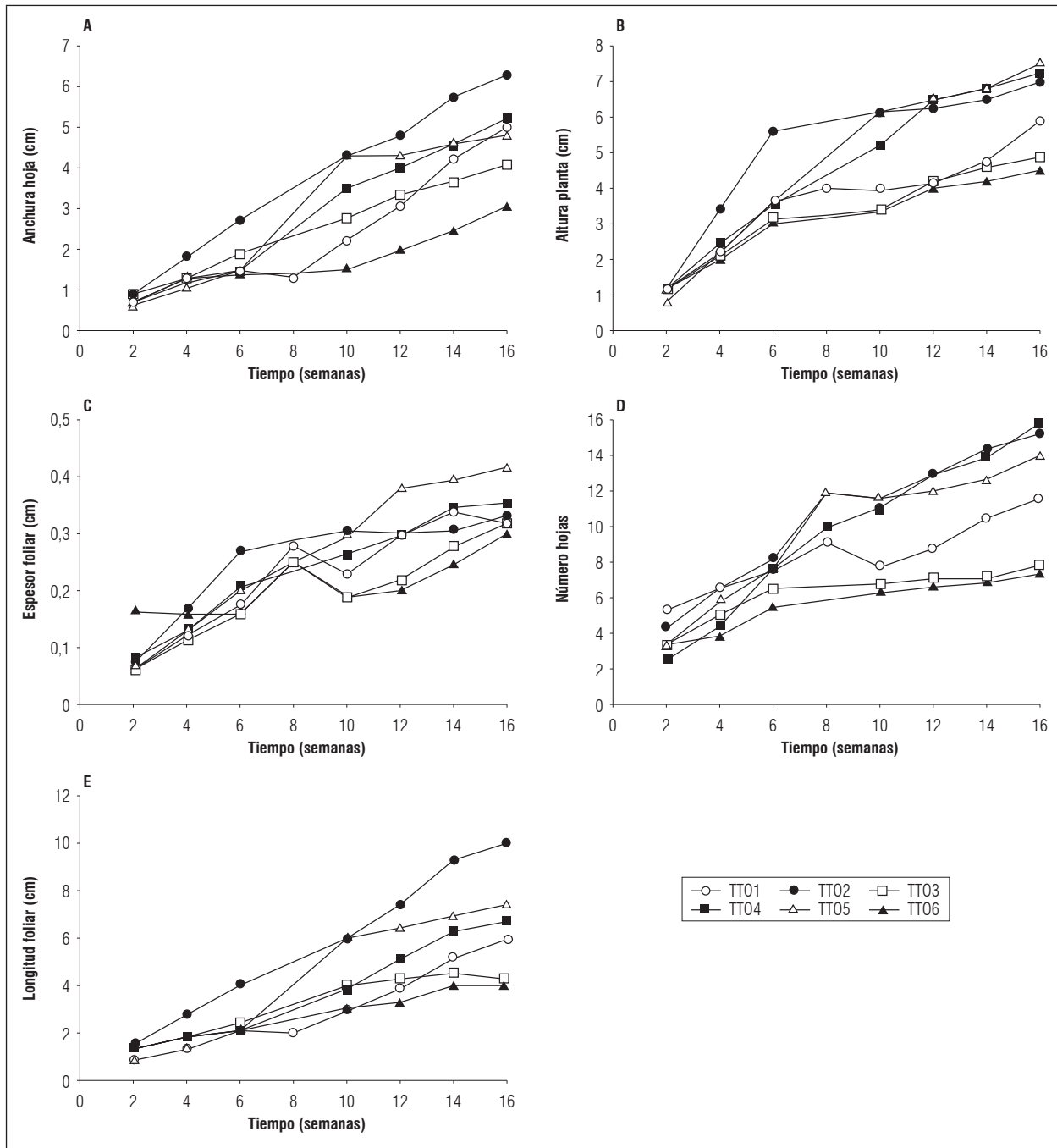


Figura 1. Estudio morfológico de *Kalanchoe daigremontiana*. A. Anchura de la hoja (AH); B. Altura de la planta (AP); C. Espesor foliar (EH); D. Número de hojas (NH); E. Longitud foliar (LH). T1: 0,1% de colchicina por 24 h; T2: 0,025% de colchicina por 24 h; T3: Control (H₂O) por 24 h; T4: 0,1% de colchicina por 48 h; T5: 0,025% de colchicina por 48; T6: Control (H₂O) por 48 h.

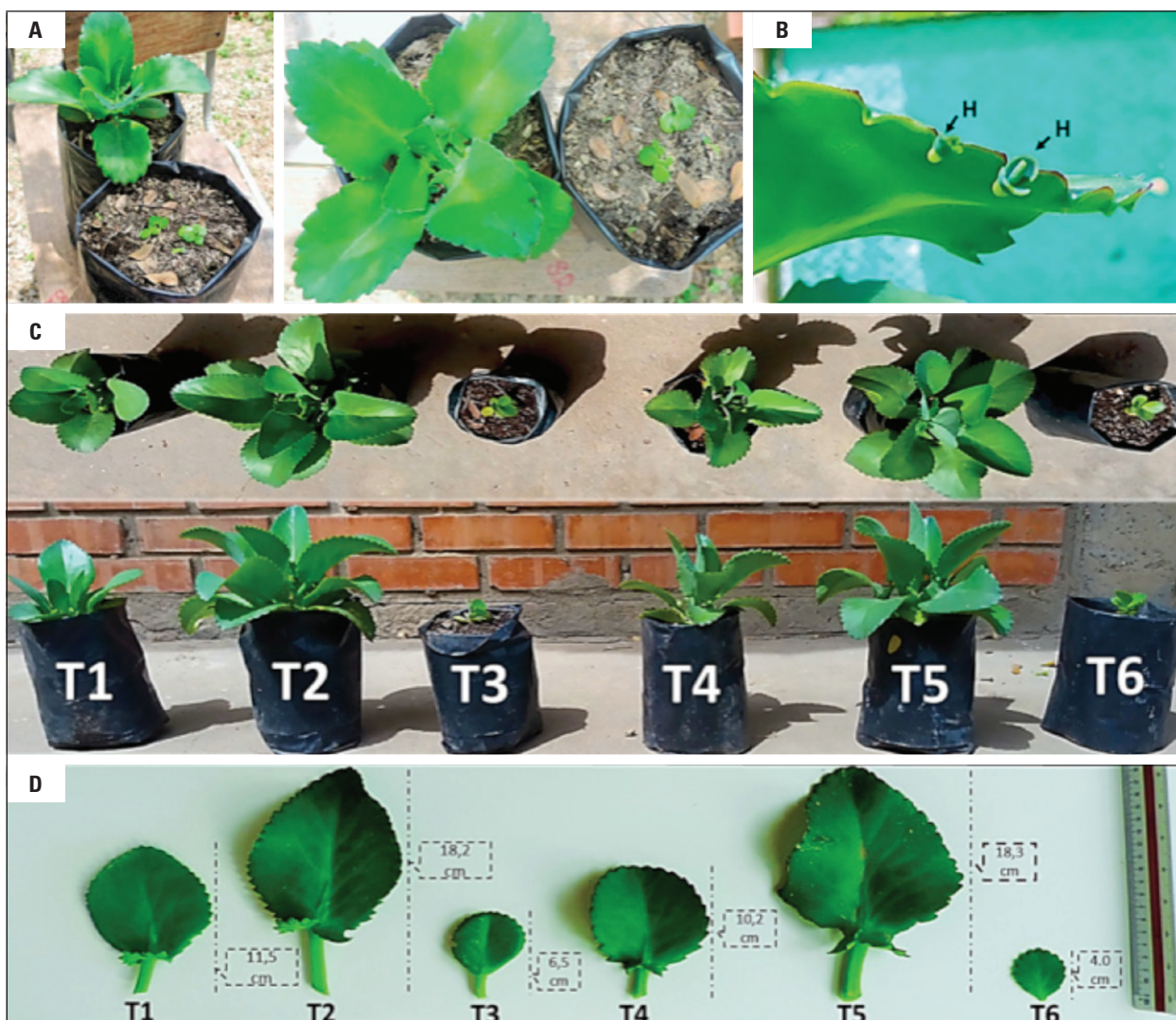


Figura 2. Efecto de la colchicina sobre la morfología foliar de *Kalanchoe daigremontiana*. A. Comparación del T2 con T3 a las 8 semanas; B. Hijuelos formados; C. Comparación de los tratamientos en la semana 16; D. Hojas a las 16 semanas. T1: 0,1% de colchicina por 24 h; T2: 0,025% de colchicina por 24 h; T3: Control (H_2O) por 24 h; T4: 0,1% de colchicina por 48 h; T5: 0,025% de colchicina por 48 h; T6: Control (H_2O) por 48 h.

Tabla 2. Efecto de la colchicina sobre la morfología foliar de *Kalanchoe daigremontiana*. Evaluación realizada a las 16 semanas después de la siembra.

Tratamientos	AP (cm)	NH	LH (cm)	AH (cm)	EH (cm)	VF	NHT
T1: 0,1% colchicina, 24 h	5,9 ab	11,6 b	6,0 ab	4,9 a	0,322 a	2,52 b, c	0
T2: 0,025% colchicina, 24 h	7,0 b	15,4 c	10,1 c	6,3 d	0,33 ab	5,47 e	7
T3: Control (H_2O), 24 h	4,9 a	7,8 a	4,3 a	4,05 ab	0,32 a	1,65 ab	0
T4: 0,1% colchicina, 48 h	7,3 b	16,0 c	6,84 b	5,20 cd	0,36 b	3,37 cd	4
T5: 0,025%, colchicina, 48 h	7,5 b	14,0 c	7,4 b	4,8 bc	0,42 c	3,87 d	19
T6: Control (H_2O), 48 h	4,5 a	7,4 a	4,2 a	3,08 a	0,3 a	1,02 a	0

AP: altura de la planta; NH: número de hojas; LH: longitud foliar; AH: anchura de la hoja; EH: espesor foliar; VF: volumen foliar; NHT: número de hijuelos por tratamiento.

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

Tabla 3. Efecto de la colchicina sobre la morfología foliar de los hijuelos producidos por *Kalanchoe daigremontiana*. Evaluación realizada a las 8 semanas.

Hijuelos	AP (cm)	NH	LH (cm)	AH (cm)	EH (cm)	VF
HT2	1,30 a	6,5 a	0,97 a	0,87 a	0,45 a	0,09 a
HT4	2,48 a	8,25 a	2,51 b	1,69 a	1,30 b	1,72 a
HT5	5,25 b	12,0 b	3,96 c	2,79 b	2,00 b	5,79 b

HT2: hijuelos del tratamiento con 0,025% de colchicina por 24 h; HT4: hijuelos del tratamiento con 0,1% de colchicina por 48 h; HT5: hijuelos del tratamiento con 0,025% de colchicina por 48 h.

Abreviaturas de las variables como en tabla 2.

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

Características de los estomas

En las características estomáticas la concentración de colchicina de 0,025% y 0,10%, en los tiempos de exposición (24 y 48 h), tuvieron un aumento en el tamaño de los estomas (largo y ancho), la cantidad de cloroplastos y en las células guardas de los estomas (Figs. 3 y 4; Tab. 4).

Estos resultados coinciden con los observados por Sadat *et al.* (2017) y Tambong *et al.* (1998) en donde mostraron coeficientes de correlación positivos y significativos, entre el largo y ancho de los estomas y el número de cloroplastos en las células guardas de los estomas. La morfología de los estomas es determinante para controlar la pérdida de agua, lo que posibilita la adaptación de muchas especies vegetales a condiciones ambientales muy diversas (Hetherington y Woodward, 2003). La modificación de las características de los estomas podría ejercer una tarea sustancial en el proceso de aclimatación de una especie al ambiente. Investigaciones anteriores en plantas tetraploides inducidas con colchicina, se ha observado repetidamente que el largo y ancho, como el número de estomas y el número de cloroplastos existentes dentro de las células guardas, cambian significativamente en caso de duplicación del cromosoma, en comparación con el estado diploide (Beck *et al.*, 2003; Urwin *et al.*, 2007). Los cloroplastos son organelos donde se realiza el proceso de la fotosíntesis, por tanto, a mayor número de estos es probable que haya una mayor actividad fotosintética en la planta, sintetizando mayor contenido de materia orgánica (Gordillo *et al.*, 2008). Sadat *et al.* (2017) en una comparación de las características de los estomas en plantas tetraploides y diploides de *Trachyspermum ammi*, mostraron el aumento del largo y ancho de los estomas en plantas tetraploides inducidas con colchicina, en contraste con sus pariente diploides. Igualmente, Zhang *et al.* (2008), encontraron

un mayor número de estomas en plantas tetraploides que en diploides en *Phlox subulata*. En otro estudio, Aryavand *et al.* (2003) concluyeron que el tamaño y el número de los estomas pueden utilizarse para distinguir las plantas tetraploides de las hexaploides en *Aegilops neglecta*. En otras especies, como *Vitis vinifera*, *Triticum monococcum*, *Triticum durum* y *Triticum aestivum* se obtuvieron diferencias significativas en las características estomáticas en plantas poliploides y diploides (Yang *et al.*, 2006; Khazaei *et al.*, 2010).

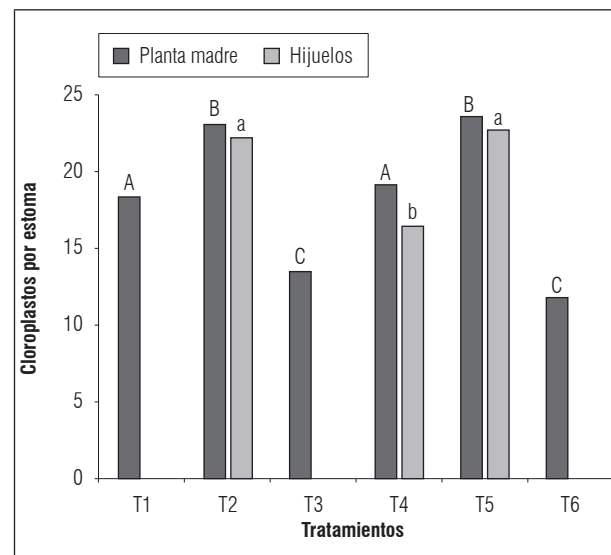


Figura 4. Número de cloroplastos por estoma en *Kalanchoe daigremontiana* tratadas con colchicina a diferentes concentraciones y tiempos de exposición. T1: 0,1% de colchicina por 24 h; T2: 0,025% de colchicina por 24 h; T3: Control (H_2O) por 24 h; T4: 0,1% de colchicina por 48 h; T5: 0,025% de colchicina por 48 h; T6: Control (H_2O) por 48 h. Promedios con letras distintas, para cada planta madre e hijuelos independientes, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey HSD ($P \leq 0,05$).

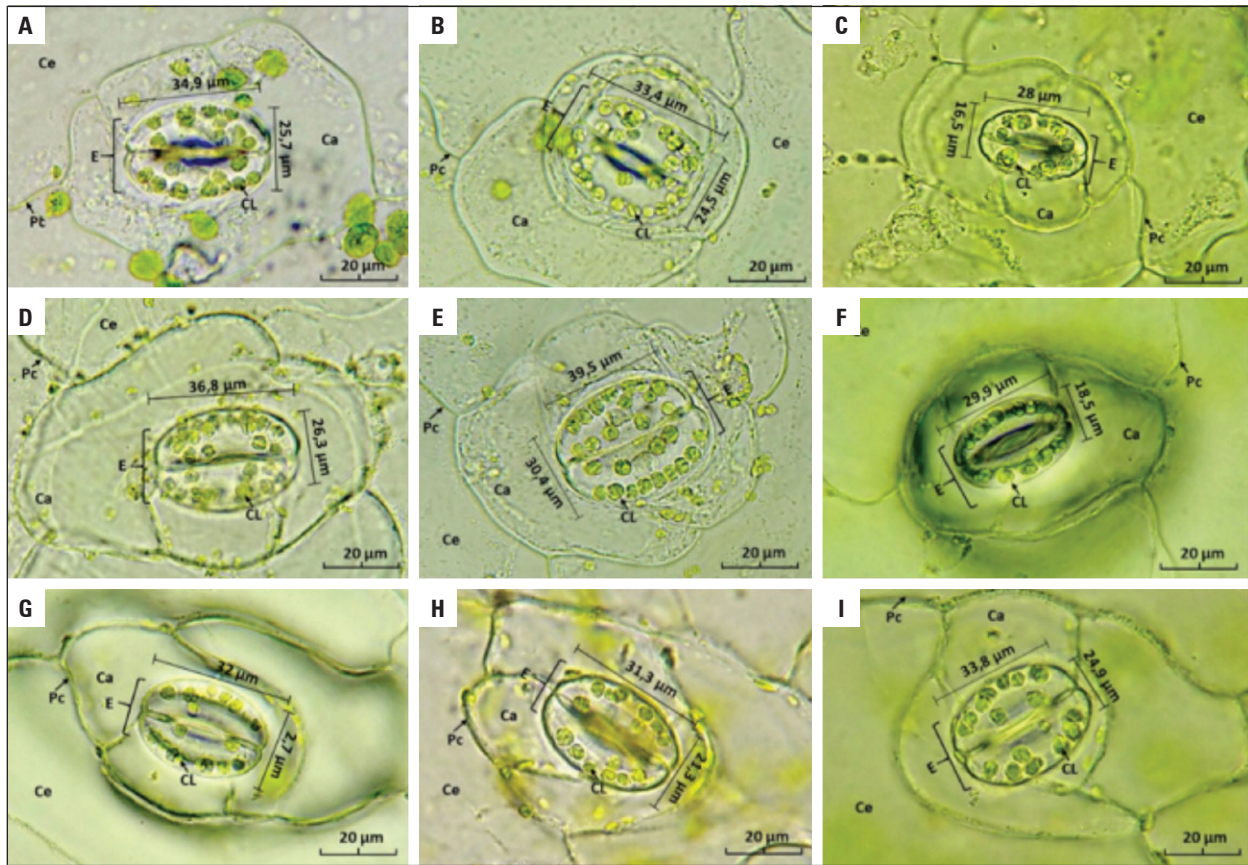


Figura 3. Características de los estomas anisocíticos de la epidermis abaxial de la lámina foliar de *Kalanchoe daigremontiana*. Los tratamientos correspondieron a T1: 0,1% de colchicina por 24 h; T2: 0,025% de colchicina por 24 h; T3: Control (H₂O) por 24 h; T4: 0,1% de colchicina por 48 h; T5: 0,025% de colchicina por 48 h; T6: Control (H₂O) por 48 h. A. Estoma del T1 con 20 cloroplastos (CL); B. Estoma del T2 con 30 CL; C. Estoma del T3 con 10 CL; D. Estoma del T4 con 25 CL; E. Estoma del T5 con 27 CL; F. Estoma del T6 con 11 CL; G. Estoma del hijuelo del tratamiento 2 (HT2) con 18 CL; H. Estoma del HT4 con 15 CL; I. Estoma del HT5 con 17 CL. Ca: célula acompañante; Ce: célula epidérmica; CL: cloroplasto; E: estoma; Pc: pared celular. Aumento total 1.000x. Escala de la barra = 20 μm.

Tabla 4. Características estomáticas de *Kalanchoe daigremontiana* tratadas con colchicina.

Tratamientos	Índice estomático	Largo de estomas (μm)	Ancho de estomas (μm)
T1: 0,1% colchicina, 24 h	22,5 ac	34,9 ac	25,7 ac
T2: 0,025% colchicina, 24 h	22,1 ac	33,4 a	24,5 ac
T3: Control (H ₂ O), 24 h	11,8 b	28 b	16,5 b
T4: 0,1% colchicina, 48 h	19,946 a	36,8 c	26,3 c
T5: 0,025%, colchicina, 48 h	21,652 a	39,5 e	30,4 d
T6: Control (H ₂ O), 48 h	11,78 b	29,9 bd	18,5 bd
HT2: Hijuelos T2	32,402 d	32 d	22,7 ae
HT4: Hijuelos T4	22,148 ac	31,3 d	21,3 de
HT5: Hijuelos T5	28,37 cd	33,8 a	24,9 ac

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

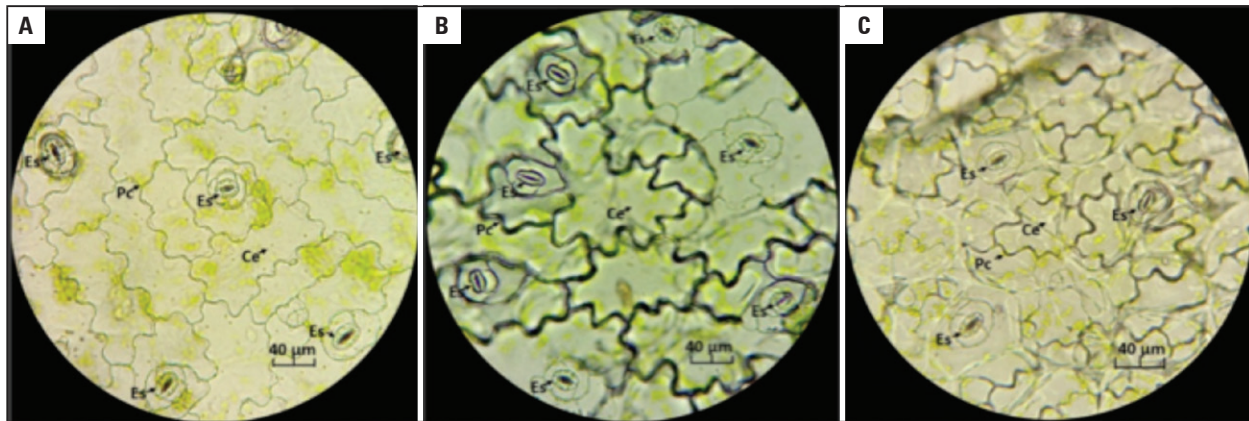


Figura 5. Epidermis abaxial de la lámina foliar de *Kalanchoe daigremontiana* tratada con colchicina. A. Índice estomático a 0,1% de colchicina por 24 h (T1); B. Índice estomático a 0,025% de colchicina por 24 h (T2); C. Índice estomático del control (H2O) por 24 h (T3). Aumento total 400x. Escala de la barra = 40 µm. Ce: célula epidérmica; Es: Estomas; Pc: pared celular.

En el T5 y T2 se hallaron la mayor cantidad de cloroplastos, con una media de 23,6 y 23,0 cloroplastos, respectivamente (Figs. 3 y 4). A diferencia, en los tratamientos control, el cual se observó la menor cantidad de cloroplastos (T3: 13,5 y T6: 11,5). Respecto a los hijuelos de los tratamientos T2 y T5, no presentaron diferencias significativas (HT2: 22,3 y HT5: 22,8). Standring (1990), planteó que el uso de variaciones en el número de cloroplastos de las células oclusivas del estoma, es una manera segura de predecir el nivel de ploidía en algunos o diferentes géneros. Se debe agregar que las modificaciones de los niveles de ploidía presentan una relación con los cloroplastos; si se modifica el número de juegos de cromosomas, estos pueden modificar la cantidad de cloroplastos que presentan las células guardas de los estomas (Orrillo y Bonierbale, 2009).

Con respecto al índice estomático, se observó en el campo visual que los tratamientos T1 y T2 (Figs. 5A y B), una menor cantidad de células epidérmicas dándose un aumento en el número de estomas, posiblemente al aumento en el largo y ancho del estoma. A diferencia del T3 (Fig. 5C) en la cual existe una mayor cantidad de células epidérmicas, con menor número de estomas. Estos hallazgos difirieron de los encontrados por Sadat *et al.* (2017), en cuanto a la densidad estomática, ya que los investigadores demostraron una disminución en el número de estomas por campo visual para plantas tetraploides con respecto a las plantas diploides de *Trachyspermum ammi*. Según Foschi *et al.* (2013) es posible determinar el nivel de ploidía, a través del tamaño y densidad de los estomas, siendo la medición estomática un aspecto muy importante

para determinar los diferentes niveles de ploidía en la mayoría de las especies.

CONCLUSIONES

La aplicación de colchicina a *Kalanchoe daigremontiana* al 0,025% por 24 y 48 h (tratamientos T2 y T5), mejora los rasgos morfológicos como altura de la planta, largo, ancho, y número hojas, espesor y volumen foliar y las características estomáticas. Lo que demuestra que el uso de la colchicina favorece el crecimiento en poco tiempo y aumenta la biomasa en la planta *K. daigremontiana*. Es importante comparar el análisis morfológico y estomático con el conteo de cromosomas y el análisis de citometría de flujo, para determinar el nivel de ploidía (Sadat *et al.*, 2017). Por tal motivo, se plantea la necesidad de realizar estudios adicionales en donde se pueda determinar específicamente el nivel de ploidía en la planta medicinal de *K. daigremontiana*.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Francisco de Paula Santander por su valiosa colaboración. A Margarita Caballero y Virginia Ramírez por su asistencia técnica. A Daniela Gómez Rodríguez y Paola Gómez Rodríguez por su apreciable colaboración.

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

- Abdel-Raouf, H.S. 2012. Anatomical traits of some species of *Kalanchoe* (Crassulaceae) and their taxonomic value. *Ann. Agric. Sci.* 57(1), 73-79. Doi: 10.1016/j.aos.2012.03.002
- Aria, M., M. Angarita, A. Aguirre, J. Restrepo y C. Montoya. 2009. Estrategias para incrementar la producción de metabolitos secundarios en cultivos de células vegetales. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 62(1), 4881-4895.
- Aryavand, A., B. Ehdai, B. Tran, J.G. Waines. 2003. Stomatal frequency and size differentiate ploidy levels in *Aegilops neglecta*. *Genet. Resour. Crop. Evol.* 50, 175-182. Doi: 10.1023/A:1022941532372
- Beck, S.L., R.W. Dunlop y A. Fossey, 2003. Stomatal length and frequency as a measure of ploidy level in black wattle, *Acacia mearnsii* (de Wild). *Bot. J. Linn. Soc.* 141, 177-181. Doi: 10.1046/j.1095-8339.2003.00132.x
- Choque, E., R. Espinoza, X. Cadima, J. Zeballos y J. Gabriel. 2007. Resistencia a helada en germoplasma de papa nativa de Bolivia. *Rev. Latinoam. Papa* 14(1), 24-32.
- Foley, W. y B. Moore. 2005. Plant secondary metabolites and vertebrate herbivores-from physiological regulation to ecosystem function. *Curr. Opin. Plant. Biol.* 8(4), 430-435. Doi: 10.1016/j.pbi.2005.05.009
- Foschi, M., L. Martínez, M. Ponce, C. Galmarini y B. Bohanec. 2013. Effect of colchicine and amiprofos-methyl on the production of *in vitro* doubled haploid onion plants and correlation assessment between ploidy level and stomatal size. *Rev. Fac. Cienc. Agrar.* 45(2), 155-164.
- Ganem, D., M. Equiza, M. Lorenzo y J. Tognetti. 2014. Cambios en la anatomía epidérmica foliar de cereales de clima templado en respuesta al frío. *Rev. Fac. Agron. Univ. Nac. La Plata* 113(2), 157-164.
- Garcês, H., C. Champagne, B. Townsley, S. Park, R. Malhó, M. Pedroso, J. Harada y N. Sinha. 2007. Evolution of asexual reproduction in leaves of the genus *Kalanchoë*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104(39), 15578-15583. Doi: 10.1073/pnas.0704105104
- Gordillo, F., F. Zárate, C. Mejía, L. Rivera y H. Calderón. 2008. Análisis de la actividad fotosintética de plantas de café utilizando la técnica fotoacústica. *Rev. Colomb. Física* 40(1), 186-189.
- Hannweg, K., G. Visser, K. Jager y I. Bertling. 2016. *In vitro*-induced polyploidy and its effect on horticultural characteristics, essential oil composition and bioactivity of *Tetradenia riparia*. *S. Afr. J. Bot.* 106, 186-191. Doi: 10.1016/j.sajb.2016.07.013
- Herrera, I., N. Chacón, S. Flores, D. Benzo, J. Martínez, B. García y J. Hernández-Rojas. 2011. La planta exótica *Kalanchoe daigremontiana* incrementa el reservorio y flujo de carbono en el suelo. *Interciencia* 36(12), 937-942.
- Hetherington, A. y F. Woodward. 2003. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature* 424, 901-908. Doi: 10.1038/nature01843
- Imery, J.H. y H. Cequea. 2001. Colchicine-induce autotetraploid in *Aloe vera* L. *Cytologia* 66, 409-413. Doi: 10.1508/cytologia.66.409
- Khazaei, H., P. Monneveux, S. Hongbo y S. Mohammady. 2010. Variation for stomatal characteristics and water use efficiency among diploid, tetraploid and hexaploid Iranian wheat landraces. *Genet. Resour. Crop Evol.* 57, 307-314. Doi: 10.1007/s10722-009-9471-x
- Kolodziejczyk-Czepas, J., M. Sieradzka, B. Moniuszko-Szajwal, L. Peciob, M. Ponczek, P. Nowak y A. Stochmal. 2017. Bufadienolides from *Kalanchoe daigremontiana* as thrombin inhibitors: *In vitro* and *in silico* study. *Int. J. Biol. Macromol.* 99, 141-150. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.02.051
- Majaz, Q., S. Nazim, S. Afsar, S. Siraj y P. Siddik. 2011. Evaluation of antimicrobial activity of roots of *Kalanchoe pinnata*. *Int. J. Pharmacol. Bio. Sci.* 5(1), 93-96.
- Matos, Á. 2014. Efecto de diferentes concentraciones y tiempos de exposición de la colchicina en plantas de zábila [*Aloe vera* (L.) Burm. f.] *in vivo*. *Multiciencias* 14(4), 382-388.
- Mora-Pérez, A. y M.R. Hernández-Medel. 2016. Actividad anticonvulsivante del extracto metanólico de tallo y raíz de *Kalanchoe pinnata* Lam. en ratones: comparación con diazepam. *Neurología* 31(3), 161-168. Doi: 10.1016/j.nrl.2015.06.008
- Okwu, D.E. y F.U. Nnamdi. 2011. Two novel flavonoids from *Bryophyllum pinnatum* and their antimicrobial activity. *J. Chem. Pharm. Res.* 3(2), 1-10.
- Orrillo, M. y M. Bonierbale. 2009. Manual técnico biología reproductiva y citogenética de la papa. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú.
- Planchais, S., N. Glab, D. Inzé y C. Bergounioux. 2000. Chemical inhibitors: a tool for plant cell cycle studies. *FEBS Letters* 476(1-2), 78-83. Doi: 10.1016/S0014-5793(00)01675-6
- Poggio, L., S.M. Espert y R. Fortunato. 2008. Citogenética evolutiva en leguminosas americanas. *Rodriguésia* 59(3), 423-433.
- Puertas, M., J. Tobón y V. Arango. 2014. *Kalanchoe daigremontiana* Raym.-Hamet. & H. y su potencial uso como fuente de antioxidantes y colorantes naturales. *Rev. Cubana Plant. Med.* 19(1), 61-68.
- Quintero, M., R. Behar, C. García, D. Pupo, M. Hernández, J. Díaz y F. Pérez. 2009. *Aloe gel viscoso*® en el tratamiento de pacientes con úlcera duodenal y *Helicobacter pylori* positivo. *Rev. Cubana Plant. Med.* 14(4), 1-6.

- Ramírez L., Y.A. 2007. Cúcuta. pp. 135-155. En: Hermelín, M. (ed.). Entorno natural de 17 ciudades de Colombia. Ediciones Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Sadat, S., M. Norouzi, G. Karimzadeh, K. Shirkooy y M. Niazian. 2017. Effect of colchicine-induced polyploidy on morphological characteristics and essential oil composition of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.). *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 130, 543-551. Doi: 10.1007/s11240-017-1245-0
- Salahdeen, H.M. y O.K. Yemitan. 2006. Neuropharmacological effects of aqueous leaf extract of *Bryophyllum pinnatum* in mice. *Afr. J. Biomed. Res.* 9. 101-107. Doi: 10.4314/ajbr.v9i2.48782
- Sánchez, A. y Á. Matos. 2012. Efectos del uso de la colchicina como inductor de poliploidía en plantas de zábila (*Aloe vera* L.) *in vivo*. *Rev. Univ. Zulia* 3(6), 119-139.
- Sattler, M., C. Carvalho y W. Clarindo. 2016. The polyploidy and its key role in plant breeding. *Planta* 243(2), 281-296. Doi: 10.1007/s00425-015-2450-x
- Saz-Peiró, P. y M.C. Tejero-Lainez. 2016. Fitoterapia en la prevención y tratamiento del cáncer. *Medicina Naturalista* 10(2), 88-99.
- Standring, L., G. Pringle y B. Murray. 1990. The control of chloroplast number in *Solanum muricatum* Ait. and *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. and its value as an indicator of polyploidy. *Euphytica* 47(1), 71-77. Doi: 10.1007/BF00040366
- Tambong, J., V. Sapra y S. Garton. 1998. *In vitro* induction of tetraploids in colchicine-treated cocoyam plantlets. *Euphytica* 104, 191-197. Doi: 10.1023/A:1018609020397
- Tkalec, M., D. Car, J. Gospočić, I. Križaić, K. Duž y Ž. Vidaković-Cifrek. 2012. Response of *Kalanchoe daigremontiana* to wounding and infection with *Agrobacterium tumefaciens*. *Period. Biol.* 114(1), 83-90.
- Tukey, J.W. 1953. The problem of multiple comparisons. pp. 1-300. En: Braun, H.L. (ed.). The collected works of John W. Tukey. Vol. 8. Multiple comparisons: 1948-1983. Chapman and Hall, New York, NY, USA.
- Urwin, N.A.R. 2014. Generation and characterisation of colchicine-induced polyploid *Lavandula* × *intermedia*. *Euphytica* 197(3), 331-339. Doi: 10.1007/s10681-014-1069-5
- Urwin, N.A.R., J. Horsnell y T. Moon. 2007. Generation and characterisation of colchicine-induced autotetraploid *Lavandula angustifolia*. *Euphytica* 156, 257-266. Doi: 10.1007/s10681-007-9373-y
- Wilkinson, H. 1979. The plant superface (mainly leaf). pp. 97-165. En: Metcalfe, C.R. y L. Chalk (eds.). Anatomy of dicotyledons. Clarendon Press, Oxford, UK.
- Yang, X.M., Z.Y. Cao, L.Z. An, Y.M. Wang y X.W. Fang. 2006. *In vitro* tetraploid induction via colchicine treatment from diploid somatic embryos in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Euphytica* 152, 217-224. Doi: 10.1007/s10681-006-9203-7
- Zhang, Z., H. Dai, M. Xiao y X. Liu. 2008. *In vitro* induction of tetraploids in *Phlox subulata* L. *Euphytica* 159, 59-65. Doi: 10.1007/s10681-007-9457-8

Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia

Physiological performance of nine cacao (*Theobroma cacao* L.) genotypes under the shadow of three forest species in Santander, Colombia



GENARO ANDRÉS AGUDELO-CASTAÑEDA^{1, 5}
JORGE CADENA-TORRES²
PEDRO JOSÉ ALMANZA-MERCHÁN³
ELBERTH HERNANDO PINZÓN-SANDOVAL⁴

Cacaos especiales con maderas finas tropicales.

Foto: G.E. Palencia-Calderón

RESUMEN

En la actualidad, Colombia tiene 173.000 ha cultivadas con *Theobroma cacao*, de las cuales la mayoría están establecidas en asocio con árboles frutales o maderables, además de proveer sombra pueden generar ingresos para el cacaocultor. Para seleccionar especies que conforman el arreglo agroforestal, es necesario considerar los requerimientos ecofisiológicos de los genotipos de cacao y la interacción con su entorno agroecológico, incluido el sombrío. El objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento fisiológico de nueve clones de cacao establecidos en sistema agroforestal con *Cariniana pyriformis*, *Hevea brasiliensis* en El Carmen de Chururí y *C. pyriformis*, *Tectona grandis* en Rionegro, Santander. Se realizó seguimiento a la tasa de fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática y uso eficiente del agua, tanto en la época húmeda, como en la seca. Los resultados mostraron que los sistemas de sombrío influyen sobre las tasas de fotosíntesis que presentan las plantas de cacao. Estos clones establecidos bajo el sistema de sombrío con *C. pyriformis*, presentan mayores tasas de fotosíntesis ($5,39 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), en la época húmeda y seca. Lo anterior se atribuyó al tipo de crecimiento y sombra proveída por esta especie, que ofrece mejores condiciones ambientales para el desempeño fisiológico del cacao. Se recomienda esta especie forestal como sombrío, para el establecimiento de nuevas

¹ Centro de Investigación La Suiza, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Rionegro (Colombia). ORCID Agudelo-Castañeda, G.A.: 0000-0002-0469-1406

² Centro de Investigación Turipaná, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Cereté (Colombia). ORCID Cadena-Torres, J.: 0000-0002-5180-2893

³ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja (Colombia). ORCID Almanza-Merchán, P.J.: 0000-0002-9207-0617

⁴ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja (Colombia). ORCID Pinzón-Sandoval, E.H.: 0000-0001-9229-3450

⁵ Autor para correspondencia. gagudelo@corpoica.org.co

áreas de cacao en el departamento de Santander. Individualmente, los clones de cacao con el mejor comportamiento ecofisiológico fueron TCS19 y TCS13, por lo que se constituyen en genotipos de importancia agronómica.

Palabras clave adicionales: agroforestería, cultivares de cacao, producción de cultivos, *Cariniana pyriformis*, variación estacional, respuesta fisiológica.

ABSTRACT

At present, Colombia has 173,000 ha cultivated with *Theobroma cacao*, most of which are established in association with fruit or timber trees that provide shade, that can generate income for cocoa growers. In order to select species that make up the agroforestry system, it is necessary to consider the ecophysiological requirements of *T. cacao* genotypes and the interaction with the agroecological environment, including shade. The objective of this research was to evaluate the physiological performance of nine cocoa clones established in an agroforestry system with *Cariniana pyriformis*, *Hevea brasiliensis* (Carmen) *Cariniana pyriformis*, and *Tectona grandis* (Rionegro, Santander province). The photosynthesis rates, transpiration, stomatal conductance and efficient use of water in cocoa clones was monitored in the wet and dry season. The results showed that shade systems influence the photosynthetic rates of cocoa plants. The clones established under the shade system with *C. pyriformis* presented higher rates of photosynthesis ($5.39 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), both in the wet season and in the dry season. This was attributed to the type of growth and shade provided by this species, which offers better environmental conditions for the physiological performance of cocoa. As a result, this forest species is recommended for shading in the establishment of new areas of *T. cacao* in the Department of Santander. Individually, the cocoa clones with better ecophysiological behavior included TCS19 and TCS13, making their genotypes agronomically important.

Additional key words: agroforestry, cocoa cultivars, crop production, *Cariniana pyriformis*, seasonal variation physiological response.

Fecha de recepción: 01-09-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) se ha convertido en un reglón de importancia agrícola en diferentes países, debido a sus múltiples usos, como la elaboración de chocolates y productos derivados (Jaimez *et al.*, 2008). En Colombia, el área sembrada está alrededor de 173.000 ha con una producción de 56.785 t año⁻¹ e grano seco. Santander es el primer productor con el 38,9% de la producción nacional, seguido por Arauca con 11,3% y Antioquia con 9,3% (Fedecacao, 2017). Las siembras en Colombia se han realizado con materiales híbridos trinitarios y amazónicos, descendientes de híbridos y clones introducidos (García, 2014). Por tal razón, se cuenta con diversidad genética adaptada a los parámetros climáticos diversos, que se presentan en las zonas agroecológicas donde se cultiva (Almeida y Valle, 2007). *Theobroma cacao* por su hábito de

crecimiento, se ha sembrado en asocio con especies como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), plátano (*Musa* sp.) como sombríos transitorios; mientras frutales y maderables como sombríos permanentes, los cuales además de proveer sombra le permiten al agricultor tener otras alternativas de ingreso que inicie la producción de *T. cacao* (Mejía y Palencia, 2004). Corpoica, desde el año 1998 ha colectado, evaluado y seleccionado materiales genéticos de *T. cacao* en fincas de productores, los cuales se vincularon a las colecciones Selección Colombia (SC) y Selección Colombia Corpoica (SCC) (Arguello *et al.*, 1999). A partir de estos, se seleccionaron ocho genotipos y un testigo para evaluaciones regionales, los cuales se establecieron en modelos agroforestales con maderas finas tropicales, partiendo del hecho de

que la planta de *T. cacao* no es tolerante a niveles altos de radiación (Jaimez *et al.*, 2008). En Colombia son escasas las investigaciones que permitan entender las relaciones ecofisiológicas que se establecen entre especies de los sistemas agroforestales. En esta investigación se estudió el comportamiento ecofisiológico de nueve clones de *T. cacao*, establecidos en sistemas agroforestales en combinación con dos especies forestales en los municipios de El Carmen de Chucurí y Rionegro, Santander. Lo anterior con el fin de evaluar el desempeño fisiológico de los clones, bajo los sistemas de sombrero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron plantaciones de *T. cacao* establecidas en el año 2008 en dos localidades del departamento de Santander (Colombia). La primera en el municipio de El Carmen de Chucurí ubicada a 298 msnm, temperatura promedio del aire 30 °C, precipitación media anual de 1.800 mm y luminosidad máxima de 2.100 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fotones; la segunda localidad en el municipio de Rionegro en el centro de investigación La Suiza con una altitud de 550 msnm, temperatura promedio del aire 25°C, precipitación media anual mayor a 2.000 mm y luminosidad máxima de 1.800 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fotones. Estos datos fueron registrados mediante estaciones meteorológicas establecidas en cada localidad (Watchdog serie 2000, Spectrum Technologies Inc, Aurora, IL, USA). En Rionegro, los clones contaban con sombrero constituido por árboles de abarco (*Cari-niana pyriformis* Miers) y teca (*Tectona grandis* L.f.) con alturas de 12 m en promedio a una densidad de 340 árboles/ha; en El Carmen, los clones contaban con sombrero constituido por árboles de abarco y caucho (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.) con alturas promedio de 14 m y densidad de 340 árboles/ha. Los clones regionales de cacao evaluados fueron: *Theobroma* Corpoica La Suiza (TCS) 13, 19; Selección Colombia Corpoica (SCC) 53, 82, 83; Colección Corpoica La Suiza (CCS) 73, 77, 80 e Imperial College Selection (ICS) 95, establecidos a 3×3 m para una densidad de 900 plantas/ha. Las evaluaciones de fotosíntesis se realizaron durante el 2016 en plantaciones de cacao de ocho años de edad, en plena producción.

Se realizaron mediciones ecofisiológicas a los clones, registrando la radiación fotosintéticamente activa (PAR), tasa de fotosíntesis neta (*A*), tasa de transpiración (*E*), conductancia estomática (*g_s*) y eficiencia instantánea en el uso del agua (*EUA*), mediante el uso

de un equipo portátil de intercambio gaseoso (ADC Lc Pro, Hoddesdon, UK). Se realizaron mediciones en época húmeda y seca, correspondientes a épocas de mayor y menor intensidad de lluvia. Para las medidas de intercambio gaseoso se utilizó la cuarta o quinta hoja de la rama localizada en el tercio medio del dosel del árbol. Las mediciones se realizaron entre las 08:00 y las 12:00 h, bajo condiciones de la radiación natural para cada sistema agroforestal, conservando la posición natural de la hoja con respecto a la radiación incidente.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 18 tratamientos correspondientes al arreglo de nueve clones de cacao bajo dos sistemas de sombrero y dos épocas del año, en un arreglo factorial 9×2×2. Con los resultados obtenidos se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias entre tratamientos ($P \leq 0,05$). En caso de detectar diferencias estadísticas, se realizaron pruebas de comparación de medias utilizando la prueba HSD de Tukey. El análisis de los datos se realizó utilizando el paquete estadístico SAS v. 9.3. En total se realizaron cuatro mediciones, dos en época seca y dos en época húmeda. Para la medición se utilizó un flujo entre 197,3 y 201,7 $\mu\text{moles s}^{-1}$, a la concentración ambiental de CO_2 (381 g m^{-3}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mediciones se realizaron en dos épocas, una de mayor precipitación (época húmeda) y otra de menor precipitación (época seca). Al momento de la medición se tomaron muestras con el fin de determinar la humedad actual del suelo, las cuales se secaron posteriormente en horno mufla a 70°C para determinar la humedad por diferencia de pesos. En la tabla 1, se presentan los valores promedios de la humedad del suelo para cada una de las épocas. Los resultados mostraron mayor disponibilidad de agua en el suelo en la época húmeda, con 25,32%. Con relación a los sistemas agroforestales, el sistema con abarco presentó mayor contenido de humedad en las dos épocas posiblemente porque esta es una especie de menor extracción.

Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

Los análisis de varianza realizados a la PAR que llega al dosel del *T. cacao* en los diferentes sistemas de sombrero, no detectaron diferencias entre las especies.

Tabla 1. Humedad del suelo (%) en época húmeda y seca en dos sistemas agroforestales de cacao en Santander (Colombia).

Localidad	Tipo sombrío	Época seca	Época húmeda
El Carmen	<i>C. pyriformis</i>	18,00	25,00
	<i>H. brasiliensis</i>	15,50	24,00
Rionegro	<i>C. pyriformis</i>	20,50	26,80
	<i>T. grandis</i>	19,50	25,50
Media		18,37	25,32
Coeficiente de variación (%)		7,18	8,20
Desviación estándar		1,82	2,06

Esto indica que los sistemas de sombrío presentan similar capacidad de proveer sombra al cacao. En El Carmen el sombrío *H. brasiliensis* permitió una radiación de $570,6 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fotones en el dosel del *T. cacao*, mientras que *C. pyriformis* permitió una PAR de $489,46 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fotones. En Rionegro, *C. pyriformis* permitió un nivel de radiación de $697,74 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fotones mientras *T. grandis* permitió $586,71 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fotones. Los anteriores niveles de PAR son adecuados para el cultivo de *T. cacao* e indica que los sombríos evaluados proveen un nivel de sombra aproximado que oscila entre el 60 y 70%, tomando como base la radiación PAR en un día soleado en Santander ($1.800 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fotones). Estos valores que están acordes a lo mencionado por Jaimez *et al.* (2008) y Quiroz (2010), donde recomiendan que el nivel de sombrío para el cultivo del cacao debe estar entre 50 y 70% para que las plantas logren mayores tasas fotosintéticas, según las evaluaciones en cacao en el Ecuador y Venezuela. Sin embargo, es indispensable tener en cuenta las condiciones climáticas de cada zona donde se establece el cultivo.

Al comparar las épocas húmeda y seca, en relación con la PAR proveída por los sombríos, se encontraron diferencias entre las especies (Fig. 1). La radiación incidente sobre las plantas de *T. cacao* fue superior en la época seca, especialmente cuando se usa el sombrío con *H. brasiliensis*. Lo anterior se debe a una mayor radiación incidente en la época de verano, sumado al deshoje natural de los árboles de sombrío durante la época seca, especialmente en *H. brasiliensis* (Rivano, 2015). En El Carmen, el sombrío con *C. pyriformis* provee niveles de PAR sobre el dosel de *T. cacao*, que aumentan de $476,53 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en época húmeda a $502,38 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en época seca, representando un incremento de 5,4%. Para el caso del sombrío con *H. brasiliensis* la radiación PAR pasa de $456,25 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en época húmeda a $684,96 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$

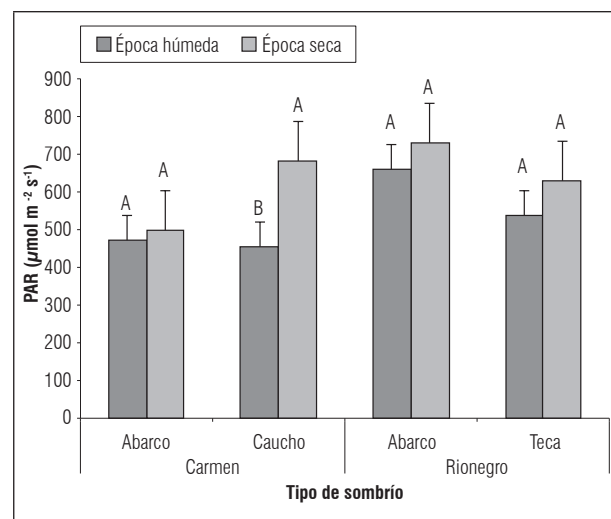


Figura 1. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente sobre el dosel de clones de cacao bajo diferentes sombríos en época seca y húmeda en las localidades de El Carmen y Rionegro, Santander (Colombia). Las barras sobre columnas corresponden a error estándar ($n=36$). Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

en época seca, representando un aumento del 50%. Por su parte en Rionegro, el sombrío con *C. pyriformis* presenta radiación PAR incidente sobre el dosel del *T. cacao* de $662,9 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en época húmeda y $732,57 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en época seca, lo cual representa un incremento del 10,5%. En *T. grandis*, la radiación pasa de $540,3 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en época húmeda a $633,11 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en época seca, lo que representa un incremento del 17,2%. Estos resultados permiten concluir que el deshoje natural que ocurre en las especies arbóreas usadas como sombrío permanente en cultivos de *T. cacao*, durante la época seca inciden en los niveles de radiación sobre el cultivo, encontrando

en este caso que la especie *H. brasiliensis*, dado su gran deshoje natural en época de verano, presenta los más grandes incrementos en la radiación incidente. Esto limitaría el uso de esta especie como sombrío permanente del cultivo de cacao en zonas donde la época seca es muy drástica o prolongada. *T. grandis* por su parte, presenta deshoje natural en la época seca en menor proporción, por lo tanto, esta especie se puede utilizar como sombrío permanente para cacao en zonas con épocas secas poco prolongadas. Por el contrario, se observan las bondades de la especie *C. pyriformis*, quién presenta menor porcentaje de deshoje natural en la época seca, lo cual permite mantener niveles de radiación adecuados para el cultivo de cacao durante todo el año.

Tasa de fotosíntesis neta (A)

Efecto de los sistemas agroforestales

Con relación a los sistemas agroforestales, se detectaron efectos de los sistemas de sombrío ($P \leq 0,05$), específicamente en la localidad de Rionegro. En este caso, se presentó mayor *A* en los clones establecidos bajo el sombrío con *C. pyriformis*, con valores de $5,39 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ comparada con tasas de $5,05 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en los clones bajo sombrío con *T. grandis*. En El Carmen, no se detectaron efectos significativos ($P > 0,05$), del sistema de sombrío, sin embargo, la tendencia indica que *A* del *T. cacao* son mayores bajo sombrío con *C. pyriformis* que con *H. brasiliensis* ($4,75$ y $4,57 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente) (Fig. 2).

Efecto de la época y el sistema agroforestal

Considerando la época del año, se encontró que *A* se reducen en la época seca en El Carmen, pero no en Rionegro (Fig. 3). En efecto, en El Carmen las tasas de *A* pasaron de $4,94 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en época húmeda a $4,38 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en época seca. Por su parte en Rionegro las tasas de fotosíntesis se mantienen muy similares tanto en época húmeda $5,32 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ como en época seca $5,12 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3). Aunque durante la época seca en esta última localidad se redujo sustancialmente, probablemente los sombríos utilizados en Rionegro al presentar un menor deshoje, brindaron un mayor sombrío al *T. cacao* y permiten mantener una mayor disponibilidad de humedad en el suelo durante la época seca, lo que permite mantener la actividad fisiológica de los mismos.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Joly y Hahn (1989); Tezara *et al.* (2008), Pereyra *et al.* (2007) y Cao *et al.* (2009), donde se determina que la *A* se disminuye en las épocas secas, debido al cierre

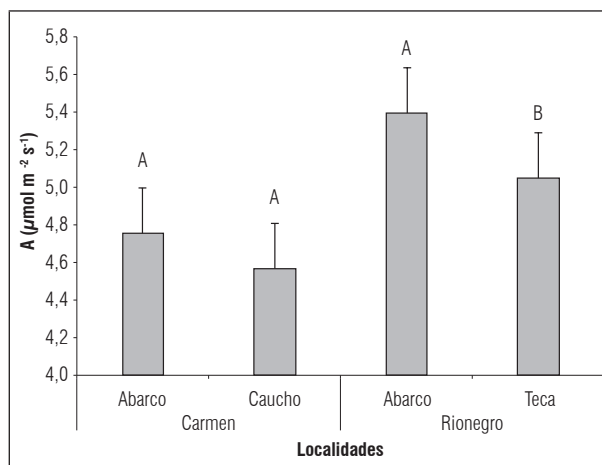


Figura 2. Efecto del sombrío sobre la tasa fotosintética neta (*A*) de clones de cacao en las localidades de El Carmen y Rionegro, Santander (Colombia). Las barras sobre columnas corresponden al error estándar ($n=72$). Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

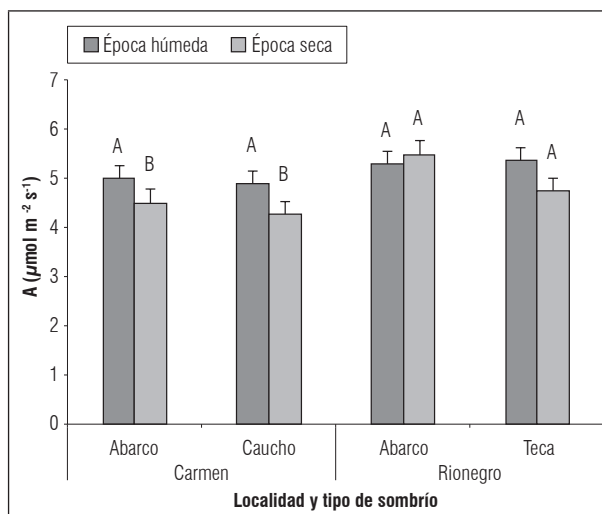


Figura 3. Efecto de la época del año sobre la tasa fotosintética neta de clones de cacao en las localidades de El Carmen y Rionegro, Santander (Colombia). Las barras sobre columnas corresponden a error estándar ($n=36$). Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

parcial de las estomas y a la disminución de la transpiración e intercambio gaseoso en las hojas de las plantas (Taiz y Zeiger, 2010; García, 2014). Por otra parte, la resistencia estomática (g_s) en El Carmen pasó de $80,69 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en época húmeda a $73,19 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en época seca, en Rionegro, pasó de $100,69 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en época húmeda a $94,84 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en época seca, lo que demuestra el cierre parcial de estomas y mayor resistencia al flujo de CO_2 en los clones durante los periodos de verano.

Con relación al comportamiento individual de los clones, el desempeño A no tiene efectos significativos en las dos localidades. Se encontró que, en El Carmen durante la época húmeda, el clon TCS19 presenta la mayor A con $5,63 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En Rionegro, localidad menos afectada por la baja precipitación en la época seca, igualmente el clon TCS19 presenta las mayores tasas de fotosíntesis, tanto en época húmeda como en época seca, con valores de $5,38$ y $5,95 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente (Figs. 4 y 5).

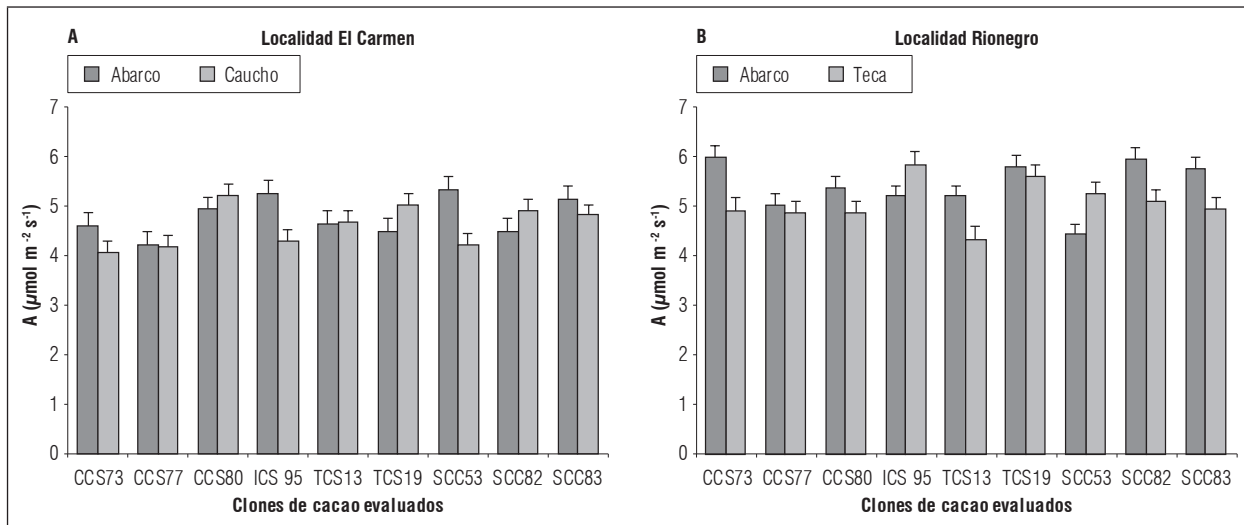


Figura 4. Efecto del sistema de sombrero sobre la tasa fotosintética neta (A) de clones de cacao en las localidades de El Carmen y Rionegro, Santander (Colombia). Las barras sobre columnas corresponden a error estándar ($n=8$).

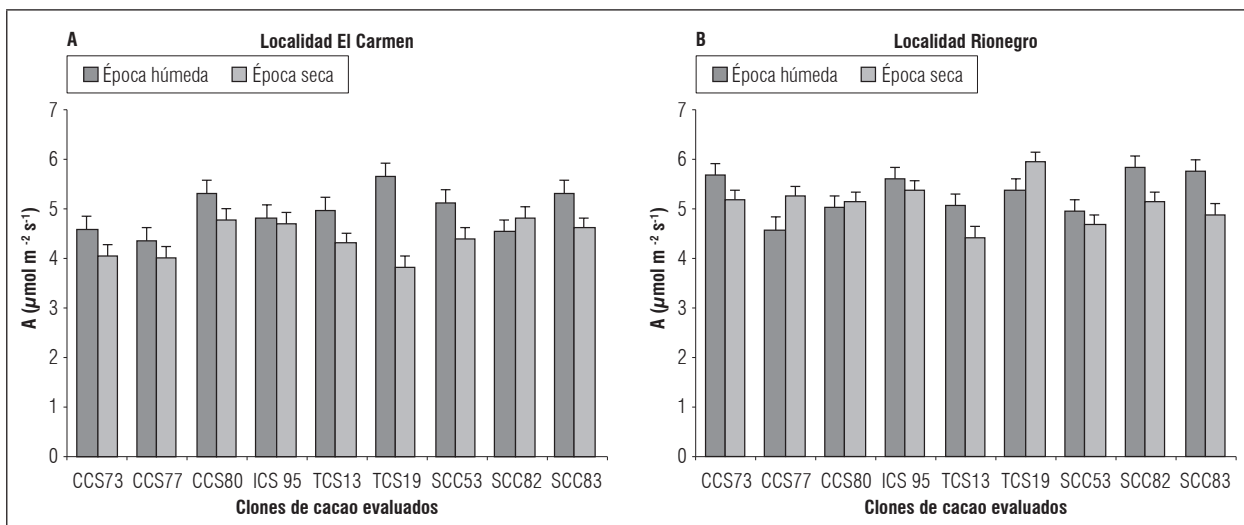


Figura 5. Efecto de la época sobre la tasa fotosintética de los clones de cacao en las localidades de El Carmen y Rionegro, Santander (Colombia). Las barras sobre columnas corresponden a error estándar ($n=8$).

Estos estudios permiten concluir que la A de los clones de cacao, bajo los sombríos con *C. pyriformis*, *T. grandis* y *H. brasiliensis*, se ajusta a los valores considerados adecuados para este cultivo. De hecho, las tasas de A encontrados en estos experimentos fueron superiores a las reportadas en los estudios realizados por Jaimez *et al.* (2008) y Villa (2016). Es de resaltar a *C. pyriformis* dentro de estos sistemas de sombrío, por presentar las mayores tasas de A en los clones bajo este sombrío, lo que podría redundar en mayor disponibilidad de fotoasimilados para las plantas de *T. cacao* y por ende en mayor capacidad productiva (Ribeiro *et al.*, 2008).

La fotosíntesis en *T. cacao* responde de manera diferencial a los niveles de luz presentes en los sistemas y a la genética de cada uno de los cultivares que conlleven a respuestas en los aparatos fotosintéticos (Taiz y Zeiger, 2010). En general mayores tasas fotosintéticas están asociadas a mayor capacidad de asimilación de CO_2 , mayor concentración de la clorofila, mayores niveles de nitrógeno y proteínas en las hojas, mayor actividad de la Rubisco, mayor desarrollo de los cloroplastos y mejor metabolismo en la planta (Ribeiro *et al.*, 2008).

Los valores promedios A registrados fueron superiores a los reportados por otros autores para cacao. Por ejemplo, Jaimez *et al.* (2008), en una evaluación de 53 accesiones de *T. cacao* en el estado de Zulia en Venezuela, reportan valores de A entre 4,0 y 4,4 $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; estudios recientes en Colombia reportan valores de A entre 3,6 y 18,1 $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ que varían con el manejo de la copa y la posición de las ramas y hojas en las plantas de cacao (Villa, 2016).

Transpiración

Efecto del sistema agroforestal

El sistema de sombrío no tuvo efectos sobre la tasa de transpiración (E) en Rionegro, pero si en El Carmen, donde el tipo de sombrío utilizado tuvo efectos significativos sobre las tasas de E registradas en los clones de cacao. En esta localidad, los clones presentaron mayores tasas transpiratorias bajo el sombrío con *C. pyriformis*, con valores de 2,15 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mientras que los clones bajo sombrío *H. brasiliensis*, las tasas de E fueron de 1,91 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 6). Esto indica una mejor condición de humedad en el suelo y menor cierre parcial de estomas para los clones de *T. cacao* bajo el sistema de sombrío con *C. pyriformis*. Lo que permite mantener mayor actividad de intercambio gaseoso, tanto fotosíntesis como transpiración.

En Rionegro, no se detectaron efectos de los sistemas de sombrío sobre la E para los clones de *T. cacao*. En esta localidad, los valores de E registrados en los clones fueron de 2,29 y 2,25 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, bajo el sombrío con *C. pyriformis* y *T. grandis*, respectivamente (Fig. 6).

Efecto de la época y el sistema agroforestal

Con relación a la época de medición, los resultados mostraron que los clones registran menores tasas de transpiración en la época seca debido a la baja disponibilidad de agua en el suelo. Con relación al sistema de sombrío, en El Carmen, la transpiración más baja se observó en los clones de *T. cacao* bajo el sombrío con *C. pyriformis*, indicando que este sistema brinda mejor condición a los clones de *T. cacao*. Por el contrario, en esta misma localidad se registra mayor E en época seca, con el sombrío con *H. brasiliensis*.

En Rionegro, se mantienen la E del *T. cacao* en época húmeda y seca, bajo los dos sistemas de sombrío (*C. pyriformis* y *T. grandis*), indicando la protección que brindan estos dos sistemas en épocas en que la humedad del suelo no es muy alta. Sin embargo, es de destacar que en esta localidad la precipitación es alta y el periodo seco es más corto (Fig. 6).

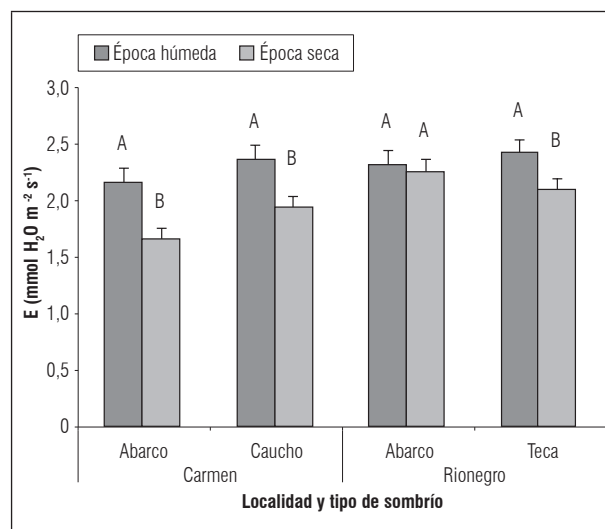


Figura 6. Efecto del sombrío y la época sobre las tasas de transpiración en clones de cacao en las localidades de El Carmen y Rionegro, Santander (Colombia). Las barras sobre columnas corresponden a error estándar ($n=36$). Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Individualmente, entre los clones no se presentan efectos significativos en la E , los clones presentan valores de 1,94 y 2,35 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para el SCC53 y SCC73 en Rionegro. En El Carmen, los clones presentan valores de E entre 1,88 y 2,36 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para el TCS19 y SCC83 (Fig. 7).

Los resultados obtenidos son similares a estudios realizados por García (2014) y Tezara (2008), donde obtuvieron valores más bajos de E en la época seca (Fig. 6) o bajo condiciones de estrés hídrico, en la cual mencionan que el sistema de sombrero ejerce un efecto.

La transpiración es menor en la localidad de El Carmen, debido a la menor disponibilidad de agua en el suelo, lo cual provoca estrés hídrico en las plantas de cacao (Fig. 6), relacionado con el cierre parcial de estomas, generado por la disminución de la conductancia. En esta localidad, la resistencia estomática en los genotipos SCC83 y SCC82 registraron 91,41 y 65,16 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente.

En Rionegro no se presentan diferencias entre los clones, sin embargo, el SCC83 registró mayor g_s con 118,75 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y el menor valor el CCS80 con 86,56 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Los clones presentan mayor resistencia estomática en la localidad de Rionegro, esto se atribuye a la mayor disponibilidad de agua en el suelo en la época seca y la época de lluvias, lo cual provoca disminución de estrés hídrico en la planta y mejora la apertura de estomas.

Los resultados demuestran que la menor apertura estomática es causada por la disminución de la g_s es la

época seca, donde el suelo presenta menor disponibilidad de agua, conllevando a disminuir la transpiración y la asimilación de CO_2 en las plantas de *T. cacao*. Esto afecta el crecimiento y producción especialmente en la fase de establecimiento del cultivo cuando las plantas son más vulnerables al estrés hídrico (Araque *et al.*, 2012).

Lo anterior es concordante con estudios realizados por Jaimez *et al.* (2008), donde se determinó que las accesiones de cacao en periodo de lluvias presentan mayor g_s que en épocas secas, de igual manera determina que el sitio y la sombra presente alrededor de las plantas afectan factores micro climáticos como la temperatura, humedad relativa, disponibilidad de agua y la fertilidad del suelo, que tienen gran influencia en la actividad fisiológica de las plantas.

De igual manera Rada *et al.* (2005) realizaron estudios en plantas de 4 años de edad, donde la g_s disminuyó en plantas sometidas a condiciones de estrés hídrico. Esto es una estrategia que tienen las plantas para reducir la pérdida de agua atribuible al ajuste osmótico que realizan las células, teniendo en cuenta que la planta de *T. cacao* es C3, susceptible a la deshidratación (DaMatta, 2003; Daymond *et al.*, 2011).

Uso eficiente del agua (EUA)

No se encontraron diferencias en el Uso Eficiente del Agua (UEA) de los clones de *T. cacao* por efecto de las épocas, tipos de sombrero o su interacción. Esto indica que los sistemas de sombrero evaluados en estos

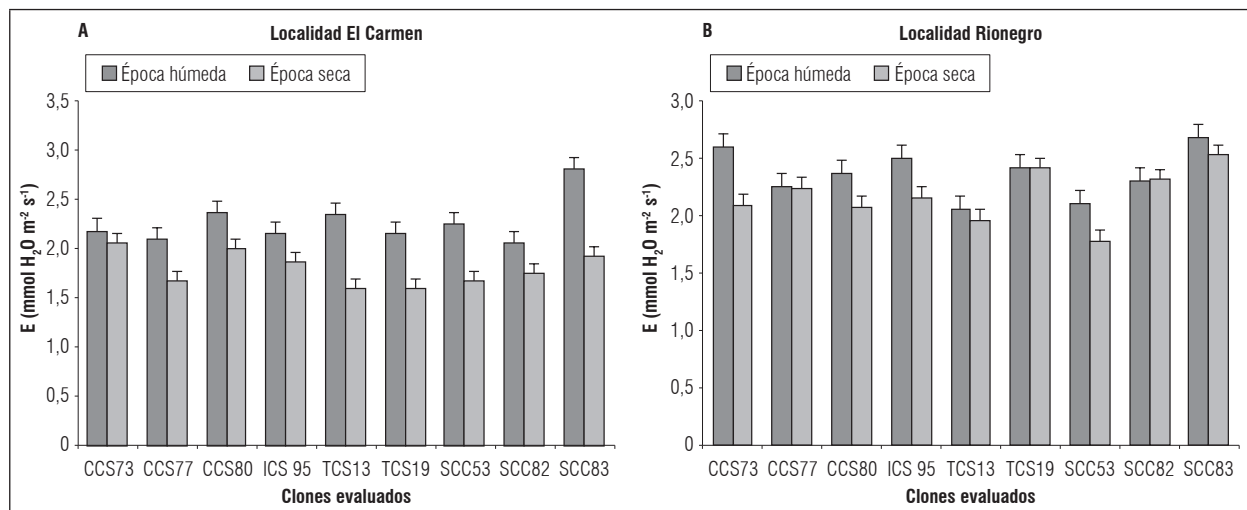


Figura 7. Efecto de la época sobre las tasas de transpiración en clones de cacao en las localidades de El Carmen y Rionegro, Santander (Colombia). Las barras sobre columnas corresponden al error estándar ($n=8$).

ensayos permiten atenuar los efectos de la falta de agua en las épocas secas del año, manteniendo las actividades fisiológicas de las plantas. En cuanto a los clones, presentaron similares eficiencias entre sí (Tab. 2).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Tezara *et al.* (2009), quienes encontraron que entre las épocas de lluvia y sequía no se presentan diferencias significativas en EUA. Sin embargo, estos autores lograron registrar variabilidad entre los cultivares. De igual manera estudios realizados por García (2014), encontraron que las tasas de EUA en plantas sometidas a condiciones de estrés hídrico se incrementaban a medida que aumentaban los niveles de estrés.

En este caso, los clones de cacao TCS13 y TCS19 presentan tendencias mayores en las tasas de EUA en las épocas secas (Tab. 2), además presentan tasas fotosintéticas similares a los demás clones evaluados, por tanto, se constituyen en genotipos de importancia agronómica. Es necesario correlacionar estas variables fisiológicas con el rendimiento productivo para obtener recomendaciones de su uso en las diferentes regiones productoras (Tezara *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

El tipo de sombrío utilizado en los sistemas agroforestales tiene influencia sobre el comportamiento ecofisiológico de los clones de *T. cacao*, los mayores efectos del sombrío se ejercieron sobre las tasas de fotosíntesis. El sombrío con *C. pyriformis* presentó mayores ventajas que con *H. brasiliensis* y *T. grandis*. Los beneficios de esta especie pueden ser observados en época húmeda y seca, lo que permite mantener la actividad fisiológica del cacao durante todo el año. Esto permite recomendar la inclusión de esta especie como sombrío para siembras nuevas de cacao en Santander.

En cuanto a los clones de *T. cacao*, las mayores ventajas se observaron en el TCS13 y TCS19, presentan mayor tasa de EUA en las épocas secas, altas tasas fotosintéticas y conductancia estomática, por lo que se constituyen en clones de importancia agronómica. Es necesario correlacionar estas variables con el rendimiento para obtener recomendaciones de su uso en las diferentes regiones productoras.

Tabla 2. Tasa de fotosíntesis neta (A), conductancia estomática (g_s) y eficiencia en el uso de agua (EUA) en genotipos de cacao plantados en Santander, Colombia.

Clon	Época	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	EUA ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$)
CCS73	Húmeda	5,125	88,13	2,231
	Seca	4,616	85,78	2,402
CCS77	Húmeda	4,469	85,31	2,103
	Seca	4,626	80,93	2,623
CCS80	Húmeda	5,168	85,63	2,332
	Seca	4,96	79,84	2,609
ICS 95	Húmeda	5,197	94,06	2,396
	Seca	5,04	87,19	2,542
TCS13	Húmeda	5,007	91,56	2,34
	Seca	4,363	80,34	2,899
TCS19	Húmeda	5,504	94,53	2,638
	Seca	4,881	80,63	2,669
SCC53	Húmeda	5,022	90,31	2,392
	Seca	4,527	81,44	2,592
SCC82	Húmeda	5,179	83,13	2,451
	Seca	4,98	81,25	2,562
SCC83	Húmeda	5,534	103,59	2,14
	Seca	4,74	98,75	2,465
Media		4,94	87,36	2,47
Coeficiente de variación (%)		29,06	26,33	43,06
Desviación estándar		1,44	22,99	1,09

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) por suministrar los equipos y recursos necesarios para el registro de los datos en campo. Igualmente, a Eduar Antolinez y Eliana Báez por el apoyo en el registro de la información.

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

- Almeida, A.A.F.D. y R.R. Valle. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Braz. J. Plant Physiol.* 19(4), 425-448. Doi: 10.1590/S1677-04202007000400011
- Araque, O., R.E. Jaimez, W. Tezara, I. Coronel, R. Urich y W. Espinoza. 2012. Comparative photosynthesis, water relations, growth and survival rates in juvenile Criollo cacao cultivars (*Theobroma cacao*) during dry and wet seasons. *Exp. Agric.* 48(4), 513-522. Doi: 10.1017/S0014479712000427
- Arguello, O., L.A. Mejía, N. Contreras y J.A. Toloza. 1999. Manual de caracterización morfoagronómica de clones élite de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el nororiente colombiano. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Bucaramanga, Colombia.
- Cao, J., E. Boone, M. Aguilar, P. Siqueira, S. Souza, F. Folli y D. Pinto. 2009. Physiological characteristics and growth of grafts of *Theobroma cacao* L. bred under different doses of water retaining polymers and submitted to a cycle of moisture deficit. pp. 341-359. En: 16th International coca Research Conference. Towards rational cocoa production and efficient use for a sustainable world cocoa economy. Denpasar, Bali, Indonesia.
- DaMatta, F.M. 2003. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. pp. 227-265. En: Hemantaranjan, A. (ed.). *Advances in plant physiology*. Vol. 5. Scientific Publishers, Jodhpur, India.
- Daymond, A.J., P.J. Tricker y P. Hadley. 2011. Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *Biol. Plant.* 55(1), 99-104. Doi: 10.1007/s10535-011-0013-y
- Fedecacao. 2017. Estadísticas y recaudo. En: Federación Nacional de Cacaoteros y Fondo Nacional del Cacao. <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales>; consulta: agosto de 2017.
- García, J. 2014. Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico. Tesis de doctorado. Escuela de Posgrados, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Jaimez, R.E., W. Tezara, I. Coronel y R. Urich. 2008. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Rev. For. Venez.* 52(2), 253-258.
- Joly, R.J. y D.T. Hahn. 1989. Net CO₂ assimilation of cacao seedlings during periods of plant water deficit. *Photosyn. Res.* 21(3), 151-159. Doi: 10.1007/BF00037179
- Mejía, L.A. y G.E. Palencia. 2004. Una aproximación a los sistemas agroforestales con cacao. Corpoica, Bucaramanga, Colombia.
- Pereyra, G., V. Villalobos, O. Rondón, I. Chacón, R. Jaimez y W. Tezara. 2007. Intercambio gaseoso en diferentes cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.). pp. 669-672. En: XVII Congreso de Botánica de Venezuela. Maracaibo, Venezuela.
- Quiroz, J. 2010. Sistemas de sombra de cacao con maderables. Boletín técnico No. 151. Instituto de Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), cantón Yaguachi, Ecuador.
- Rada, F., R.E. Jaimez, C. García-Núñez, A. Azócar y M.E. Ramírez. 2005. Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo períodos de déficit hídrico. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 22, 112-120.
- Ribeiro, M.A.Q., J.O. da Silva, W.M. Aitken, R.C.R. Machado y V.C. Baligar. 2008. Nitrogen use efficiency in cacao genotypes. *J. Plant Nutr.* 31(2), 239-249. Doi: 10.1080/01904160701853720
- Rivano, F. 2015. Adaptación de clones de caucho en América latina, en zonas de *Microcyclus ulei* y zonas de escape. Workshop Cirad-Agritrop, Medellín, Colombia.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2010. *Plant physiology*. 5^a ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
- Tezara, W., G. Pereyra, O. Marín, V. Villalobos, S. Irazábal, A. González, R. Colombo, R. Urich, I. Coronel y A. Herrera. 2008. Variación interespecífica en la respuesta fotosintética en diferentes formas de vida en zonas áridas y eficiencia de uso de agua en 32 accesiones de cacao. pp. 233-236. En: Memorias del Instituto de Biología Experimental. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Tezara, W., I. Coronel, R. Urich, O. Marín, R. Jaimez y I. Chacon. 2009. Plasticidad ecofisiológica de árboles de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes ambientes de Venezuela. p. 5. En: Memorias III Congreso Latinoamericano y Caribeño de Estudiantes, São Lourenço-MG, Brasil.
- Villa, M.R. 2016. Dinámica del crecimiento y desempeño en el intercambio de gases del cacao como respuesta al manejo del dosel. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia

Influence of climate, soil use and soil depth on soil organic carbon content at two Andean altitudinal sites in Norte de Santander, Colombia



IBONNE GEANETH VALENZUELA B.^{1, 2}
EFRAÍN FRANCISCO VISCONTI M.¹

Tipos de usos de la tierra en la vereda Monteadentro, municipio de Pamplona, Dpto. Norte de Santander.

Foto: I.G. Valenzuela B.

RESUMEN

El incremento y estabilización del carbono orgánico del suelo (COS) representa una alternativa viable para la mitigación del efecto invernadero. Pero el COS es severamente afectado por los cambios del suelo, existiendo controversias sobre cuáles tipos de uso de la tierra favorecen el secuestro de carbono. El clima tiene efecto importante sobre la dinámica del COS, por tanto el efecto generado por el uso y manejo del suelo es distinto en climas fríos y cálidos. Para entender como los factores clima, uso del suelo y profundidad del suelo, afectan la dinámica del COS en dos lugares del departamento de Norte de Santander en Colombia, se evaluaron propiedades físicas (arenas, limos y arcillas, densidad aparente) y propiedades químicas (pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases). Se determinó el contenido de carbono orgánico total (COT), fracción ligera (CO de FL), fracción húmica (CO de FH) y biomasa microbiana (CO de BM). Estas evaluaciones se realizaron en dos climas contrastantes (frío y cálido), tres tipos de uso del suelo (bosque, pasturas y cultivo intensivo) y tres profundidades (0 a 5 cm, 5 a 10 cm y 10 a 20 cm). Se encontró que hay mayor carbono orgánico en todos los compartimientos (COT, CO de BM, CO de FL y CO de FH) del suelo en clima frío. Los usos del suelo en bosque y pastura, son más favorables para el almacenamiento de COS en clima frío, mientras en cultivo intensivo genera menor contenido de COT, CO de FL y CO de BM. El índice de humificación y el CO de FH fueron mayores en cultivo intensivo de clima cálido.

Palabras clave adicionales: secuestro de carbono, manejo de suelo, materia orgánica, temperatura, tierra.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Departamento de Ciencias del Medio Ambiente, Grupo de investigación Ambiente y Vida, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta (Colombia). ORCID Valenzuela B., I.G.: 0000-0002-1173-3133; ORCID Visconti M., E.F.: 0000-0002-7017-313X

² Autor para correspondencia. ibonnegeanethvb@ufps.edu.co



ABSTRACT

The increase and stabilization of soil organic carbon (SOC) represent a feasible alternative for mitigating greenhouse effect. But, SOC is severely affected by changes in soil use, and there is uncertainty about which types of soil use favor carbon sequestration. In addition, climate influences SOC dynamics; therefore, the effect generated by the use and management of soils is different in cold climates and warm climates. In order to understand how climate, soil use and soil depth influence SOC dynamics at two Andean sites in Norte de Santander, Colombia, the soil physical (sands, silts, clays, and bulk density) and chemical (pH, E.C., C.E.C. and S.B) properties were studied. Also, the total organic carbon (TOC), light fraction (LF), humic fraction (HF), microbial biomass (MB) and organic carbon were measured. These evaluations were performed in two climates (cold and warm), with three soil uses per climate and three soil depths (0 to 5 cm, 5 to 10 cm and 10 to 20 cm). The amount of organic carbon was statistically higher in the cold climate soils for all compartments (TOC, OC of MB, OC of LF and OC of HF). The Forest and Pasture were more favorable for SOC storage in the cold climates, and the intensive crops presented a lower content of TOC, OC of MB and OC of LF. The humification rate and OC of HF were higher in the soils with intensive crops as the soil use in the warm climate.

Additional keywords: carbon sequestration, soil management, organic matter, temperature, land.

Fecha de recepción: 07-08-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

El Plan de Desarrollo para el departamento de Norte de Santander, 2016-2019, plantea un marco estratégico que establece la productividad como uno de los pilares del plan y propone dentro de las apuestas productivas la producción agroindustrial, específicamente en los subsectores (cultivos): cacao, palma de aceite, café, arroz, hortifrutícola y ganadería (Gobernación de Norte de Santander, 2016).

Por otra parte, los suelos representan el tercer compartimiento de nuestro planeta en almacenar carbono (C). Desde luego, ningún compartimiento es estático, pero es en la atmósfera donde el incremento de C representa riesgos por su efecto invernadero, mientras que en los suelos su presencia en las formas de carbono orgánico (CO), significa enormes beneficios por el incremento de la productividad de los mismos (Macías y Camps-Arbestain, 2010).

En este sentido, se señala que la materia orgánica del suelo (MOS) es la principal responsable de la capacidad que tienen los suelos en prestar servicios agrícolas y ambientales (Manlay *et al.*, 2007).

Actualmente se entiende que la MOS es un compartimiento muy importante de los ecosistemas terrestres.

Desde el punto de vista químico y ecológico, la MOS se considera formada por un conjunto de fracciones donde el CO se encuentra en distintas proporciones. Para estudiar cada una de estas fracciones son necesarias distintas técnicas químicas y físicas para la separación, análisis e interpretación (Elliott y Cambardella, 1991).

El equilibrio en el contenido de carbono orgánico en cada fracción de la materia orgánica, se encuentra fuertemente influenciado por el clima, el material parental, la vegetación y el manejo del suelo (Manlay *et al.*, 2007).

Los suelos cuentan con capacidad para acumular C, pero también pueden emitirlo a la atmósfera, por tanto, los suelos contribuyen a la regulación del ciclo de C y sus implicaciones en el cambio climático (Olson *et al.*, 2014). El factor principal que genera la emisión de carbono en el suelo o acumulación en el mismo es la modificación de la cobertura natural del suelo. La mecanización de tierras ha causado una pérdida de CO y un aumento en las emisiones de C, al tiempo que la reforestación de tierras cultivadas reporta un aumento en el secuestro de C. El proceso de captura de C en el suelo debido a recuperación de bosques u

otros usos no agrícolas es lento, en comparación con el CO perdido por el suelo en cultivos. Las diferencias de escala temporal entre pérdidas antrópicas y recuperación son generalmente de varios órdenes de magnitud, siendo las propiedades físicas de los suelos y el contenido de materia orgánica significativas al cambio climático (Ussiri y Lal, 2013).

El suelo se considera como uno de los recursos naturales con mayor potencial para mitigar el efecto invernadero al acumular CO pero es necesario comprender los procesos de intercambio de gases de efecto invernadero (GEI) entre el suelo y la atmósfera, así como los procesos de almacenamiento de carbono en el suelo, de ello depende en buena medida las opciones que pueden implementarse en la mitigación del efecto invernadero (Ghimire *et al.*, 2017).

Algunas investigaciones han señalado que los sistemas agroforestales tienen la capacidad de mantener las condiciones de fertilidad del suelo y almacenar mayor cantidad de COS en comparación con los bosques naturales, a la vez que sirven de sumidero de carbono (Kassa *et al.*, 2017); otros han señalado que las coberturas de vegetación natural almacenan mayor cantidad de COS (Ferreira *et al.*, 2016). Ante estos resultados ambivalentes, es necesario que se adelanten los estudios que permitan conocer el comportamiento del COS en cada escenario.

En este sentido, se planteó estudiar en el departamento de Norte de Santander como se ha afectado el contenido de COS, debido al cambio de uso de la tierra de bosque natural a agro ecosistema en dos pisos térmicos altitudinales; que según la clasificación climática Caldas – Lang son: frío y cálido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los suelos estudiados se ubican en dos municipios del departamento de Norte de Santander (Colombia). Uno en la zona de alta montaña (clima frío), ubicado en la vereda Monte dentro del municipio de Pamplona; se escogieron tres tipos de uso de la tierra (TUT) en lotes colindantes (bosque, pasturas y cultivos hortícolas intensivos). Según IGAC (2006a), se encuentra dentro de la zona de vida de Bosque húmedo Premontano, temperatura media anual de 13,5°C, precipitación promedio anual de 900 mm, altitud aproximada de 2.558 msnm y ubicación: 7°20'47,59" N y 72°39'50,62" W.

El segundo lugar se localiza en la zona baja de un valle aluvial de clima cálido, ubicado en la vereda Astilleros del municipio El Zulia, donde se escogieron los TUT en lotes colindantes (bosque, palma de aceite con pastura y cultivo de arroz tecnificado). Según IGAC (2006a), se encuentra dentro de la zona de vida de Bosque húmedo Tropical, temperatura promedio de 27°C, precipitación promedio anual 2.200 mm, altitud aproximada 76 msnm y localizado: 8°12'13,5" N y 72°32'52,1" W.

Se efectuó el muestreo de suelo en cada uno de los lotes seleccionados, recolectando muestras disturbadas y no disturbadas. Se tomaron muestras de suelo a tres profundidades: 0 a 5 cm, 5 a 10 cm y 10 a 20 cm. Considerando que en términos generales conforma la capa arable o profundidad de laboreo del suelo (0 a 20 cm). A la capa arable se le separa en tres capas, ya que en los primeros 5 cm se considera es donde se acumularía la mayor parte de la materia orgánica particulada, la capa de 10 a 20 cm es donde se presentaría la mayor cantidad de materia orgánica estable o humificada, mientras que la capa intermedia sería una capa de transición (Elliott y Cambardella, 1991).

En cada lote seleccionado se realizaron tres muestreos para obtener tres muestras no disturbadas por cada profundidad y una muestra disturbada a cada profundidad. En cada punto de muestreo se recolectaron cinco submuestras de suelo por profundidad para conformar la muestra compuesta del punto. Dicho submuestreo se realizó en cruz sobre el punto de muestreo, donde la distancia de los tramos de la cruz es 1 m. Las muestras no disturbadas se extrajeron con un muestreador Eijkelkamp (Eijkelkamp Soil & Water, Giesbeek, Holanda) de cilindros metálicos de 98,175 cm³, siendo tomados tres a cada profundidad en cada punto de muestreo.

La caracterización de cada suelo evaluado se realizó con el análisis de algunas propiedades físicas y químicas, que permitió efectuar una adecuada interpretación de los resultados obtenidos en el análisis del CO. Las metodologías empleadas se presentan en la tabla 1.

El análisis del contenido de carbono orgánico total (COT) se realizó en muestras compuestas disturbadas para cada profundidad; secadas al aire y debidamente tamizadas, mediante el método de digestión y oxidación ácida en húmedo de Walkley y Black con medición colorimétrica mediante espectrofotometría (IGAC, 2006b).

Tabla 1. Metodologías utilizadas para evaluar las propiedades físico-químicas del suelo.

Propiedad	Método de análisis
Distribución de partículas minerales	Hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Cilindros metálicos tipo Uhland modificados (muestreador Eijkelkamp)
pH	Potenciómetro en suspensión de suelo con agua en relación 1:1 para todas las muestras.
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio 1 N a pH 7
Conductividad eléctrica	Conductímetro en suspensión de suelo con agua en relación 1:1 para todas las muestras
Saturación de bases intercambiables	Acetato de amonio 1 N a pH 7

La metodología utilizada para el fraccionamiento físico de la MOS, fue el método de suspensión y agitación en agua con tamizado, empleando tamices de 2,36 mm y 0,053 mm. Posterior a la separación con tamices de la fracción ligera y la fracción pesada de la materia orgánica del suelo, se determinó el contenido de CO en cada una, mediante combustión seca en mufla a 580°C por 12 h (IGAC, 2006b).

El carbono de la biomasa microbiana del suelo (CO de BM), se midió en forma indirecta utilizando el método de respiración inducida por sustrato (glucosa), en muestras de suelo disturbadas que se refrigeraron a 4°C desde el muestreo hasta el momento del análisis (Lozano, 2005). Se calculó el índice de humificación como el cociente del carbono orgánico de la fracción pesada (CO de FH), el carbono orgánico total (COT) y se expresó en porcentaje (IGAC, 2006b).

Se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad con un análisis de ANOVA, aquellas que no cumplieron los supuestos se efectuó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis. Además, se realizó una prueba de contraste de diferencia mínima significativa con un nivel de confianza del 95% o por interpretación de la gráfica de bigotes. Para explicar la relación de variables se empleó análisis multivariado de componentes principales (ACP). Se utilizó el Excel (Microsoft®, Washington, DC) para organizar las matrices de datos y los análisis se hicieron con Statgrafics v. 5.1 (Statgrafics Net, Madrid, España).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades químicas como pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y saturación de bases intercambiables (SB), son las ideales para interpretar las condiciones del suelo como medio químico donde se desarrollan un conjunto de procesos físico-químicos, tales como oxidación de materia orgánica (Lozano *et al.*, 2005). Se encontró en el suelo de clima frío un rango comprendido entre 5,07 a 6,99 de pH (Fig. 1) en todas las profundidades y usos del suelo. Es destacable que en el uso de suelo bosque y pastura, la acidez va de moderada a fuerte, mientras que en el uso de cultivo intensivo es neutro, lo cual evidencia la práctica del encalamiento. Se analizó que el suelo tiene muy buena capacidad de intercambio catiónico (CIC) con predominio de bases intercambiables y no hay problemas de salinidad (Fig. 1).

Las propiedades químicas del suelo de clima cálido (Fig. 2), muestran que son de reacción más ácido en comparación de los suelos de clima frío, con valores de 4,81 a 5,71, es decir, que las condiciones van de muy fuertemente ácido a moderadamente ácido. En el suelo de clima cálido hay mayor variabilidad en sus distintas propiedades químicas, destacando que la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases intercambiables varían de alta hasta baja.

Las condiciones físico-químicas del suelo afectan el COS, siendo el pH del suelo muy influyente sobre la cantidad y calidad del mismo. A su vez, la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos descomponedores, especialmente las bases intercambiables Ca, Mg y K, también tienen una importancia señalada por muchos estudios sobre la dinámica del COS (Alexander, 1998; Varela y Rueda, 2010).

Al interpretar los resultados del contenido de arenas, arcillas y limos (Tabs. 2 y 3), se observa que el suelo del clima frío presenta texturas medias a moderadamente gruesas, ya que las arenas se presentan en un rango de 476,9 a 676,9 g kg⁻¹, las arcillas de 153,8 a 253,8 g kg⁻¹ y los limos de 116,0 a 269,3 g kg⁻¹ lo cual representa un predominio de las arenas. En el suelo de clima cálido, se presentan texturas finas a medias, ya que las arenas se presentan en un rango de 19,5 a 459,5 g kg⁻¹, las arcillas de 253,8 a 597,8 g kg⁻¹ y los limos de 249,3 a 453,3 g kg⁻¹ lo cual representa una presencia importante de arcillas.

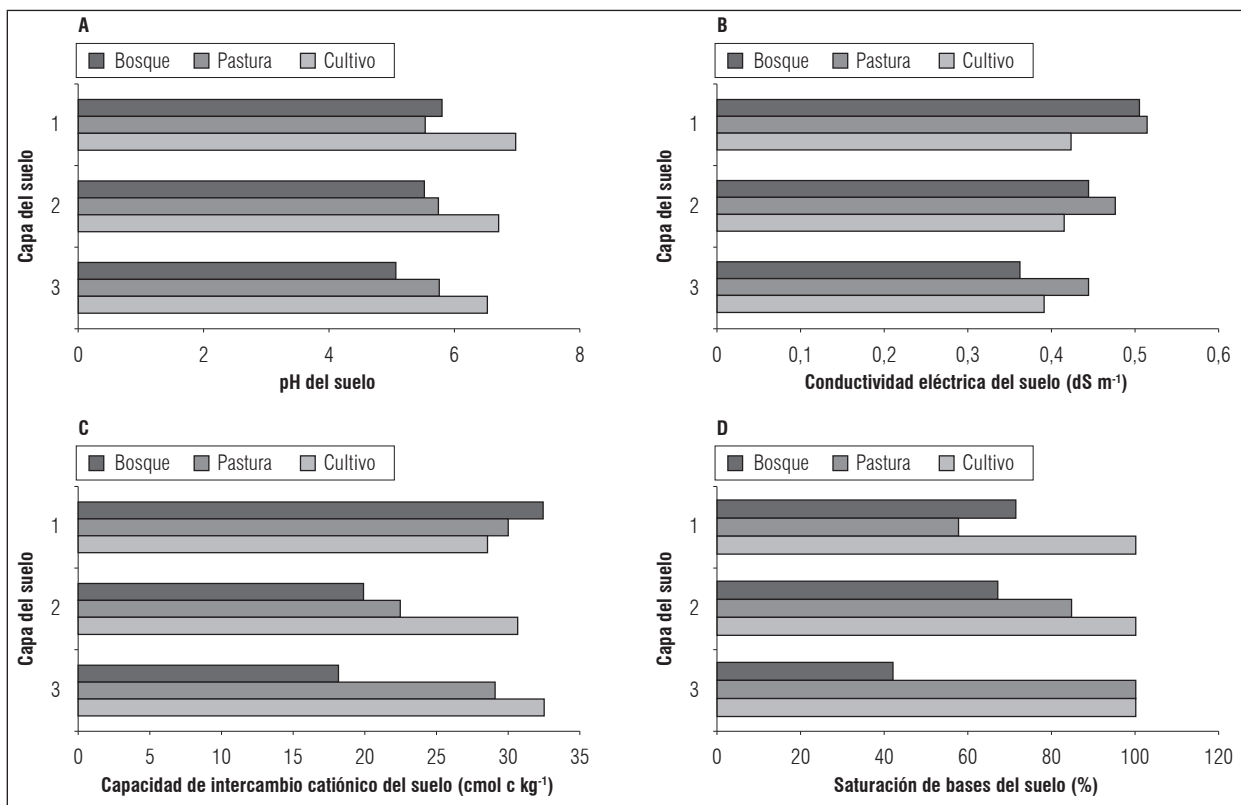


Figura 1. Propiedades químicas de suelos de clima frío en Pamplona, Colombia a diferentes profundidades y usos. Capa 1: 0 a 5 cm; capa 2: 5 a 10 cm y capa 3: 10 a 20 cm.

Tabla 2. Distribución de tamaño de partículas minerales ($g\ kg^{-1}$), clase textural y densidad aparente- D_a ($Mg\ m^{-3}$) en suelos de clima frío en Pamplona, Colombia, a diferentes profundidades y usos.

Uso del suelo	Capa	Arenas	Arcillas	Limos	Clase textural	D_a
Bosque	1	616,9 (11,5)	153,8 (23,1)	229,3 (11,5)	Franco arenoso	1,03 (0,05)
	2	636,9 (23,1)	153,8 (23,1)	209,3 (46,2)	Franco arenoso	1,08 (0,04)
	3	476,9 (11,5)	253,8 (41,6)	269,3 (30,6)	Franco	1,03 (0,05)
Pastura	1	670,2 (30,6)	153,8 (11,5)	176,0 (40,0)	Franco arenoso	1,34 (0,02)
	2	650,2 (30,6)	207,1 (11,5)	142,7 (41,6)	Franco arcillo limoso	1,54 (0,06)
	3	676,9 (30,6)	207,1 (11,5)	116,0 (20,0)	Franco arcillo limoso	1,59 (0,03)
Cultivo intensivo	1	530,2 (11,5)	247,1 (11,5)	222,7 (11,5)	Franco	1,40 (0,04)
	2	516,9 (1,5)	220,5 (20,0)	262,7 (23,1)	Franco	1,53 (0,05)
	3	496,9 (23,1)	240,5 (20,0)	262,7 (11,5)	Franco	1,43 (0,03)

Media (desviación estándar) de $n=3$.

Tabla 3. Distribución de tamaño de partículas minerales (g kg^{-1}), clase textural y densidad aparente-Da (Mg m^{-3}) en suelos de clima cálido en El Zulia, Colombia, a diferentes profundidades y usos.

Uso del suelo	Capa	Arenas	Arcillas	Limos	Clase textural	Da
Bosque	1	70,2 (6,00)	587,1 (11,5)	342,7 (30,6)	Arcilloso	1,14 (0,03)
	2	19,5 (0,0)	597,8 (23,1)	382,7 (23,1)	Arcilloso	1,39 (0,03)
	3	56,9 (11,5)	580,5 (20,0)	362,7 (11,5)	Arcilloso	1,62 (0,02)
Palma de aceite y pastura	1	386,2 (11,5)	299,1 (30,6)	314,7 (41,6)	Franco arcilloso	1,17 (0,03)
	2	430,2 (23,1)	253,8 (11,5)	316,0 (34,6)	Franco	1,51 (0,02)
	3	459,5 (20,0)	291,1 (23,1)	249,3 (11,5)	Franco arcilloso	1,63 (0,01)
Cultivo intensivo	1	410,2 (30,6)	253,8 (11,5)	336,0 (20,0)	Franco	1,43 (0,04)
	2	383,5 (52,9)	287,1 (11,5)	329,3 (50,3)	Franco	1,45 (0,05)
	3	292,9 (11,5)	253,8 (11,5)	453,3 (11,5)	Franco	1,59 (0,03)

Media (desviación estándar) de $n=3$.

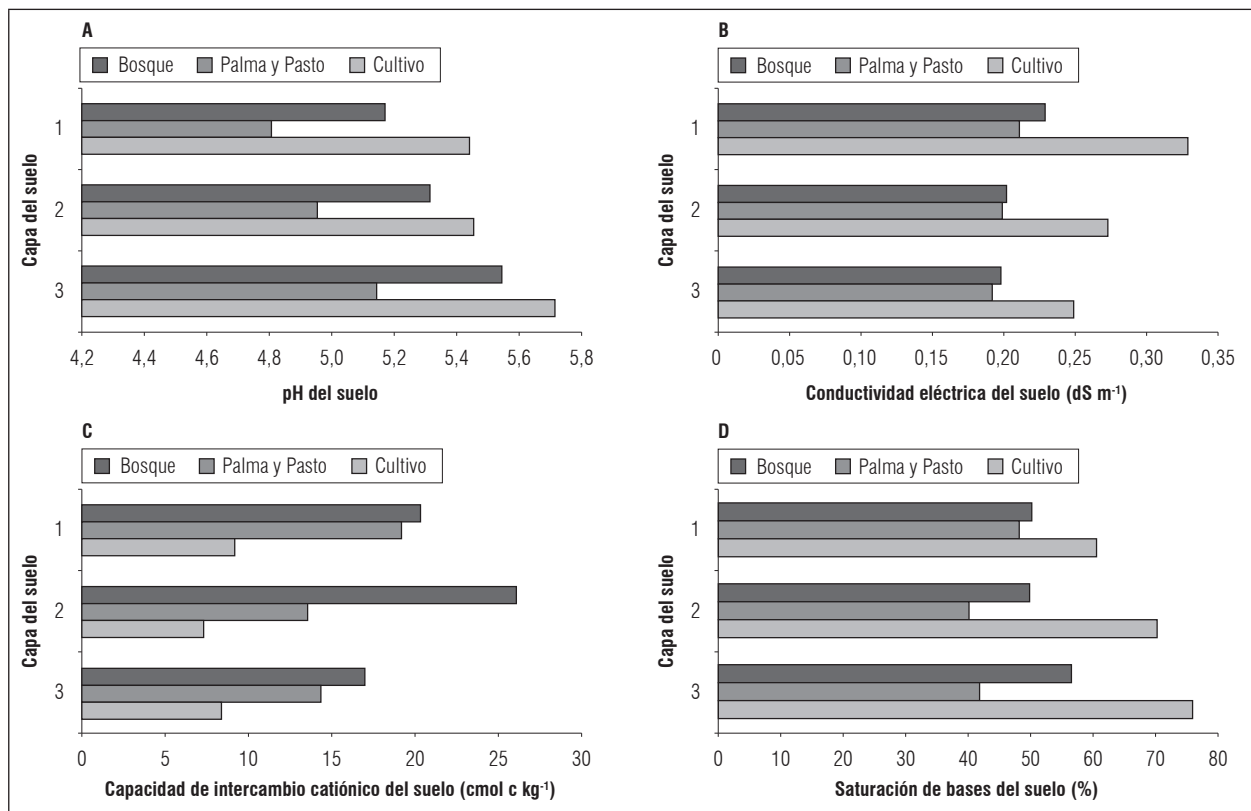


Figura 2. Propiedades químicas de suelos de clima cálido en El Zulia, Colombia a diferentes profundidades y usos. Capa 1: 0 a 5 cm; capa 2: 5 a 10 cm y capa 3: 10 a 20 cm. A. pH; B. Conductividad; C. Capacidad de intercambio catiónico y D. Saturación de bases del suelo.

La densidad aparente (D_a) se interpreta considerando el tipo de textura, encontrándose que, en suelos con texturas gruesas o moderadamente gruesas, valores inferiores a 1,60 son favorable y para texturas medias valores inferiores a 1,40 son favorables (Pla, 2010). En este sentido, se observó que el lote en uso de bosque en clima frío tiene D_a de 1,03 a 1,08 y 1,03 en la primera y tercera capa de profundidad respectivamente, lo cual representa buenas condiciones físicas. En el caso de los suelos pastura y cultivo, la D_a de la primera capa presenta valor favorable, 1,34 y 1,40, respectivamente. Pero en la segunda y tercera capa de ambos suelos, la D_a es mayor a 1,40 lo cual expresa limitación física debido a reducción del espacio poroso del suelo.

En clima cálido, los suelos bosque y palma de aceite con pastura presentaron valores de D_a favorables en la capa superficial, 1,14 y 1,17, respectivamente. Pero estos suelos presentaron signos de compactación a partir de 5 cm de profundidad (por el esfuerzo en la toma de muestras). En el caso del suelo cultivo intensivo se encontró alta compactación en las tres capas de profundidad, significando serios problemas por pérdida de espacio poroso de aireación y dificultad para el desarrollo de raíces y microorganismos, lo cual afecta el contenido de COT.

Los resultados del contenido de COT en términos de masa (mg ha^{-1}) no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza y el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis presentó un efecto estadísticamente significativo ($P=0,000$) ejercido por los factores clima y uso del suelo.

El contenido de COT y uso de los suelos en la zona de clima cálido fueron diferenciados estadísticamente en dos grupos (Fig. 3). El primero de mayor contenido de COT está integrado por la implementación palma-pasto. El segundo de menor contenido de COT y lo integra los suelos de cultivo y bosque.

Estos resultados concordantes con los resultados de numerosos autores, que han encontrado contenidos superiores de COT en suelos con pasturas, con respecto a usos de cultivos intensivos de ciclo corto. Sánchez (1976) reportó hace 41 años la disminución del contenido de COT debido a la deforestación y uso agrícola del suelo en cultivos intensivos, ya que se genera un desbalance entre la adición de materia orgánica al suelo y la velocidad de descomposición.

Los valores medidos en laboratorio del carbono orgánico de la biomasa microbiana del suelo (CO de BM), son una medida indirecta de uno de los compartimientos más importantes del COS, representado por la materia orgánica viva o biota microscópica (Arias *et al.*, 2012). Para interpretar estos resultados se realizó el ANOVA una vez que se comprobó el cumplimiento de los supuestos estadísticos.

Se evidencia diferencia significativa ($P=0,000$) para el comportamiento del CO de BM debido a los factores clima, profundidad y uso. Así también se observa que hay efecto significativo de todas las interacciones posibles entre los factores evaluados sobre la respuesta de la CO de BM del suelo (Fig. 4), coincidencia con estudios previos (Delgado y España, 2000), que han señalado a la biomasa microbiana del suelo como un

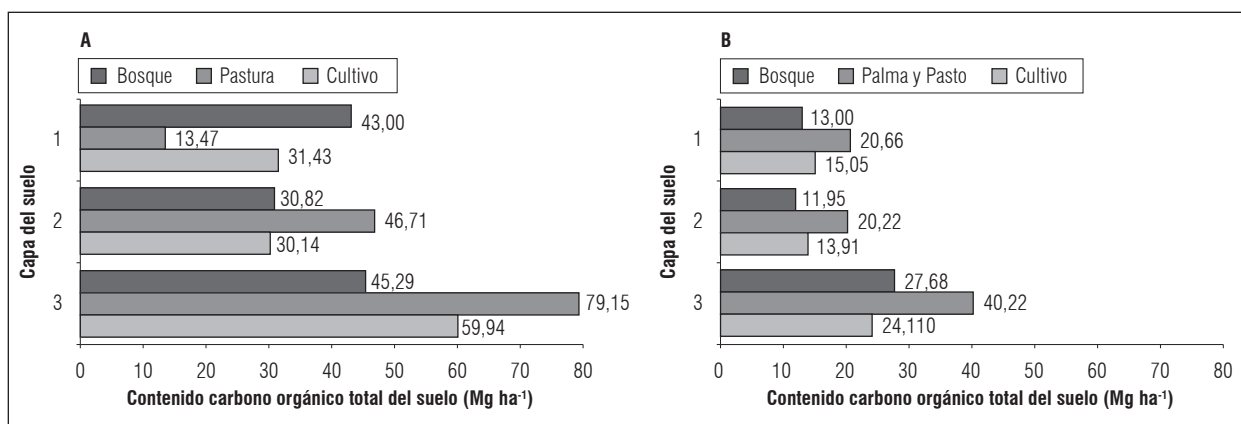


Figura 3. Contenido de carbono orgánico total en dos zonas de Norte de Santander (Colombia) según el tipo de uso y profundidad del suelo. A. Clima frío (Pamplona) y B. Clima cálido (El Zulia). Capa 1: 0 a 5 cm; capa 2: 5 a 10 cm y capa 3: 10 a 20 cm.

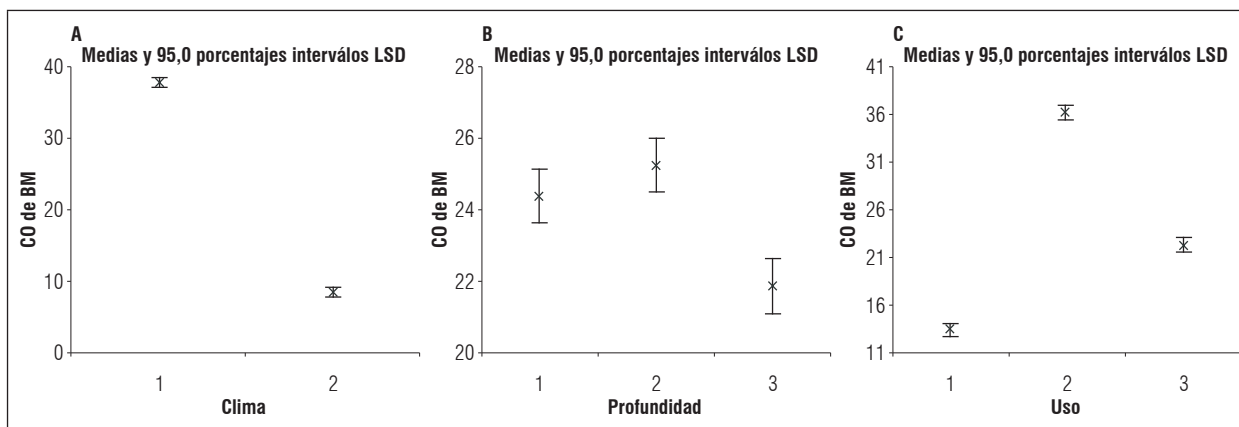


Figura 4. Carbono orgánico de la biomasa microbiana (mg CO kg^{-1}) en dos zonas de Norte de Santander, Colombia (A-1: clima frío-Pamplona; 2: clima cálido-El Zulia), según la profundidad del suelo (B-1: 0 a 5 cm; 2: 5 a 10 cm; 3: 10 a 20 cm) y el tipo de uso (C-1: bosque; 2: pastura y palma-pasto; 3: cultivo). Prueba de contraste de diferencia mínima significativa con un nivel de confianza del 95%.

parámetro muy sensible para el estudio de la dinámica del COS, ya que al ser la descomposición de la MOS un proceso eminentemente microbiano, entonces medir la actividad microbiana del suelo a través de su respiración resulta ser un indicador confiable (Albaladejo *et al.*, 2009).

Para encontrar los contrastes de respuestas estadísticamente significativas se procedió a realizar la prueba de la mínima diferencia significativa (DMS) (Fig. 4), y se constata que por efecto del clima es mayor el CO de BM en clima frío. Con respecto al efecto del factor profundidad del suelo, observados grupos homogéneos, el primero lo integran la capa de 0 a 5 cm conjuntamente con la capa de 5 a 10 cm, y expresan los mayores contenidos de CO de BM, estando el segundo grupo integrado por la capa de 10 a 20 cm donde se presentan los menores contenidos de CO de BM.

Para el efecto del uso del suelo sobre el CO de BM (Fig. 4), se encuentran tres grupos significativamente diferentes, el mayor contenido para el uso de pasturas y palma - pasto, seguido de cultivos intensivos y el menor para suelos de bosque.

En los resultados de carbono orgánico de la fracción ligera (CO de FL) fue necesario un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, encontrando diferencia estadística significativa para el factor clima. No se presentó diferencias para los demás factores, tipo de uso y profundidad.

Los resultados indican que el clima cálido contiene menor CO de la FL en el suelo y el clima frío favorece

un mayor contenido de CO de la FL en el suelo (Fig. 5). Al respecto Lavelle (1997), señala que en climas cálidos y húmedos, se favorece la existencia de una fauna del suelo muy diversa y activa que produce la rápida descomposición de la MOS, de esta manera no hay oportunidad a la acumulación de cantidad importante de materia orgánica particulada y por lo tanto el CO de la fracción ligera será menor.

A pesar de no ser estadísticamente significativo el efecto de la profundidad del suelo en el contenido de CO de la FL (Fig. 5), se encuentran estudios sobre el COS en los compartimientos de la MOS en el trópico (Figueiredo *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2016), en los cuales han registrado una clara estratificación en la distribución del CO en la FL en el perfil del suelo. Siendo lo más dominante encontrar que el mayor contenido de CO de la FL está en la capa superficial de 0 a 5 cm de profundidad, en condiciones de uso de bosque y pasturas.

Para el carbono orgánico de la fracción húmica (CO de la FH en mg ha^{-1}) el análisis de ANOVA mostró un efecto significativo debido al clima y la profundidad del suelo. También se observa que hay efecto significativo en la interacción entre los factores clima y uso del suelo sobre la respuesta del CO de la FH, tal y como lo señalan otros estudios (Six *et al.*, 2002). La prueba de contraste de medias indica que el contenido de CO de la FH (mg ha^{-1}) es mayor en el clima frío (Fig. 6). Mientras que debido al efecto de la profundidad del suelo, se observan dos grupos homogéneos y significativamente diferentes entre sí. El primero lo

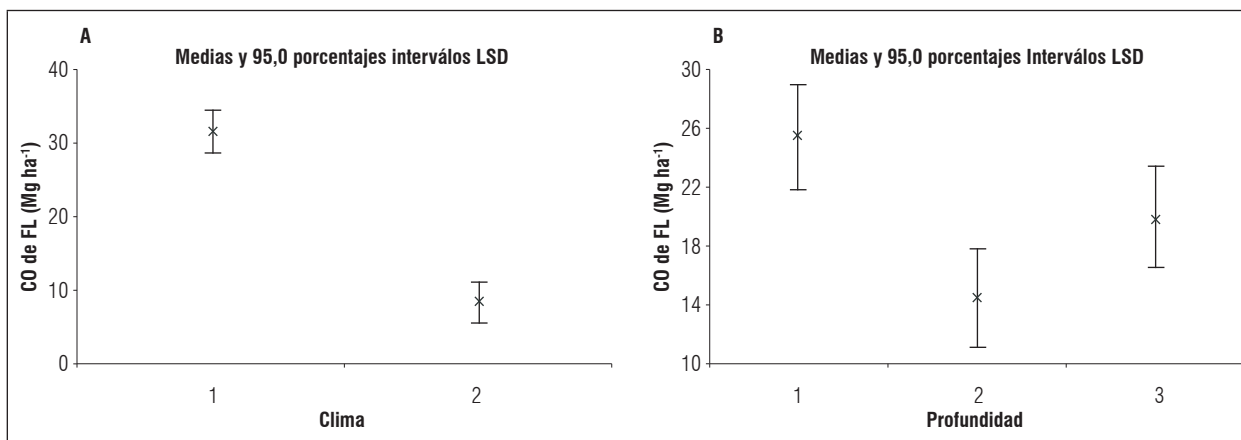


Figura 5. Carbono orgánico de la fracción ligera en dos zonas de Norte de Santander, Colombia (A-1: clima frío-Pamplona; 2: clima cálido-El Zulia) y profundidad del suelo (B-1: 0 a 5 cm; 2: 5 a 10 cm; 3: 10 a 20 cm). Prueba de contraste de diferencia mínima significativa con un nivel de confianza del 95%.

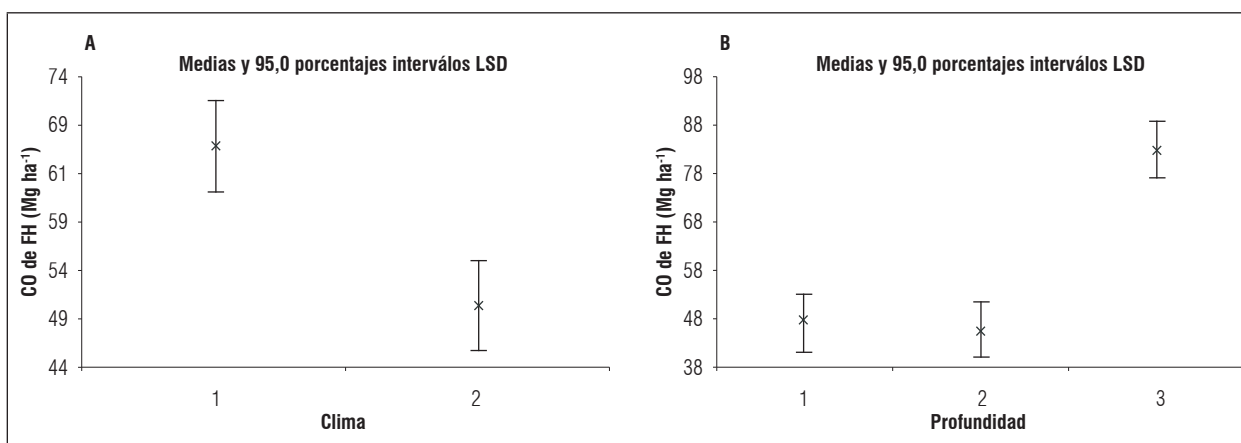


Figura 6. Carbono orgánico de la fracción húmica en dos zonas de Norte de Santander, Colombia (A-1: clima frío-Pamplona; 2: clima cálido-El Zulia) y profundidad del suelo (B-1: 0 a 5 cm; 2: 5 a 10 cm; 3: 10 a 20 cm). Prueba de contraste de diferencia mínima significativa con un nivel de confianza del 95%.

integra la capa de 10 a 20 cm de profundidad con el mayor contenido de CO de la FH en masa. El segundo grupo con menor contenido de CO de la FH en masa lo integran la capa de 5 a 10 cm y la capa de 0 a 5 cm. Debido al efecto significativo de la interacción clima y uso, se debe decir que el mayor contenido de CO de la FH expresado en masa se presenta en clima frío y en la profundidad del suelo 10 a 20 cm.

Con respecto al índice de humificación fue significativamente mayor en el clima cálido (Fig. 7). Esto representa un resultado altamente relevante, puesto que indica que el suelo en clima cálido, indistintamente

del uso y la profundidad, tiene mayor capacidad de descomponer, mineralizar y humificar la MOS. Lo cual es consistente, con los fundamentos expresados, en temperaturas cálidas con adecuadas condiciones de humedad, los microorganismos del suelo son más activos en su trabajo de descomposición de la MOS, ayudados por una fauna del suelo diversa y dinámica. También influye que el suelo en el clima cálido, presentó los mayores contenidos de partículas minerales finas, lo cual favorece la formación de complejos arcillo-húmicos que aumentan la estabilización química y el periodo de residencia en el suelo del carbono orgánico (Six *et al.*, 2002).

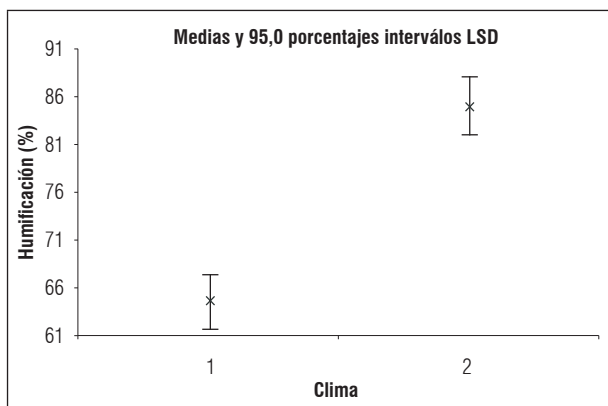


Figura 7. Índice de humificación en dos zonas de Norte de Santander, Colombia (1. Clima frío, Pamplona; 2. Clima cálido, El Zulia). Prueba de contraste de diferencia mínima significativa con un nivel de confianza del 95%.

El análisis multivariado de componentes principales mostró que son tres las combinaciones de variables capaces de explicar la mayoría de la variabilidad de los datos, estas conforman los tres componentes con autovalor más altos y que conjuntamente explican el 75,55% de la variabilidad en los datos originales (Tab. 4). El otro 24,45% de la variabilidad lo expresan el resto de 13 combinaciones de variables que no se consideran importantes y por ello no se toman en cuenta.

En este sentido, se interpreta que los tres componentes principales encontrados revelan tres procesos muy importantes de la dinámica del COS y su respuesta a los factores clima, uso de la tierra y profundidad del suelo. El primer componente reúne las variables físicas Arcillas, Limos y Da, como parámetros que sirven para explicar la relación de las condiciones físicas del suelo con los procesos de estabilización del COS. El segundo componente reúne las variables químicas pH, SB, CIC y CE, como propiedades químicas capaces de explicar la relación de la descomposición de la MOS con las condiciones químicas del medio edáfico. El tercer componente agrupa las variables COT, CO de la FL y CO de la FH, lo cual explica la interrelación existente entre los distintos compartimientos del COS y sirve para reforzar la justificación de medir el CO en cada compartimiento del suelo para verdaderamente entender la dinámica del COS.

Al realizar el análisis se obtuvo que las variables arenas, CO de BM e Índice de humificación participan en las combinaciones de variables que tienen baja capacidad en explicar la mayoría de la variabilidad de los datos de este estudio.

Tabla 4. Análisis de componentes principales del análisis multivariado.

Número del componente	Autovalor	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
1	7,49397	46,837	46,837
2	2,84214	17,763	64,601
3	1,75204	10,950	75,551

Componente 1: arcillas, limos y densidad aparente; 2: pH, saturación de bases, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica; 3: carbono orgánico total; carbono orgánico de la fracción ligera y carbono orgánico de la fracción húmica.

CONCLUSIONES

Los resultados permiten decir que en general los suelos de clima frío son capaces de almacenar mayor contenido de carbono en todos los compartimientos (COT, CO de BM, CO de FL y CO de FH). Siendo el uso del suelo bosque y pastura, la condición más favorable para el almacenamiento de COS, permitiendo un comportamiento como sumidero de carbono. Mientras que el uso del suelo con cultivo intensivo genera un menor contenido de COT, CO de FL y CO de BM, lo cual demuestra un comportamiento como emisor de carbono a la atmosfera.

El índice de humificación es significativamente mayor en el clima cálido. Esto representa un resultado altamente relevante, puesto que indica que el suelo en clima cálido, indistintamente del uso y la profundidad, tiene mayor capacidad de descomponer, mineralizar y humificar la MOS, lo cual representa una importante capacidad de ser sumidero de COS, si los aportes de MOS son suficientemente altos y continuos.

En este estudio se encontró que las variables físicas (arenas, limos y Da) conjuntamente con las variables químicas (pH, CE, CIC y SB), son útiles para estudiar el comportamiento del COS y su respuesta ante los factores clima, tipo de uso y profundidad del suelo.

Para estudiar la dinámica del COS es necesario medir su contenido en los distintos compartimientos de la materia orgánica del suelo, como son: la fracción ligera, la fracción húmica y la biomasa microbiana.

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

- Albaladejo, J., M. Martínez, M. Almagro, A. Ruiz y R. Ortiz. 2009. Factores de control en la dinámica del carbono orgánico de los suelos de la región de Murcia. pp. 155-158. En: Congreso Internacional sobre Desertificación en memoria del profesor John B. Thornes. Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Alexander, M. 1998. Principles and applications of soil microbiology. 6a ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Arias, H., E. Malavassi, B. Alvarado y R. Chazdon. 2012. Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques de la Península de Osa, Costa Rica. *Rev. For. Mesoam. Kurú* 9(22), 22-31. Doi: 10.18845/rfmk.v15i36.3422
- Delgado, R. y M. España. 2000. Evaluación de la biomasa microbiana por los métodos de fumigación-incubación y fumigación-extracción y su relación con la disponibilidad de nitrógeno en suelos de Venezuela. *Agron. Trop.* 50(4), 537-551.
- Elliott, E. y C. Cambardella. 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agric Ecosyst. Environ.* 34, 407-419. Doi: 10.1016/0167-8809(91)90124-G
- Ferreira, E., M. Bustamante, D. Resck, C. Figueiredo, A. Pinto y J. Malaquias. 2016. Carbon stocks in compartments of soil organic matter 31 years after substitution of Native Cerrado vegetation by agroecosystems. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 40, e0150059. Doi: 10.1590/18069657rbc20150059
- Figueiredo, C., D. Resck y M. Carneiro. 2010. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and Native Cerrado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 34, 907-916. Doi: 10.1590/S0100-06832010000300032
- Ghimire, R., S. Lamichhane, B. Acharya, P. Bista y U. Sainju. 2017. Tillage, crop residue, and nutrient management effects on soil organic carbon in rice-based cropping systems: a review. *J. Integr. Agric.* 16, 1-15. Doi: 10.1016/S2095-3119(16)61337-0
- Gobernación de Norte de Santander. 2016. Plan de Desarrollo del departamento Norte de Santander presentado para el periodo 2016-2019. Cúcuta, Colombia.
- IGAC. 2006a. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento Norte de Santander. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.
- IGAC. 2006b. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. 6ª ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.
- Kassa, H., S. Dondeyne, J. Poesen, A. Frankl y J. Nysen. 2017. Impact of deforestation on soil fertility, soil carbon and nitrogen stocks: the case of the Gacheb catchment in the White Nile Basin, Ethiopia. *Agr. Ecosyst. Environ.* 247, 273-282. Doi: 10.1016/j.agee.2017.06.034
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. *Adv. Ecol. Res.* 27, 93-132. Doi: 10.1016/S0065-2504(08)60007-0
- Lozano, Z., R. Hernández y A. Ojeda. 2005. Manual de métodos para la evaluación de la calidad física, química y biológica de los suelos. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Macías, F. y M. Camps-Arbestain. 2010. Soil carbon sequestration in a changing environment. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 15, 511-529. Doi: 10.1007/s11027-010-9231-4
- Manlay, R., C. Feller y M. Swift. 2007. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agr. Ecosyst. Environ.* 119, 217-233. Doi: 10.1016/j.agee.2006.07.011
- Oliveira, F., J. Oliveira y F. Xavier. 2016. Changes in soil organic carbon fractions in response to cover crops in an orange orchard. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 40. Doi: 10.1590/18069657rbc20150105
- Olson, K., S. Ebelhar y J. Lang. 2014 Long-term effects of cover crops on crop yields, soil organic carbon stocks and sequestration. *Open J. Soil Sci.* 4, 284-292. Doi: 10.4236/ojss.2014.48030
- Pla, I. 2010. Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. I – Propiedades mecánicas. *Suelos Ecuat.* 40(2), 75-93.
- Sánchez, P. 1976. Properties and management of the soils of the tropics. John Wiley and Sons, New York, NY, USA.
- Six, J., R. Conant, E. Paul y K. Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for c-saturation of soils. *Plant Soil* 241, 155-176. Doi: 10.1023/A:1016125726789
- Ussiri, D. y R. Lal. 2013. Land management effects on carbon sequestration and soil properties in reclaimed farmland of Eastern Ohio, USA. *Open J. Soil Sci.* 3, 46-57. Doi: 10.4236/ojss.2013.31006
- Varela, A. y D. Rueda. 2010. Organismos del suelo. pp. 397-438. En: Burbano O., H. y F. Silva M. (eds.). Ciencia del suelo principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, Colombia.

Aspectos fisiológicos y de aprovechamiento de *Acacia mangium* Willd. Una revisión

Physiological and exploitation aspects of *Acacia mangium* Willd. A review

GIOVANNI REYES M.^{1, 4}
SANDRA LORENA CARMONA G.²
MARÍA ELENA FERNÁNDEZ³

Plántula de *Acacia mangium* Willd.

Foto: G. Reyes M.



RESUMEN

Acacia mangium es una especie leguminosa de rápido crecimiento originaria de Australia y Asia central, cuyo uso se ha expandido por el resto del mundo debido a su ciclo corto, morfología, trabajabilidad de la madera y por su capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas y edáficas. Adicionalmente, tiene potencial para el aprovechamiento de los subproductos (raleo, residuos de aserrín y lodos de papel) del cultivo y como recuperador de suelos degradados. Desde el punto de vista morfofisiológico, una característica destacada es la presencia de filodios, pecíolos ensanchados que se forman después de cuatro semanas de edad, cuando pierden las hojas verdaderas, y que realizan la actividad fotosintética que le confiere tolerancia a la planta en ambientes secos por tiempo prolongado. La asociación simbiótica con bacterias nitrificantes y hongos micorrícicos, facilita la toma de nutrientes en suelos de baja fertilidad. La floración de *A. mangium* se induce por genes que pueden estar relacionados con la temperatura, el fotoperíodo y la activación de señales por parte de la sacarosa y puede ocurrir en cualquier época del año, pero según su ubicación geográfica se presentan picos marcados en determinados periodos. A pesar de que en Colombia la especie ha sido cultivada desde años atrás, muchos aspectos relacionados con la respuesta de la especie a las condiciones de las regiones de cultivo, así como la calidad de los materiales genéticos introducidos, se encuentran aún sin precisar.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Doctorado en Agroecología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Reyes M., G.: 0000-0002-2606-3558

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Mosquera (Colombia). ORCID Carmona G., S.L.: 0000-0001-7348-3566

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Balcarce, Oficina Tandil (Argentina). ORCID Fernández, M.E.: 0000-0002-9547-2216

⁴ Autor para correspondencia. greyesm@unal.edu.co

Palabras clave adicionales: especies forestales de usos múltiples, filodios, adaptabilidad a estrés hídrico, recuperación de suelos, forestaciones en Colombia.

ABSTRACT

Acacia mangium is a fast-growing legume species native to Australia and Central Asia, whose use has spread throughout the world because of its short rotation cycle, morphology, wood workability and high adaptability to different climatic and soil conditions. Additionally, it has a potential for use in crop by-products, as well as for recovery of degraded soils. From the morpho-physiological point of view, one important feature is the presence of phyllodes, widened petioles formed after four weeks of age, when the true leaves are lost, which perform photosynthetic activity and confer plant tolerance to dry environments for prolonged periods of time. The symbiotic association with nitrogen-fixing bacteria and mycorrhizal fungi facilitates nutrient uptake in low-fertility soils. *Acacia mangium* flowering is induced by genes that may be related to temperature, photoperiod and signaling activation by sucrose, but can occur at any time of year. Flowering peaks are recorded according to the species location. Although this species has been cultivated in Colombia for many years, many aspects of its response to different cultivation conditions and the quality of introduced genetic materials are still unknown.

Additional key words: forest species for multiple uses, phyllodes, adaptability to water stress, forestation in Colombia.

Fecha de recepción: 20-06-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

Según la FAO (2006), la plantación de *Acacia mangium* Willd. se ha expandido en más de 2 millones de hectáreas alrededor del mundo en el primer lustro del presente siglo. En Colombia la agroindustria forestal está en crecimiento, donde se han plantado en la última década cerca de 129.000 ha de *A. mangium* en respuesta a la creciente demanda mundial de madera proveniente de plantaciones y a la visualización de los servicios ambientales que estas plantaciones pueden proveer (CONIF, 2016). Existe además un enorme potencial para la expansión de la superficie cultivada. En este sentido, el informe técnico de zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales realizado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en 2015, declara que el país cuenta con 24 millones de hectáreas aptas para forestaciones; con 39% de aptitud alta, 25% media y 46% baja, y que actualmente, el sector aporta el 0,2% del PIB en Colombia generando aproximadamente 74 mil empleos directos (UPRA, 2015).

Este potencial presenta una oportunidad para el cultivo de distintas especies como *A. mangium* que se adapta a suelos de media y baja calidad, pudiendo

ser utilizada tanto para los productos principales (madera, manufacturas de madera y pastas de madera para producción de pulpa), como por los residuos que derivan de las prácticas de cultivo (raleo, residuos de aserrín y lodos de papel) que pueden ser utilizados para producción de energía. Asimismo, su cultivo constituye una alternativa de mejora de las propiedades del suelo. Esta especie de acacia, nativa de Tailandia, Laos, Vietnam, Camboya y Australia, se ha expandido en la primera década del presente siglo a niveles del 67% (Tsukamoto y Sabang, 2005; Torres y Del Valle, 2007).

BOTÁNICA

Acacia mangium es una leguminosa de la familia Fabácea, alcanza porte alto que puede llegar a los 30 m, con fuste recto y libre de ramas hasta cerca de la mitad de la altura total, aunque, fuera de su hábitat natural tiene la tendencia a bifurcarse a diferentes alturas (Starr *et al.*, 2003). Sin embargo, en sitios donde la nutrición es baja los árboles pueden alcanzar alturas que van de 7 a 10 m. El diámetro a la altura del pecho (DAP) que

se encuentra en los bosques naturales oscila entre los 60 y los 90 cm (Turnbull, 1986).

Presenta hojas germinales juveniles compuestas, paripinnadas similares a la de *Albizia* sp. y *Leucaena* sp., pero después de 4 semanas el axis y el pedúnculo se aplanan y se convierten en filodios. Estas estructuras pueden presentar de 10 a 25 cm de ancho, compuestas por 3 ó 4 venas principales (Maslin y McDonald, 1996). Las inflorescencias se componen de pequeñas flores en racimo de color blanco que después de la fertilización desarrollan vainas verdes y en la maduración oscurecen su color (National Research Council, 1983). Cada flor está formada por cinco pétalos y cinco sépalos y son generalmente hermafroditas, aunque también se pueden presentar flores estaminadas (Zakaria y Kamis, 1991; Zakaria, 1993). Las semillas son de color negro brillante, elípticas y ovaladas con medidas entre 3-5 a 2-3 mm (Krisnawati *et al.*, 2011). Estas se producen a los 3 y 4 meses después de la floración dependiendo de la locación geográfica (National Research Council, 1983). Por ejemplo, en Australia el pico de floración se presenta entre marzo y mayo, mientras en Indonesia los frutos maduran en julio y en Nueva Guinea en septiembre. De manera general en el trópico los frutos maduran de 5 a 7 meses después de la floración (Turnbull, 1986; Sedgley *et al.*, 1992a).

Awang y Taylor (1993) reportan que los frutos están listos para abrirse cuando cambian a marrón oscuro, momento en el cual, es ideal realizar la cosecha. En las técnicas para la separación de las semillas, FAO (1987) recomienda retirarlas manualmente y luego secarlas al sol por varios días, hasta que las vainas se tornan color marrón y explotan.

ECOFISIOLOGÍA

Acacia mangium es una especie heliófila, de rápido crecimiento, adaptada a zonas con condiciones ambientales variables, presentando una alta tolerancia a condiciones de estrés hídrico (por déficit o exceso) y de deficiencia nutricional en los suelos. Así, puede crecer en zonas tropicales con baja pluviosidad, alta radiación solar y altas temperaturas (Turnbull *et al.*, 1998), así como también se encuentra en tierras bajas tropicales con periodos cortos secos de 4 meses, creciendo detrás de manglares y en pantanos estacionales. Asimismo, se desarrolla bien en bosques húmedos y muy húmedos tropicales (bhT y bmh-T) (Corpoica, 2013). Crece en una gran diversidad de

suelos. En este sentido, tolera pH bajos (4,5-6,5) y tiene una alta tasa de regeneración en sitios abandonados. El rango altitudinal de su distribución se encuentra entre 400 y 800 msnm (Eldoma y Awang, 1999). Los rangos totales de precipitación están entre una media anual de 1.446 y 2.990 mm. Se desarrolla mejor en temperaturas mínimas entre 12 y 16°C y máximas entre 31 y 34 °C (Yang *et al.*, 2009; Marena, 2002). En períodos largos de anegamiento y frío, los árboles pueden sufrir muerte descendente (National Research Council, 1983).

Como especie pionera, la plántula usa las hojas verdaderas como estrategia de establecimiento rápido, ya que con este tipo de superficie de intercambio gaseoso se presenta un uso más eficiente del nitrógeno en la fotosíntesis que con los filodios. Este uso más eficiente del N de la hoja (cociente entre la ganancia de carbono y el contenido de este nutriente) se debe a la alta superficie expuesta a la radiación, que permite una alta tasa de fotosíntesis. Así, la ganancia diaria de biomasa por unidad de área foliar (medida de la eficiencia fotosintética), pero también el área foliar total de la planta, es decir, la superficie de intercambio gaseoso, son mayores en estado juvenil. Con el incremento del tamaño de la planta, la prioridad del uso de recursos en las hojas cambia para optimizar la fotosíntesis ante una situación ambiental estresante como la que se da bajo alta irradiación por el daño oxidativo que puede provocar la alta densidad de flujo de fotones. En este sentido, los filodios están mejor adaptados a excesos de radiación que las hojas verdaderas, no sólo por la menor superficie expuesta a la radiación sino también por su mayor contenido de carotenoides y mayor proporción entre clorofilas *a* y *b* que le confieren protección contra la fotoinhibición o el daño oxidativo por alta radiación solar (Yu y Li, 2007). A medida que los filodios maduran, tanto el punto de compensación lumínica (i.e. el nivel mínimo de radiación necesario para alcanzar un intercambio de C neto positivo) como las tasas de respiración en oscuridad disminuyen, resultando en un incremento en la capacidad de fotosíntesis neta (e.g. Yu y Ong, 2000). Asimismo, las curvas de fotosíntesis versus radiación en hojas de distintas posiciones de la copa en individuos adultos (20 años de edad) presentan valores muy bajos de radiación a los cuales se produce la saturación lumínica (aprox. 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación fotosintéticamente activa (Combalicer *et al.*, 2012), pero alcanzando rápidamente una alta capacidad fotosintética. Esta capacidad aumenta con la edad de la planta, una vez que posee filodios como tipo de hoja, según se menciona en el mismo trabajo (Combalicer

et al., 2012), en el que también miden la capacidad fotosintética a los 2 y 10 años de edad. Estos parámetros redundan en su comportamiento heliófilo, por su alta capacidad de aprovechar y de disipar excesos de radiación, generalmente debido a una alta eficiencia de los centros de reacción del fotosistema II (PSII) en la absorción y la utilización de la energía (Yu y Ong, 2000).

De la misma manera, la importancia de los cambios morfo-fisiológicos de las estructuras fotosintéticas en la aclimatación de la planta a su ambiente se ponen de manifiesto en la magnitud de los mismos que se observan durante la ontogenia, y dentro de la misma planta, revelando una alta plasticidad fenotípica en estos caracteres. Así, Leroy *et al.* (2009) han descrito cambios en la reflectancia y el área del filodio, diferencias en el grosor de la lámina, en la densidad estomática, en el contenido de clorofila y en el contenido de nitrógeno del tallo principal, de las ramas medias y en ramas bajas de la copa. Estos autores concluyeron que esas tendencias se incrementan con la edad del árbol y el tamaño de la copa, lo que resultó en un decrecimiento de la reflectancia del filodio dentro de la copa, particularmente para las ramas bajas. Asimismo, la reflectancia decreció de acuerdo al orden del eje y con la edad del árbol, encontrándose que la tasa más alta de reflectancia de los filodios más altos de la copa participaba en la reducción del recalentamiento de la hoja y de la tasa de transpiración, a medida que la cantidad de luz fue mayor. Curiosamente, la reflectancia de la lámina de *A. mangium* fue 2 a 3 veces menor que en otras acacias con filodio, las cuales han sido reportadas por estar densamente cubiertas con tricomas (tal es el caso de *Acacia harpophylla*, especie con alta reflectancia de la radiación visible, con un valor de 0,2; Yates, 1992). Los filodios, son anfiestomáticos con numerosos estomas distribuidos uniformemente en ambas superficies foliares (Atipanumpai, 1989) lo cual ayuda a aumentar la transpiración a pesar de poseer una cutícula gruesa en sus hojas. Combalicer *et al.* (2012) también determinaron en *A. mangium* un incremento en la densidad estomática proporcional con el incremento de la edad manteniendo así niveles de fotosíntesis en todo su desarrollo. Asimismo, se ha encontrado un incremento en el grosor de la cutícula con el avance de la edad, que confiere una reducción en la pérdida de agua, particularmente cuando los estomas están cerrados. Respecto a esto, Xie y Lou (2003) han reportado que el grosor de la capa de mesófilo en empalizada se incrementa, mientras el grosor del mesófilo esponjoso decrece con la edad contribuyendo nuevamente al aumento de la capacidad fotosintética

debido al aumento del número de células en la zona más expuesta a la radiación (parte superior de la lámina), en detrimento del número de células en la parte inferior de la hoja.

En cuanto a la conductancia estomática (g_s), que incide directamente en la capacidad de fijación de C y en la eficiencia de uso del agua, se han medido valores máximos de g_s muy altos en esta especie, en el orden de $0,85 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en individuos de 20 años de edad (Combalicer *et al.* (2012). Debido a que las tasas máximas de fotosíntesis son también muy altas (aprox. $12 \mu\text{mol C m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), lo que es típico de especies leguminosas con alto contenido de N foliar, la eficiencia instantánea en el uso del agua es también alta en esta especie (aprox. $8 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a pesar de la gran apertura estomática. Considerando el comportamiento estomático en relación al aumento del déficit de presión de vapor (DPV), se ha descrito que *A. mangium* presenta un uso eficiente del agua ligado a una disminución en la conductancia estomática en condiciones de alto DPV, presentando una alta sensibilidad estomática ante factores que afectan la pérdida de agua (Geiger y Servaites, 1991; Zhao *et al.*, 2013). En este último estudio las plantas presentaron un comportamiento cercano al isohídrico, con valores de potencial hídrico mínimo diario similares en períodos secos y húmedos (en el rango de -1,6/-1,8 MPa). Los anteriores estudios analizan la respuesta estomática en mediciones realizadas a nivel foliar. Otros estudios estiman la conductancia de la canopia (g_c), que es una medida de la g_s promedio de toda la copa, a partir de la medición del flujo de savia en el tronco (i.e. flujo de agua en fase líquida, a diferencia de las mediciones con porometría que miden la fase gaseosa) y variables meteorológicas. En estos se observan respuestas variables de la g_c al DPV, que posiblemente obedecen a mediciones en distintos materiales genéticos o en condiciones ambientales distintas. Así, mediciones realizadas en China (Zhao *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2008) muestran una caída exponencial de la g_c con el aumento de DPV, mientras que mediciones en Borneo (Cienciala *et al.*, 2000) muestran una ausencia de respuesta de g_c al DPV. En este último estudio los máximos valores de DPV alcanzados apenas superan los 2 kPa, valor que aparentemente constituye el umbral al cual comienza a producirse el cierre estomático parcial en la especie, según datos de porometría (p.e. Zhao *et al.*, 2013). Este comportamiento estomático poco sensible en condiciones de baja demanda atmosférica (< 2 kPa), aún en situaciones de baja disponibilidad hídrica en suelo (Cienciala *et al.*, 2000), es seguramente

responsable - junto con la alta eficiencia fotosintética en condiciones de alta irradiancia - de las altas tasas de crecimiento reportadas para esta especie. Junto con una alta reflectancia de los filodios en la parte superior de la copa, la transpiración por ausencia de cierre estomático es un eficaz mecanismo de disipación del exceso de calor, así como permite al mismo tiempo el ingreso de C al mesófilo necesario para disipar la energía del exceso de radiación por la vía de la fotosíntesis. En condiciones de alta precipitación pero con mayor demanda evaporativa del aire, la especie presenta un comportamiento estomático conservativo, que le permite mantener la integridad funcional durante períodos de estrés. Este comportamiento se observa en todo el rango de DPV en estos estudios a partir de densidad de flujo de savia (pero no con mediciones directas sobre las hojas, donde sí se observó el umbral de 2 kPa para el cierre estomático, en árboles maduros tanto en temporada húmeda como seca (Zhao *et al.*, 2013). Más allá de cuáles sean las condiciones del ambiente en interacción con el genotipo que llevan al cierre estomático parcial o total, la consecuencia de ello es que el déficit hídrico –seguramente en distinta magnitud de acuerdo al genotipo– redundará en una disminución del crecimiento en esta especie, lo que puede tener un impacto económico en plantaciones comerciales que requieran el mantenimiento de una alta productividad. Así, se ha reportado que el crecimiento de *A. mangium* puede disminuir o detenerse en momentos de escasez de agua (Rodríguez-Petit *et al.*, 1997), sugiriendo la necesidad de estudiar la variabilidad en los umbrales de tolerancia de distintos genotipos.

PROPAGACIÓN PARA SU USO EN PLANTACIONES

La calidad de las plántulas de *A. mangium* está determinada por características como su genética, morfología, fisiología, biología y calidad fitosanitaria. Estas características a su vez, dependen de factores como la interacción genotipo-ambiente, tipo y tamaño del contenedor, características físicas del sustrato, fertilización, y tiempo de permanencia en vivero (Ramírez, 2009).

Las semillas pueden ser sembradas en semilleros y trasplantadas de 6 a 10 días después de la siembra (dds). Sin embargo, la recuperación de material por este método permite tan solo un 37% (Maheshwar, 2013). Si se siembra en bandejas de germinación y se

trasplanta de 6 a 10 dds, cuando la radícula emerge, puede ocurrir una recuperación de más del 85% (Srivastava, 1993). Otra opción es sembrar directamente en los contenedores con una semilla por contenedor, en sustratos orgánicos e inorgánicos con baja densidad aparente y alta porosidad que procuren mantener la humedad (Awang y Taylor, 1993).

Los parámetros de calidad de *A. mangium* establecidos y aceptados internacionalmente para plántulas de vivero son biomasa radical, diámetro de cuello de raíz, altura, esbeltez, conformación aérea, coloración y lignificación (Ramírez, 2009).

PLANTACIÓN

El trasplante se realiza manualmente, marcando previamente los sitios de plantación en campo durante la estación lluviosa (FAO, 1987). Los plantines se pueden plantar en líneas rectas en zonas planas y en curvas de nivel en terrenos con pendiente (Krisnawati *et al.*, 2011). Los huecos donde se ubican las plantas pueden medir 13 cm de diámetro y 20 cm de profundidad aproximadamente (Srivastava, 1993). El espaciamiento entre árboles en las plantaciones depende del uso que se quiere dar a las mismas, variando de acuerdo a si constituyen forestaciones puras para producción de papel o bionergía, para usos sólidos, o para conformar sistemas mixtos como silvopastoriles y agroforestales. Normalmente varían entre 2×2 y 4×4 m. En esta especie, la alta densidad de plantación es muy importante para la producción de madera aserrada, ya que reduce la cantidad de ramas y el riesgo de enfermedades fungosas. Cuando se quiere obtener materia prima maderable para producción de energía, la densidad de la plantación disminuye para incentivar una mayor cantidad de ramas (Weinland y Zuhaidi, 1991).

CRECIMIENTO

La adaptación a períodos prolongados de sequía y valores de VPD altos favorece su aprovechamiento en muchas plantaciones forestales (Pinso y Nasi, 1991; Eamus y Cole, 1997), donde crece rápidamente en altas densidades de población en competencia por recursos, mientras que, en condiciones naturales, crece en densidades poblacionales menores (Eyles *et al.*, 2015).

Esta especie presenta una alta tasa de crecimiento durante los primeros cinco años de cultivo, pudiendo ganar desde 1,8 hasta 5,8 cm anuales de diámetro, dependiendo de la edad, el sitio y las distancias de siembra del cultivo. El desarrollo de la acacia se relaciona con las condiciones ambientales del cultivo en cada zona, así como lo describieron Harwood y Williams (1992), quienes evaluaron cultivos de acacia de diferentes procedencias, las que presentaron marcadas diferencias en crecimiento, principalmente en función de la temperatura. En condiciones extremas, la asimilación de carbono se reduce por la capacidad de limitar la ganancia de masa seca, en función de regular la pérdida de agua en situaciones de sequía prolongada (Eyles *et al.*, 2015).

INDUCCIÓN FLORAL Y FLORACIÓN

La floración en las plantas puede verse afectada por factores endógenos y exógenos, tales como señalización hormonal, la señalización mediada por azúcares, la temperatura y la duración del día (Matsoukas, 2014). De acuerdo a esto, se han determinado seis rutas metabólicas en la inducción floral de la planta modelo *Arabidopsis thaliana* L., que son activadas por estímulos diferentes, pero no se encuentran aisladas unas de las otras (Fornara, 2014). La luz es percibida por fotorreceptores y si se identifica un fotoperiodo largo se activa una ruta metabólica facultativa de día largo. Por otro lado, si el fotoperiodo es corto, la floración depende exclusivamente de una ruta dependiente de las giberelinas y en una ruta independiente del fotoperiodo, se responde exclusivamente a la temperatura. Otro promotor de la floración es el estado circulatorio de sacarosa, el cual se presume funciona como un activador de diversas rutas metabólicas hormonales relacionadas con la floración (Blázquez, 2000; Matsoukas, 2014). El último objetivo para las vías metabólicas de floración mediadas por el tiempo, son los genes de identidad del meristemo floral que confiere identidad floral a primordios recién emergidos, cuya expresión local es consecuencia de la activación por proteínas de identidad, por el meristemo floral e interacciones mutuas (Blázquez, 2000; Coen y Meyerowitz, 1991; Hu *et al.*, 2003).

A partir de la descripción de las rutas relacionadas con la floración en *A. thaliana*, Wang *et al.* (2005) identificaron 147 genes expresados durante la floración en *A. mangium*. De estos, el 26% están relacionados con el metabolismo (asparaginasintetasa, tioesterasa, hidrolasas y lipasas), el 18% son nuevos, 18% son genes

específicos con función desconocida, 10% de ellos tienen funciones relacionadas con el desarrollo floral y 11% son reguladores de proteínas. El gasto metabólico en esta etapa fenológica del árbol, ocurre a expensas de la producción de biomasa para la síntesis de lignina y celulosa en los tejidos del tronco, por lo que, a excepción de fines de propagación y obtención de semilla, una abundante floración es indeseable en *A. mangium* (Sedgley *et al.*, 1992a).

La floración en acacia es precoz, comienza a florecer 18 a 20 meses después de la siembra y puede durar hasta 8 meses en un árbol adulto. El tiempo transcurrido desde la aparición de los brotes hasta los frutos maduros es de aproximadamente 199 días (Hegde *et al.*, 2013). Sin embargo, la época de floración varía según la ubicación geográfica, por ejemplo, en Australia ocurre entre marzo y mayo, en Indonesia y Malasia, de enero a marzo, y en Centroamérica, a mediados de año (Krisnawati *et al.*, 2011). Aunque la floración presenta ciclos marcados, se puede interrumpir y ocurrir en otra época del año (Awang y Taylor, 1993). La polinización en esta especie es entomofílica, en la que actúan principalmente *Trigona* sp. y *Apis* sp. Sin embargo, las plantas de *A. mangium* no atraen a muchos polinizadores, debido a que no poseen nectarios florales (Zakaria, 1993). Las flores presentan una leve protoginia y andromonoecia y se han detectado hibridaciones interespecíficas con *A. auriculiformis*, con estructuras florales similares, compartiendo la andromonoecia, pero presentando variaciones en la proporción de flores masculinas y duración de la floración, lo que reduce la efectividad del mecanismo de cruzamiento (Sedgley *et al.*, 1992b). Estas características amplían la diversidad genética en la progenie, atributo indeseable para la propagación comercial por semilla (Xie y Hong, 2002).

FERTILIZACIÓN Y PODAS

Aunque las plantaciones forestales de *A. mangium* comúnmente reciben muy poca o ninguna enmienda, algunos autores reportan niveles de aplicación de macronutrientes principalmente. Simpson (1992) reportó que fertilizaciones continuadas en adecuadas cantidades (100 kg ha⁻¹ de N, 50 kg ha⁻¹ de P y 50 kg ha⁻¹ de K) pueden aumentar el crecimiento temprano de las plantas. Una de las investigaciones más profundas en este aspecto la realizó Paudyal (1995) en Malasia. Allí se evaluaron tres metodologías en planta y en suelo para optimizar los niveles de fertilización en altura y diámetro del tronco; análisis de suelos, análisis

de siembra en macetas y análisis foliar. Los investigadores encontraron que en el tratamiento en macetas con el equivalente a 800 kg ha⁻¹ de urea, 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 100 kg ha⁻¹ de K₂O, se promovió el crecimiento de *A. mangium*. Bajo condiciones de campo el óptimo foliar se ubicó entre 1,84 y 2,10 % para N, 0,11 a 0,16 % para P y 0,80-0,88 % para K.

En cuanto a la poda, si bien la extracción de ramas reduce el área fotosintética, a la vez, puede aumentar la disponibilidad de recursos (agua, nutrientes) para las hojas remanentes en la planta. El equilibrio, o la capacidad de cada especie de compensar ambos efectos, determinan umbrales específicos de esfuerzo y momento de intervención. Así, distintas especies presentan respuestas variables a la magnitud de poda (% de remoción de copa viva) tanto en crecimiento del fuste como en muerte de raíces y en la magnitud de las respuestas compensatorias a nivel de producción de nueva área foliar (y biomasa leñosa que la sostiene) y tasa de transpiración (p.e. Gyenge *et al.*, 2009 y citas en él; Pinkard, 2003). Las técnicas apropiadas para la poda se basan en cortar una rama correctamente sin hacer daño a los árboles, en un período del año en que la planta sufra la menor depresión del crecimiento, sin que se induzca a la vez, una respuesta compensatoria exacerbada que conlleve la producción de brotes epicórmicos (Meier *et al.*, 2012) o cambios marcados en la asignación de biomasa a las hojas en detrimento del tronco. El primer corte es llamado corte de la parte inferior, debido a que se realiza en la base de la rama. La razón principal para realizar este corte es permitir que la rama se rompa en la parte inferior al momento de realizar el segundo corte, en la parte superior de la rama a la misma altura, sin provocar que se desgaje la rama por el propio peso de la misma, en lugar de cortar en la parte unida al tronco. El segundo corte se realiza en la parte superior de la rama (Gyenge *et al.*, 2009; University of Guyana, 2013).

USOS

La creciente presión sobre los bosques naturales en el mundo, especialmente en países tropicales, ha dado como resultado el uso de plantaciones forestales, incluyendo de *A. mangium* que por su rápido crecimiento es un sustituto ideal para sostener la oferta comercial de productos forestales (p.e. Arisman, 2002, para el caso de Indonesia). Además de la provisión de bienes maderables, especies como la acacia permiten su uso como recuperador de suelos, ya que su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y producir grandes

cantidades de materia orgánica aumentan la actividad biológica del suelo, y rehabilita sus propiedades físicas y químicas (Otsamo *et al.*, 1995).

En Colombia, inicialmente se introdujo esta especie con propósitos ambientales, para manejo de la erosión y recuperación de suelos degradados, gracias a la capacidad de fijar nitrógeno y fósforo. Sin embargo, en la última década, debido a su potencial maderable, se han establecido proyectos forestales para el aprovechamiento de madera en zonas como el Bajo Cauca Antioqueño, sur de Córdoba, Magdalena Medio y Llanos Orientales (Mercado *et al.*, 2008).

Uno de los parámetros de potencial maderable es el ELP (límite de esfuerzo proporcional) que se refiere a la máxima presión que soporta una pieza de madera antes de sufrir deformación permanente. La madera de *Acacia mangium* tiene una condición natural de mediano a alto ELP, según las normas ASTM (organismo norteamericano de normas y estandarización), lo cual le genera capacidad para ser transformada en diferentes productos como vigas, tableros de mesas y sillas, entrepaños de bibliotecas y armarios, entre otros (Escobar y Rodríguez, 1995). A partir de *A. mangium*, también se pueden obtener insumos para alimentación, taninos para pintura, biocarbón para energía y enmiendas de suelos, postes y fibra para elaboración de papel (Doran y Safley, 1997; Mercado *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

Acacia mangium es una especie con gran potencial para diferentes usos en Colombia, debido a la adaptación y resiliencia que tiene ante condiciones ambientales adversas, lo que la ubica como alternativa ante escenarios como el de la variabilidad climática actual y predicha para el futuro.

Además de su uso como especie maderable, *A. mangium* se postula como un árbol recuperador de suelos deteriorados por diferentes tipos de erosión. Su adaptabilidad se basa en sus características morfo-fisiológicas, siendo la presencia de filodios estructuras claves para la resistencia fisiológica a estrés por sequía y temperatura en los bosques secos tropicales. A pesar de su tolerancia, su crecimiento se ve limitado principalmente por la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo.

A pesar de que en Colombia *A. mangium* se ha cultivado durante años, se encuentra aún sin precisar la información relacionada con las condiciones de cada

región en cuanto a aptitud para su cultivo, la calidad de distintos materiales genéticos introducidos y parámetros de producción en función de contextos específicos: edad, manejo, condiciones agroecológicas. En este sentido, existe un retraso en la actualización de estudios que conduzcan a la profundización del comportamiento fisiológico y productivo de *A. mangium* en ecosistemas colombianos.

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

- Arisman, H. 2002. Sustainable acacia plantations: a case of short-rotation plantation at PT Musi Hutan Persada, South Sumatra, Indonesia. pp. 9-13. En: Rimbawanto, A. y M. Susanto M. (eds.). *Advances in genetic improvement of tropical tree species*. Indonesian Ministry of Forestry Research and Development Agency; Japan International Cooperation Agency, Yogyakarta, Indonesia.
- Atipanumpai, L. 1989. *Acacia mangium*: studies on the genetic variation in ecological and physiological characteristics of a fastgrowing plantation tree species. *Acta For. Fenn.* 206, 1-92. Doi: 10.14214/aff.7653
- Awang, K. y D. Taylor. 1993. *Acacia mangium*: growing and utilization. MPTS monograph series No. 3 (No. PB-95-160032/XAB). Winrock International Inst. for Agricultural Development, Arlington, VA.
- Blázquez, M.A. 2000. Flower development pathways. *J. Cell Sci.* 113(20), 3547-3548.
- Cienciala, E., J. Kučera y A. Malmer. 2000. Tree sap flow and stand transpiration of two *Acacia mangium* plantations in Sabah, Borneo. *J. Hydrol.* 236(1), 109-120. Doi: 10.1016/S0022-1694(00)00291-2
- Coen, E.S. y E.M. Meyerowitz. 1991. The war of the whorls: genetic interactions controlling flower development. *Nature* 353, 31-37. Doi: 10.1038/353031a0
- Combalicer, M.S., D.K. Lee, S. Woo, Y.J.O Hyun, Y.D. Park, Y.K. Lee y E.L. Tolentino. 2012. Physiological characteristics of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth., *Acacia mangium* Willd. and *Pterocarpus indicus* Willd. in the La Mesa Watershed and Mt. Makiling, Philippines. *J. Environ. Sci. Manage. Spec Issue*, 1, 14-28.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). 2013. Ficha técnica. *Acacia mangium*. En: http://www.corpoica.org.co/NetCorpoicaMVC/STDF/Content/fichas/pdf/Ficha_2; consultado: mayo de 2017.
- Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). 2016. Sector forestal en Colombia. En: <http://www.conif.org.co/>; consultado: junio de 2017.
- Doran, J.W. y M. Safley. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. pp. 1-28. En: Pankhurst, C., B.M. Doube y V.V.S.R. Gupta (eds.). *Biological indicators of soil health*. CAB International, Wallingford, UK.
- Eamus, D. y S. Cole. 1997. Diurnal and seasonal comparisons of assimilation, phyllode conductance and water potential of three *Acacia* and one *Eucalyptus* species in the wet-dry tropics of Australia. *Aust. J. Bot.* 45(2), 275-290. Doi: 10.1071/BT96020
- Eldoma, A. y K. Awang. 1999. Site adaptability of *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis*, *Acacia crassicarpa* and *Acacia aulacocarpa*. APAFRI Publication Series No. 3. Asia Pacific Association of Forestry Research Institutions, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Escobar, O. y J. Rodríguez. 1995. Las maderas en Colombia. Ministerio de Educación; Regional Antioquia-Chocó, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Medellín, Colombia.
- Eyles, A., P. Drake, L. Quang, T. Bon, P.V. Mendham, D. White, y C. Beadle. 2015. Ecophysiology of *Acacia* species in wet-dry tropical plantations. *Southern Forests: J. Forest Sci.* 77(4), pp 1-10. Doi: 10.2989/20702620.2015.1063030
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1987. A guide for seed handling with special reference to the tropics. FAO Forestry Paper 20/2. Roma.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2006.
- Fornara, F. 2014. Advances in botanical research: the molecular genetics of floral transition and flower development. Academic Press, Oxford, UK.
- Geiger, D.R. y J.C. Servaites. 1991. Carbon allocation and response to stress. pp. 103-125. En: Winner, W.E., J. Roy y E.J., Pell (eds.). *Response of plants to multiple stresses*. Academic Press, Londres, UK.
- Gyenge, J., M. Fernández y T.M. Schlichter. 2009. Effect of pruning on branch production and water relations in widely spaced ponderosa pines. *Agrofor. Syst.* 77, 223-235. Doi: 10.1007/s10457-008-9183-9
- Harwood, C.E. y E.R. Williams. 1992. A review of provenance variation in growth of *Acacia mangium*. En: Carron, L.T. y K.M. Aken (eds.). 1992. *Breeding Technologies for Tropical Acacias*. Proceedings of a workshop held in Tawau, Sabah, Malaysia. 1-4 July 1991. ACIAR Proceedings No. 37.
- Hegde, M., K. Palanisamy y J.S. Yi. 2013. *Acacia mangium* Willd. A fast growing tree for tropical plantation. *J. Forest Environ. Sci.* 29(1), 1-14. Doi: 10.7747/JFS.2013.29.1.1

- Hu, W., Y.X. Wang, C. Bowers y H. Ma. 2003. Isolation, sequence analysis, and expression of florally expressed cDNAs in *Arabidopsis*. *Plant Mol. Biol.* 53, 545-563. Doi: 10.1023/B:PLAN.0000019063.18097.62
- Krisnawati, H., M. Kallio y M. Kanninen. 2011. *Acacia mangium* Willd. ecology, silviculture and productivity. CIFOR, Bogor, Indonesia. National Academy Press, Washington, DC.
- Leroy, C., M. Guéroult, N.S.M. Wahyuni, J.N. Escoute, R.G.J. Cereghino, S. Sabatier y D. Auclair. 2009. Morphogenetic trends in the morphological, optical and biochemical features of phyllodes in *Acacia mangium* Willd. (Mimosaceae). *Trees* 23, 37-49. Doi: 10.1007/s00468-008-0252-5
- Liu, X., P. Zhao, X. Rao, L. Ma, X. Cai y X. Zeng. 2008. Response of canopy stomatal conductance of *Acacia mangium* forest to environmental driving factors. *Front. For. China* 3(1), 64-71. Doi: 10.1007/s11461-008-0001-3
- Maheshwar, H., K. Palanisam y S. Jae. 2013. *Acacia mangium* Willd. - A fast growing tree for tropical plantation. *J. For. Sci.* 29(1), 1-14. Doi: 10.7747/JFS.2013.29.1.1
- Marena. 2002. Guía de especies forestales de Nicaragua. En: <http://es.scribd.com/doc/60969339/Guia-de-Especies-Forestales>; consultado: mayo de 2017.
- Maslin, B.R. y M.W. McDonald. 1996. A key to useful *Australian acacias* for the seasonally dry tropics. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.
- Matsoukas, I.G. 2014. Interplay between sugar and hormone signaling pathways modulate floral signal transduction. *Front. Genet.* 5, 1-12. Doi: 10.3389/fgene.2014.00218
- Meier, A., M. Saunders y C. Michler. 2012. Epicormic buds in trees: a review of bud establishment, development and dormancy release. *Tree Physiol.* 32, 565-584. Doi: 10.1093/treephys/tps040
- Mercado Jr., A., M. Van Noordwijk, T. Hilder y G. Cadisch. 2008. *Acacia mangium* as an intercrop in mixed tree-based contour hedgerow systems on sloping acid upland soils. *Aust. J. Bot.* 40, 37-48.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2015. Colombia tiene un potencial forestal de 24 millones de hectáreas para explotación comercial. En: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Colombia-tiene-un-potencial-forestal.aspx>; consultado: mayo de 2017.
- National Research Council. 1983. *Mangium and other fast-growing Acacias for the humid tropics*. National Academic Press, Washington D.C., USA.
- Otsamo, A., G. Ådjers, T.S. Hadi, J. Kuusipalo, K. Tuomela y R. Vuokko. 1995. Effect of site preparation and initial fertilization on the establishment and growth of four plantation tree species used in reforestation of *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. Dominated grasslands. *For. Ecol. Manage.* 73, 271-277. Doi: 10.1016/0378-1127(94)03483-D
- Paudyal, B.K. 1995. Nutritional aspects of *Acacia mangium* Willd. plantation in peninsular Malaysia. Tesis de doctorado. University of Pertanian Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia.
- Pinkard, E.A. 2003. Physiological and growth responses related to patterns and severity of green pruning in young *Eucalyptus globulus*. *For. Ecol. Manage.* 182, 231-245. Doi: 10.1016/S0378-1127(03)00046-X
- Pinso, C. y R. Nasi. 1991. The potential use of *Acacia mangium* x *Acacia auriculiformis* hybrid in Sabah. En: Carron, L.T. y K.M. Aken (ed.). *Breeding technologies for tropical acacias*. Proceedings of a Workshop held in Tawau. ACIAR Proceedings No. 37. 1-4 July 1991 Sabah, Malaysia.
- Ramírez, A. 2009. Manejo de viveros forestales. En: *Patología Forestal. Memorias Curso de Extensión*, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Rodríguez-Petit, A., T. Clavero y T. Razz. 1997. Características de crecimiento de *Acacia mangium* Willd. en condiciones de bosque seco tropical. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 5(Supl. 1), 60-62.
- Sedgley, M., J.R.M. Harbard, M. Smith, R. Wickneswari y A.R. Griffin. 1992a. Reproductive-biology and interspecific hybridization of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. (Leguminosae, Mimosoideae). *Aust. J. Bot.* 40(1), 37-48. Doi: 10.1071/BT9920037
- Sedgley, M., C.Y. Wong-Newman, J.V. Harbard, K.G.R.M. Smith, A. Koh y B. Tajuddin. 1992b. Phenology of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* in Australia and Malaysia. pp. 36-44. En: Carron, L.T. y K.M. Aken (eds.). *Breeding technologies for tropical acacias*. ACIAR Proceedings No. 37. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- Simpson, J.A. 1992. An assessment of the soils and nutrient status of trial plantations in the Indonesia. Enso Forest Development, Helsinki, Finlandia.
- Srivastava, P.B.L. 1993. Silvicultural practices. pp. 113-148. En: Awang, K. y D. Taylor (eds.). *Acacia mangium: growing and utilization*. Winrock International and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, Tailandia
- Starr, F., K. Starr y L. Loope. 2003. *Acacia mangium*. Mangium wattle. United States Geological Survey. Biological Resources Division. Haleakala Field Station, Maui, Hawai'i.
- Torres, D.A. y J. del Valle. 2007. Growth and yield modelling of *Acacia mangium* in Colombia. *New For.* 34, 293-305. Doi: 10.1007/s11056-007-9056-5

- Tsukamoto, J. y J. Sabang. 2005. Soil macro-fauna in an *Acacia mangium* plantation in comparison to that in a primary mixed dipterocarp forest in the lowlands of Sarawak, Malaysia. *Pedobiol.* 49, 69-80. Doi: 10.1016/j.pedobi.2004.08.007
- Turnbull, J.W. 1986. Australian acacias in developing countries. Proceedings of the International Workshop held at the Forestry Training Centre, Gympie, Queensland, Australia, 4-7 August 1986. ACIAR Proceedings No. 16. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- Turnbull, J.W. y K. Pinyopusarerk. 1998. Recent developments in acacia planting. Proceedings of an International Workshop held in Hanoi, Vietnam. 27-30 October 1997. ACIAR. Proceedings No. 82.
- Unidad de Planeación Rural Agropecuaria (UPRA). 2015. Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales: Colombia. Memoria Técnica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, Colombia.
- University of Guyana. 2013. Post plantation management of *Acacia* on mined out sites at Mahdia. Research report compendium. Faculty of Agriculture and Forestry Project Team, Guyana.
- Wang, X., X. Cao e Y. Hong. 2005. Isolation and characterization of flower-specific transcripts in *Acacia mangium*. *Tree Physiol.* 25, 167-178. Doi: 10.1093/treephys/25.2.167
- Weinland, G. y A.Y. Zuhaidi. 1991. Management of *Acacia mangium* stands: tending issues. pp. 40-52. En: Appanah, S., F.S.P. Ng y R. Ismail (eds.). Malaysian forestry and forest products research proceedings. Forest Research Institute Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Xie, D. e Y. Hong. 2002. Agrobacterium-mediated genetic transformation of *Acacia mangium*. *Plant Cell Rep.* 20(10), 917-922. Doi: 10.1007/s00299-001-0397-9
- Xie, S. y X. Lou. 2003. Effect of leaf position and age on anatomical structure, photosynthesis, stomatal conductance and transpiration of Asian pear. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 44, 297-303.
- Xu, W.T., P. Zhao, Q. Wang, X.O. Rao, X.A. Cai y X.P. Zeng. 2007. Calculation and modeling of the canopy stomatal conductance of *Acacia mangium* from sapflow data. *Acta Ecol. Sinica* 27, 4122-4131.
- Yang, L., N. Liu, H. Ren. y J. Wang. 2009. Facilitation by two exotic *Acacia*: *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* as nurse plants in South China. *For. Ecol. Manage.* 257(8), 1786-1793. Doi: 10.1016/j.foreco.2009.01.033
- Yates, D.J. 1992. Short-term changes in spectral properties of phyllodes of brigalow (*Acacia harpophylla* F. Muell. ex Benth.) in response to wetting. *Aust. J. Bot.* 40, 27-35. Doi: 10.1071/BT9920027
- Yu, H. y J.T. Li. 2007. Physiological comparisons of true leaves and phyllodes in *Acacia mangium* seedlings. *Photosynthetica* 45(2), 312-316. Doi: 10.1007/s11099-007-0053-x
- Yu, H. y B.L. Ong. 2000. Photosynthesis and antioxidant enzymes of phyllodes of *Acacia mangium*. *Plant Sci.* 159, 107-115. Doi: 10.1016/S0168-9452(00)00336-8
- Zakaria, I. 1993. Reproductive biology. pp. 21-34. In: *Acacia mangium* – Growing and utilization. MPTS Monograph Series No. 3. Winrock International and FAO, Bangkok, Tailandia.
- Zakaria, I. y A. Kamis. 1991. Comparison of floral morphology, flower production and pollen yield of *Acacia mangium* and *A. auriculiformis*. pp. 26-29. En: Turnbull, J.W. (ed.). Advances in tropical acacia research. Proceedings of an International Workshop. 11-15 February, 1991. ACIAR Proceedings No. 3. Bangkok, Tailandia.
- Zhao, P., X. Rao, L. Ma, X. Cai y X. Zeng. 2006. Sap flow scaled stand transpiration and canopy stomatal conductance in an *Acacia mangium* forest. *Chin. J. Plant Ecol.* 30, 655-665. Doi: 10.17521/cjpe.2006.0086
- Zhao, P., G. Sun, G. Ni. y X. Zeng. 2013. Seasonal differences in the leaf hydraulic conductance of mature *Acacia mangium* in response to its leaf water use and photosynthesis. *Chin. J. Appl. Ecol.* 24(1), 49-56.

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) y disciplinas afines, 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

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 tanto de una fracción del artículo como de su totalidad en revistas diferentes y autoplagio al repetir partes de escritos anteriores; 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 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.

La *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* acepta artículos originales de los siguientes tipos, en concordancia con lo requerido por el programa Publindex de Colciencias para la categoría A₂:

- *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 en hojas independientes 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 tablas y los diagramas de frecuencia (barras y tortas) originales deben suministrarse en el archivo del manuscrito y también en su original de MS-Excel®; otras figuras, como fotografías sobre papel y dibujos, se pueden enviar en originales o escanearlas y remitirlas en el formato digital de compresión JPG (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 con sus archivos en Word, Excel y JPG debe ser enviado al correo electrónico: gerfischer@gmail.com (editor Gerhard Fischer).

Idiomas, unidades y estilo

Los idiomas oficiales de la revista son español, inglés y portugués. En el caso de manuscritos en inglés redactar en inglés británico o inglés americano, pero emplear uno de los dos estilos durante todo el artículo. Debe utilizarse exclusivamente el Sistema Métrico Decimal (SI). Todas las abreviaturas se deben explicar cuando se usan por primera vez en el texto. El estilo del texto debe ser impersonal y tiempo gramatical pasado se debe usar en la introducción, los procedimientos y los resultados.

Título y autores

Cuando el título es en español, es obligatoria su respectiva traducción al idioma inglés y viceversa. 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 inglés 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.

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. Resumen (Abstract) y palabras clave adicionales (Additional keywords) se deben traducir al inglés.

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: ■, □, ◆, Δ, 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 constituyan 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.

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). 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 y ciudad de su sede, páginas consultadas (pp. # - #). 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, país si la ciudad no es capital. 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^{-1}). 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:
 - o P a 20 g L^{-1} , y *no* 20 g P L^{-1} ni 20 g P/L .
 - o El rendimiento en peso seco fue de 5 g día^{-1} , y no $5 \text{ g de peso seco día}^{-1}$.
 - o Se aplicaron 25 g ha^{-1} del ingrediente activo, y no 25 g i.a./ha .
 - o Cada planta recibió 20 g ha^{-1} de agua, y no $20 \text{ g H}_2\text{O/ha}$ 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 ($^\circ\text{C}$) y grados Brix ($^\circ\text{Brix}$) 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; 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 Universidad Francisco de Paula Santander, is published four-monthly for the national territory. It is a publication 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) and related disciplines 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 journal *Agronomía Colombiana* 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 co-authorship, 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 self-citation, 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 (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: ■, □, ◆, Δ, 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.

Acknowledgements

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 (*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⁻¹). 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⁻¹, but not 20 g P L⁻¹, nor 20 g P/L.

The yield measured in dry mass was 10 g d⁻¹, but not 10 g of dry mass d⁻¹.

The active ingredient was applied at 25 g ha⁻¹, but not 25 g a.i./ha.

Each plant received water at 30 g ha⁻¹, but not irrigation was applied at 30 g H₂O/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, 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) e disciplinas afins. 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.

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

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 × 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: ■, □, ◆, Δ, 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*. 4th 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⁻¹). 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⁻¹, em lugar de 20 g de P L⁻¹, ou de 20 g de P/L.

O rendimento em peso seco foi de 5 g dia⁻¹, em lugar de 5 g de peso seco dia⁻¹.

Aplicaram-se 25 g ha⁻¹ de ingrediente ativo, em lugar de 25 g i.a./ha.

Cada planta recebeu 20 g ha⁻¹ de água, em lugar de 20 g H₂O/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, 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: 571 - 316 5000 ext. 19041

soccolhort@gmail.com, gerfischer@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

Salinity tolerance of *Passiflora tarminiana* Coppens & Barney
Tolerancia a la salinidad de *Passiflora tarminiana* Coppens & Barney
Alejandro Hurtado-Salazar, Danielle Pereira-da-Silva, John Ocampo, Nelson Ceballos-Aguirre, Claudio Horst Bruckner 11

Efecto de la aplicación foliar de boro en el desarrollo fenológico y cuajado de fruto de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims)
Effect of foliar applications of boron on the phenological development and fruit set of purple passion fruits (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims)
Ivonne A. Quiroga-Ramos, Gerhard Fischer, Luz Marina Melgarejo 20

Efecto de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el crecimiento del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) en etapa vegetativa
Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium doses on tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) growth in the vegetative phase
Claudia Helena Ramírez-Soler, Stanislav Magnitskiy, Sandra Esperanza Melo M., Luz Marina Melgarejo 31

Características físicas de pedúnculos de clones de cajueiro-anão (*Anacardium occidentale* L.) produzidos em função da variação ambiental e temporal
Physical characteristics of cashew apples from dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) clones as a function of environmental and temporal variation
Maria Luciliana Bezerra Almeida, Carlos Farley Herbster Moura, Renato Innecco, Márcia Régia Souza da Silveira 41

Fluorescencia de la clorofila a en plantas de piña sometidas a aplicación de herbicidas
Fluorescence of chlorophyll a in pineapple plants submitted to herbicide applications
Juliano Miarí Corrêa, Evander Alves Ferreira, Gustavo Antônio Mendes Pereira, Alba Rocio Aguilar P, José Barbosa dos Santos, Carlos Henrique de Oliveira, Cícero Teixeira Silva 50

Efecto de la fertilización mineral y de un fertilizante biológico en piña [*Ananas comosus* (L.) Merr.] en el cultivar MD2 ('Golden')
Effect of mineral fertilization and organic fertilization on pineapple [*Ananas comosus* (L.) Merr.] cultivar MD2 ('Golden')
Carlos Marca-Huamancha, Ricardo Borjas-Ventura, Diana Rebaza-Fernández, Segundo Bello-Amez, Alberto Julca-Otiniano 59

Nuevos registros de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) y de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en fresas cultivadas en Venezuela
New records of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) and *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in strawberries crops in Venezuela
Yohan Solano-Rojas, Aracelis Giménez, María Pérez de Camacaro, José Morales-Sánchez, Gustavo Zurita 69

Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest quality of Roxo-de-Valinhos fresh ripe figs
Efecto del 1-metilciclopropeno en la calidad poscosecha de frutos de higos maduros de la var. Roxo-de-Valinhos
Mauro Brasil Dias Tofaneli, Francine Lorena Cuquel, José Gilberto Sousa Medeiros, Jessica Welinski de Oliveira D'Angelo 75

Sección de hortalizas

Applications of calcium and boron increase yields of Italian tomato hybrids (*Solanum lycopersicum*) in two growing seasons
Aplicaciones de calcio y boro aumentan la producción de híbridos de tomate Italiano (*Solanum lycopersicum*) en dos temporadas de cultivo
Débora T. Zamban, Daiane Prochnow, Bráulio O. Caron, Mônica Turchetto, Daniele Cristina Fontana, Denise Schmidt 82

Organic compost addition to raw rice husk substrate for tomato (*Solanum lycopersicum*) hybrid variety cultivation in a leach recirculating system
Adición de compost orgánico al sustrato de cáscara de arroz crudo para el cultivo de variedades híbridas de tomate (*Solanum lycopersicum*) en sistema con recirculación del lixiviado
Fernanda Carini, Roberta Marins Nogueira Peil, Gabriel Nachtigal Marques, Paulo Roberto Grolli, Rafaela Schmidt de Souza 94

Flujo de savia y potencial hídrico en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero
Sap flow and water potential in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions
Cristian Alejandro Cuellar-Murcia, Juan Carlos Suárez-Salazar 104

Evaluación del rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero
Yield and phenology evaluation of three tomato cherry genotypes (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions
Henry Alexander Cordoba, Sandra Victoria Gómez, Carlos Eduardo Núñez 113

Habilidad combinatoria en función de la endogamia para producción y peso del fruto en *Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.
Combining ability in the function of inbreeding for yield and average fruit weight in *Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.
Javier Alonso Restrepo-Salazar, Franco Alirio Vallejo-Cabrera, Edwin Fernando Restrepo-Salazar 126

Eficacia de insecticidas botánicos sobre *Myzus persicae* (Sulzer) y *Aphis gossypii* (Clover) (Hemiptera: Aphididae) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta
Effectiveness of botanical pesticides on *Myzus persicae* (Sulzer) and *Aphis gossypii* (Clover) (Hemiptera: Aphididae) in greenhouse pepper crops (*Capsicum annuum* L.)
Jorge Eduardo Castresana, Laura Puhl 136

Brackish water: an option for producing hydroponic *Capsicum annuum* in laminar flows of mineral nutrients
Agua salobre: una opción para la producción de *Capsicum annuum* hidropónicos en flujo laminar de nutrientes minerales
Adailton Conceição dos Santos, Mairton Gomes da Silva, Cácio Luiz Boechat, Denize Sampaio Chagas, Wanderson de Sousa Mendes 147

Residuos de plaguicidas organofosforados en la cadena productiva del brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) y coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) en Colombia: aproximación a un perfil de riesgo
Organophosphorus pesticide residues in the production chain of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) and cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) in Colombia: approach to risk profile
Javier Francisco Rey, Ángela María Otalvaro, María Patricia Chaparro, Lena Prieto, Alfredo López 156

Total nitrogen and humic substances in aggregates of soils with onion crops under no-tillage and conventional tillage systems
Nitrógeno total y sustancias húmicas en agregados del suelo cultivado con cebolla bajo siembra directa y preparación convencional
Luiz Henrique dos Santos, Arcângelo Loss, Cledimar Rogério Lourenzi, Monique Souza, Rogério Gonzatto, Claudinei Kurtz, Gustavo Brunetto, Jucinei José Comin 166

Elaboración de un alimento para ganado bovino a base de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante fermentación en estado sólido como una alternativa ecoeficiente
Food preparation for carrot-based cattle (*Daucus carota* L.) using solid state fermentation for an eco-efficient alternative
Dania Fonseca-López, Gabriel Saavedra-Montañez, Carlos Eduardo Rodríguez-Molano 175

Sección de plantas aromáticas y medicinales

Abonos verdes en el rendimiento del perejil y la fertilidad del suelo en Piracicaba, Brasil
Green manure in parsley production and soil fertility in Piracicaba, Brazil
Simone da Costa-Mello, Josina Nimi-Kassoma, Gustavo Quesada-Roldán, Adriano Dantas-da Silva, Mateus Augusto Donegá, Carlos Tadeu dos Santos-Dias 183

Efecto del nitrógeno y el potasio sobre el intercambio gaseoso y la distribución de biomasa en albahaca (*Ocimum basilicum* L.)
Effect of nitrogen and potassium on gaseous exchange and biomass distribution in basil (*Ocimum basilicum* L.)
Enrique Combatt C., Dairo Javier Pérez P., Alfredo Jarma-Orozco 192

Effects of indolebutyric acid, stem cutting positions and substrates on the vegetative propagation of *Stevia rebaudiana* Bertoni
Efectos de ácido indolbutírico, posiciones de estacas de tallo y sustratos sobre la propagación vegetativa de *Stevia rebaudiana* Bertoni
Guilherme Bortoloso Pigatto, Erik Nunes Gomes, Jéssica de Cássia Tomasi, Aurea Portes Ferriani, Cicero Deschamps 202

Efecto de la colchicina sobre la morfología foliar y los estomas de *Kalanchoe daigremontiana* Raym.-Hamet & H.Perrier (Crassulaceae)
Effect of colchicine on *Kalanchoe daigremontiana* Raym.-Hamet & H.Perrier (Crassulaceae) leaf morphology and stomates
Seir Antonio Salazar M., Guillermo Javier Valderrama R., Jesús David Quintero C. 212

Sección de otras especies

Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia
Physiological performance of nine cacao (*Theobroma cacao* L.) genotypes under the shadow of three forest species in Santander, Colombia
Genaro Andrés Agudelo-Castañeda, Jorge Cadena-Torres, Pedro José Almanza-Merchán, Elberth Hernando Pinzón-Sandoval 223

Sección de cambio climático

Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia
Influence of climate, soil use and soil depth on soil organic carbon content at two Andean altitudinal sites in Norte de Santander, Colombia
Ibhone Geaneth Valenzuela B., Efraín Francisco Visconti M. 233

Artículo de revisión

Aspectos fisiológicos y de aprovechamiento de *Acacia mangium* Willd. Una revisión
Physiological and exploitation aspects of *Acacia mangium* Willd. A review
Giovanni Reyes M., Sandra Lorena Carmona G., María Elena Fernández 244

Política editorial | Instrucciones para autores 254

Suscripción 269