



Revista Colombiana de Ciencias

# Hortícolas

Colombian Journal of Horticultural Science

Volumen 10 / No. 1 / enero-junio 2016 / ISSN 2011-2173 / Doi: 10.17584/rcch



GAS EXCHANGE OF UMBU TREES UNDER WATER DEFICIT / CRECIMIENTO DE MORA BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE PODA / DEFICIENCIA DE NUTRIENTES EN LA DISTRIBUCIÓN DE MASA SECA EN GUAYABA / SOMBRÍO Y ANEGAMIENTO AFECTAN PLANTAS DE LULO / ÁCIDOS HIDROXICARBOXÍlicos EN LA BIORREGULACIÓN DEL ESTRÉS POR HERBICIDAS / EL ESCALDADO AFECTA LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE LA POLIFENOLOXIDASA EN BATATA / DENSIDAD POBLACIONAL Y RENDIMIENTO DE ÑAME ESPINO / EFFECT OF GREENHOUSE HEIGHTS ON THE PRODUCTION OF CHIVES / LABRANZA, ESTABILIDAD ESTRUCTURAL Y RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN UN INCEPTISOL / TIPOS DE CONTENEDORES EN EL CRECIMIENTO RADICAL DE CAFÉ / ESTRÉS POR BORO AFECTA LA FOTOSÍNTESIS Y EL METABOLISMO DE PIGMENTOS / BALANCES HÍDRICOS AGRÍCOLAS EN MODELOS DE SIMULACIÓN AGROCLIMÁTICOS / CERTIFICACIÓN DE MATERIAL VEGETAL SANO EN COLOMBIA / EFECTO DEL AGUA TRATADA MAGNÉTICAMENTE EN CÚRCUMA



**SOCIEDAD COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS – SCCH**  
**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA – UPTC**

**EDITOR      COMITÉ CIENTÍFICO**

Gerhard Fischer  
Universidad Nacional de Colombia  
(Bogotá)

Galdino Andrade Filho  
Universidade Estadual de Londrina (Brasil)

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

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

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

**COMITÉ EDITORIAL**

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

Jordi Marsal  
Investigación y Tecnología Agroalimentarias – IRTA  
(Barcelona, España)

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

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

Alfredo de Jesús Jarma  
Universidad de Córdoba (Montería, Colombia)

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

Luz Marina Melgarejo  
Universidad Nacional de Colombia (Bogotá)

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

Hermann Restrepo  
Universidad Nacional de Colombia (Bogotá)

Christian Ulrichs  
Humboldt-Universität zu Berlin (Alemania)



© 2016 Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas  
Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

ISSN: 2011-2173

#### 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  
socolhort@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

#### VERSIÓN ELECTRÓNICA

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

#### EDITORES

Gerhard Fischer (editor)  
Javier Álvarez-Herrera (coeditor)

#### ASISTENTE EDITORIAL

Yomaira Liney Pinto

#### CORRECTORES DE ESTILO EN INGLÉS Y ESPAÑOL

S. Christopher King, Fernando Carretero Padilla

#### DISEÑO GRÁFICO Y ARMADA ELECTRÓNICA

Equilibrio Gráfico Editorial Ltda.

#### IMPRESIÓN

Buhos Editores Ltda.  
Tunja, Colombia - junio de 2016

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 AGRIS (FAO), DIALNET, Latindex, Google Académico 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 Publindex (categoría A2) de Ciencias y en SciELO (Scientific Electronic Library Online), además cuenta con el *document object identifier* (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 Seriadadas.- 2. Agricultura – Publicaciones Seriadadas.- 3. Uptc - Publicaciones Seriadadas  
CDD 635

#### Publicación cofinanciada por la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UPTC

Se autoriza la citación del material que aparece en la Revista, siempre y cuando se indique de manera explícita: nombre de la revista, nombre(s) del (de los) autor(es), año, volumen, número y páginas del artículo fuente. Para el permiso de reproducir parcial o totalmente los artículos de la Revista debe dirigirse al correo electrónico del editor: [gerfischer@gmail.com](mailto:gerfischer@gmail.com). Las ideas y observaciones consignadas por los autores están bajo su responsabilidad y no representan necesariamente las opiniones ni política de la Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 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)**

Wilson de Jesús Piedrahíta Cañola  
VICEPRESIDENTE  
Universidad Nacional de Colombia

Diego Miranda Lasprilla  
PRESIDENTE  
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

Carlos Eduardo Rodríguez Molano  
DECANO  
Facultad de Ciencias Agropecuarias

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

Julio César Vargas Abella  
DIRECTOR  
Escuela Medicina Veterinaria y Zootecnia

Germán Eduardo Cely Reyes  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Agronómica

Carlos Eduardo Villamil Vela  
ASESOR  
Facultad de Ciencias Agropecuarias



	PÁG.
Editorial	7
<hr/>	
<b>Sección de frutales</b>	
<hr/>	
<b><i>Spondias tuberosa</i> trees grown in tropical, wet environments are more susceptible to drought than those grown in arid environments</b> Árboles de <i>Spondias tuberosa</i> que crecen en ambientes húmedos de las zonas tropicales son más susceptibles a la sequía que los cultivados en ambientes áridos Werner Camargos Antunes, Keila Rêgo Mendes, Agnaldo Rodrigues de Melo Chaves, Jean Pierre Ometto, Alfredo Jarma-Orozco y Marcelo Francisco Pompelli.....	9
<b>Índices de crecimiento en plantas de mora (<i>Rubus alpinus</i> Macfad) bajo diferentes sistemas de poda</b> Growth rates in blackberry ( <i>Rubus alpinus</i> Macfad) plants under different pruning systems Brigitte Liliana Moreno-Medina, Fánor Casierra-Posada y Michael Blanke .....	28
<b>Efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B sobre la acumulación y distribución de la masa seca en plantas de guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.) var. ICA Palmira II en fase de vivero</b> Effect of N, P, K, Mg, Ca and B deficiencies on the accumulation and distribution of dry mass in guava plants ( <i>Psidium guajava</i> L.) var. Palmira ICA II in the nursery phase Sindy Lorena Dussán, Daniel Andrés Villegas y Diego Miranda .....	40
<b>Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (<i>Solanum quitoense</i> var. <i>septentrionale</i>) en respuesta al sombrío y anegamiento</b> Biomass and root development response of lulo ( <i>Solanum quitoense</i> var. <i>septentrionale</i> ) plants to shading and waterlogging William Andrés Cardona, Luis Gabriel Bautista-Montealegre, Nixon Flórez-Velasco y Gerhard Fischer.....	53
<hr/>	
<b>Sección de hortalizas</b>	
<hr/>	
<b>Efecto de ácidos hidroxicarboxílicos en la biorregulación del estrés causado por herbicidas en el cultivo de tomate</b> Effect of hydroxy-carboxylic acids on the bio-regulation of stress caused by herbicides in tomato crops Jorge A. Rodríguez y Guido Plaza .....	66
<b>Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (<i>Ipomoea batatas</i> Lam.)</b> Blanching treatment effect on the enzymatic activity of polyphenoloxidase in two varieties of sweet potato ( <i>Ipomoea batatas</i> Lam.) Guillermo Arrázola-Paternina, Armando Alvis-Bermúdez y Carlos Garcia-Mogollón .....	80
<b>Efecto de la densidad poblacional sobre el rendimiento de ñame espino (<i>Dioscorea rotundata</i> Poir.) tipo exportación</b> Effect of population density on the yield of export-type white yams ( <i>Dioscorea rotundata</i> Poir.) Dairo Javier Pérez P. y Rodrigo Orlando Campo A.....	89
<b>Efecto de la labranza en la estabilidad estructural y resistencia a la penetración en un Inceptisol sembrado con arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft) en Boyacá</b> Effect of tillage on the structural stability and resistance to penetration of a Inceptisol planted with arracacha ( <i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft) in Boyaca Yomaira Liney Pinto-Acero, Javier Giovanni Álvarez-Herrera y Fabio Emilio Forero-Ulloa.....	99

## Sección de plantas aromáticas

---

### Effect of greenhouse heights on the production of aromatic herbs in Colombia.

#### Part 1: Chives (*Allium schoenoprasum*)

Efecto de la altura del invernadero en la producción de hierbas aromáticas en Colombia. Parte 1:

Cebollín (*Allium schoenoprasum* L.)

Nelson Bustamante, John Fabio Acuña y Diego Valera ..... 113

## Sección de otras especies

---

### Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café

#### (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero

Evaluation of container types on the root growth of coffee (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) in the nursery stage

Arlette Ivonne Gil C. y Luis Javier Díaz M. .... 125

## Artículo de revisión

---

### El estrés por boro afecta la fotosíntesis y el metabolismo de pigmentos en plantas. Una revisión

Boron stress affects photosynthesis and metabolism of plant pigments. A review

Darwin L. Moreno-Echeverry, Ivonne A. Quiroga, Helber Enrique Balaguera-López y Stanislav Magnitskiy ..... 137

### Los análisis de balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica

Agricultural water balances in agroclimatic simulation models. An analytical review

José Alejandro Cleves L., Javier Toro C. y Liven Fernando Martínez B. .... 149

## Artículo de reflexión

---

### Certificación de material vegetal sano en Colombia: un análisis crítico de oportunidades y retos para controlar enfermedades ocasionadas por virus

Certification of healthy plant material in Colombia: A critical analysis of opportunities and challenges to control virus diseases

Marlon H. Rodríguez, Nancy E. Niño, Joseph Cutler, Juliane Langer, Fánor Casierra-Posada, Diego Miranda, Martina Bandte y Carmen Büttner ..... 164

## Nota científica

---

### Efecto del agua magnetizada en el desarrollo y la producción de cúrcuma (*Curcuma longa* L.)

Effect of magnetically treated water on the growth and production of curcuma (*Curcuma longa* L.)

Orlando Zúñiga Escobar, Jhony Armando Benavides, Cristian Orlando Jiménez, Mauricio Alejandro Gutiérrez y Celina Torres ..... 176

Política editorial | Instrucciones para los autores ..... 186

Editorial policy | Instructions to authors ..... 190

Política editorial | Instruções aos autores ..... 195

Suscripción ..... 201

En su décimo año de circulación la *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* (RCCH) enfrenta un gran reto: adaptarse a las nuevas exigencias de Publindex (Colciencias) para la indexación de revistas científicas. Estas novedades incluyen la publicación de artículos que tienen un gran interés, no solamente para los lectores que quieren informarse, sino también que sirven como insumo de discusión y comparación para otros autores científicos que publican en revistas indexadas y referencian nuestros contenidos. Afortunadamente, las citaciones de los artículos en la RCCH, según Google Scholar, van en aumento, todas las semanas.

La Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, en el primer semestre de 2016, cumplió una década de su fundación. Desde entonces ha alcanzado su objetivo misional de fomentar la investigación en ciencias hortícolas (hortalizas, frutales, ornamentales, hierbas aromáticas, medicinales y áreas afines), para lo cual aplica los conocimientos en docencia, investigación y extensión en beneficio de este sector en el país. Entre las actividades a realizar en la celebración de estos primeros 10 años de actividades, se está organizando, para el segundo semestre, el VII Congreso Colombiano de Horticultura, con el eslogan “Desarrollo e innovaciones hortícolas como aporte al proceso de paz”, y que se realizará en noviembre de 2016. Esperamos que todos nuestros asociados participen en este evento, con el mismo entusiasmo y dedicación que han tenido en los anteriores.

En el primer semestre de 2016, la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia continuó con la autoevaluación de los programas de Ingeniería Agronómica, Maestría en Fisiología Vegetal, Maestría en Ciencias Agrarias y Maestría en Desarrollo Rural, así mismo dio apertura a la primera cohorte de la Maestría en Ciencias Veterinarias. Del mismo modo, la Maestría en Fisiología Vegetal logró titular tres estudiantes más, con lo cual se llega a 13 titulados, hecho que sitúa a la Facultad como un ente de calidad capaz de formar investigadores en el sector rural

En el primer número del año 2016, en la sección de frutales se presentan cuatro artículos: el primero encontró que plantas de *Spondias tuberosa*, crecidos en ambientes húmedos, son más susceptibles a la sequía que las provenientes de ambientes áridos. En el segundo estudio se analizó cómo la poda afecta los índices de crecimiento en plantas de mora (*Rubus alpinus* Macfad); mientras que en el tercero se observa, en la fase de vivero, las deficiencias de macronutrientes y boro en el crecimiento y desarrollo en árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.). El cuarto informa sobre los resultados del estudio de factores de estrés, y cómo el anegamiento y el sombrero influyen en el desarrollo de biomasa y en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*).

También, cuatro artículos de la sección de hortalizas tratan temas muy variados de estos cultivos. El primero esboza los efectos de ácidos hidroxicarboxílicos en la biorregulación del estrés causado por herbicidas en el cultivo de tomate. Por su parte, el segundo estudia cómo el escaldado influye en la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en variedades de batata (*Ipomoea batatas* Lam.). En cultivos en campo, se investigó, en primer lugar, el efecto de la densidad poblacional sobre el rendimiento de ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir.) tipo exportación, y en segundo lugar, cómo en Boyacá la labranza impacta en la estabilidad estructural y resistencia a la penetración en un Inceptisol sembrado con arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft).

En la sección de plantas aromáticas se analizó cómo la altura de los invernaderos influye en la producción del cebollín (*Allium schoenoprasum*), mientras en el apartado de otras especies se evaluó en vivero cuáles tipos de contenedores inducen el mejor crecimiento radical de plantas de café (*Coffea arabica* L. cv. Castillo).

En dos artículos de revisión, el primero demuestra cómo el estrés por boro afecta la fotosíntesis y el metabolismo de pigmentos en plantas; el segundo hace una revisión sobre los análisis de balances hídricos agrícolas en los modelos de simulación agroclimáticos.

Un artículo de reflexión se dedica a la certificación de material vegetal sano producido en Colombia, y analiza las oportunidades y retos para controlar enfermedades ocasionadas por virus. La última contribución, una nota científica, estudia el efecto del agua magnetizada en el desarrollo y producción de cúrcuma (*Curcuma longa* L.).

Los artículos presentados en este número por investigadores colombianos, brasileños y alemanes muestran de nuevo una gran variedad de estudios en el área de las ciencias hortícolas, los cuales representan los esfuerzos de los profesionales en encontrar bases y soluciones para temas y problemas de la horticultura en Colombia y otros países.

## *Spondias tuberosa* trees grown in tropical, wet environments are more susceptible to drought than those grown in arid environments

Árboles de *Spondias tuberosa* que crecen en ambientes húmedos de las zonas tropicales son más susceptibles a la sequía que los cultivados en ambientes áridos



WERNER CAMARGOS ANTUNES<sup>1</sup>  
KEILA RÊGO MENDES<sup>2</sup>  
AGNALDO RODRIGUES DE MELO CHAVES<sup>3</sup>  
JEAN PIERRE OMETTO<sup>4</sup>  
ALFREDO JARMA-OROZCO<sup>5</sup>  
MARCELO FRANCISCO POMPELLI<sup>2, 6</sup>

**Fruits of *Spondias tuberosa*.**  
Photo: K. Rego Mendes

### ABSTRACT

In this study, we investigated the different responses of *Spondias tuberosa* (umbu) trees, which grow in two different ecological life zones in northeast Brazil: tropical wet and tropical arid ecosystems. We evaluated the responses of plants grown under humid and dry conditions by measuring the photosynthesis, water status, fluorescence parameters, carbon isotopes and antioxidant system activity. The higher net photosynthesis values were recorded contemporaneously with the lower VPD values. The highest internal-to-ambient CO<sub>2</sub> concentration and the absence of typical changes in the fluorescence parameters suggested an onset of a nonstomatal limitation in the photosynthesis. Our results showed that umbu plants can adjust their antioxidant activity during the dry season as a defensive strategy against the deleterious effects of water stress. This evidence is supported by the observed modifications in the pigment concentrations, increased accumulation of hydrogen peroxide and malondialdehyde, high levels of electrolyte leakage, increased antioxidant activity, and decreased carbon isotope discrimination in the umbu trees during the dry season. Supported by multivariate analysis of variance, significantly effect of interaction between categorical “months of collect and location” predicts a strong “dry season effect” on our dataset. Taken together, our data show that umbu trees grown in a wet tropical environment are more susceptible to drought, as compared with their tropical arid counterparts.

<sup>1</sup> Department of Biology, University of Maringá, Maringá, PR (Brazil).

<sup>2</sup> Plant Ecophysiology Laboratory, Federal University of Pernambuco, Department of Botany, CCB, Recife, PE (Brazil).

<sup>3</sup> Tropical Semiarid Agricultural Research Center, Embrapa Semiárido, Petrolina, PE (Brazil).

<sup>4</sup> Brazilian Institute for Space Research, Remote Sensing Division, São José dos Campos, SP (Brazil).

<sup>5</sup> Faculty of Agricultural Sciences, Agronomy Department, University of Córdoba, Montería (Colombia).

<sup>6</sup> Corresponding author. [mfompelli@gmail.com](mailto:mfompelli@gmail.com)

**Additional keywords:** Caatinga, carbon isotope composition, global climate change, nonstomatal limitations, Umbuzeiro, water stress.

## RESUMEN

En este trabajo se investigaron las respuestas de árboles de *Spondias tuberosa* (umbu), que crecen en dos zonas ecológicas del nordeste de Brasil: húmeda tropical y árida tropical. Se evaluaron las respuestas de las plantas con base en fotosíntesis, estado hídrico, parámetros de fluorescencia, isótopos de carbono y actividad del sistema antioxidante. Los altos valores de las tasas de fotosíntesis fueron correlacionados con bajos valores del DPV; los altos niveles de concentración interna de CO<sub>2</sub> y la ausencia de cambios típicos en los parámetros de fluorescencia sugieren la aparición de una limitación no estomática de la fotosíntesis. Los resultados indicaron que las plantas de umbu pueden ajustar su actividad antioxidante durante la estación seca como una estrategia de defensa ante los efectos perjudiciales de un estrés por sequía. Esta afirmación está soportada por las modificaciones observadas en la concentración de pigmentos, incrementos en la acumulación de peróxido de hidrógeno y malondialdehído, altos niveles de electrolitos libres, incremento de la actividad antioxidante y decrecimientos en la discriminación isotópica del carbono en la localidad árida. El análisis de varianza multivariado mostró efectos significativos para la interacción “mes de colecta y localidad”, lo cual fue fuertemente predecible en la localidad. El análisis integral de los datos demostró que los árboles de umbu que crecieron en un ambiente húmedo tropical son más susceptibles a la sequía, comparados con su contraparte de ambientes áridos tropicales.

**Palabras clave adicionales:** Caatinga, composición isotópica del carbono, cambio climático, limitaciones no estomáticas, umbuzeiro, estrés hídrico.

Received for publication: 13-01-2016    Accepted for publication: 14-05-2016

## INTRODUCTION

Water stress is an important factor that affects plant growth and yield, especially in the hot and seasonally wet-dry climates in the semiarid regions of the world (Ondrasek, 2014).

A combination of drought and excess light decreases the efficiency of photosynthesis and may also lead to leaf overheating, especially when the transpirational leaf cooling is reduced due to water deficits (Rizhsky *et al.*, 2004; Rizhsky *et al.*, 2002; Valladares and Pearcy, 1997).

Tropical plants growing under water stress exhibit modifications in photosynthetic processes,

including disruptions in the stomatal control of the leaf gas exchange (Arcoverde *et al.*, 2011; Lawlor and Tezara, 2009; Lima Filho, 2007; Pompelli *et al.*, 2010a; Santos *et al.*, 2013), alterations in chlorophyll fluorescence kinetics (Faraloni *et al.*, 2011; Maxwell and Johnson, 2000), damage to photosynthetic membranes (Krieger-Liszkay, 2005), changes in the carbohydrate status (Chimienti *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2010), and others. The water stress-induced limitation of net photosynthesis ( $P_N$ ) may cause damage to the plant with exposure to excess irradiance; if this energy is not safely dissipated, it may cause an over-reduction of the reaction centers and increased

production of reactive oxygen species (ROS) in the chloroplasts, leading to photosystem PSII damage (Smirnoff, 1995).

Knowledge of species physiology *in situ* under arid/semiarid conditions may contribute significantly to our understanding of how to optimize productivity in trees under drought conditions in natural environments. Data regarding species physiology under arid conditions may also indicate how these species can be used in the regeneration of important regions undergoing desertification. In this context, we examined *Spondias tuberosa* Arruda (“umbuzeiro” or “umbu plant”), which is a small native tree that grows naturally among Caatinga vegetation throughout arid, semiarid and wet environments in northeastern Brazil, where it is adapted to survive under water stress conditions (Lins Neto *et al.*, 2012). This tree is considered to be a species with great economic, social and ecological importance to the arid/semiarid northeast, Brazil (Lins Neto *et al.*, 2010). At the end of the dry season, the umbuzeiro partially shed their leaves to avoid transpiration, reducing the plant’s growth rate, leaf initiation and leaf expansion during the drought, until the beginning of the first rains (Cavalcanti *et al.* 1996). During this period, the survival of the species is assured by a specialized root system bearing tubers (or xylopodia), whose function is to store water, soluble sugars, starch, minerals, and other solutes (Lins Neto *et al.*, 2010). Old plants growing in their native fields can have more than 1,000 xylopodia, and their fresh weight can exceed 2,000 kg. These resources are used during the dry season to maintain normal plant metabolism (Cavalcanti and Resende, 2006; Lima Filho, 2001; Lima Filho, 2004).

There are few reports describing the physiological behavior of plants under arid conditions and their interactions with the environment (Campos *et al.*, 2012; Cattivelli *et al.*, 2008; Dombroski *et al.*, 2011; Lima Filho, 2004). For example, Lima Filho (2004) observed that the environmental difference between the dry and rainy seasons

is the primary factor that influences the course of gas exchange in umbu trees under semiarid conditions. Nevertheless, Lima Filho (2001) suggested that, under dry conditions, the diurnal water balance of the *S. tuberosa* would be maintained at the expense of water stored in the tubers and by restricted transpiration. In addition, Lima Filho (2007) also noted that the gas exchange of umbu plants with fewer tubers was more strongly affected than the gas exchange of plants with more tubers under water-stressed soil conditions. These investigators suggested that the root tubers may act as an important source of water under stress conditions. However, the aforementioned studies (Lima Filho, 2001; Lima Filho, 2004; Lima Filho, 2007) only describe the gas exchange of umbu trees under semiarid conditions and the importance of tubers in helping plants avoid stress.

In this study, we hypothesized that variations in the seasonal rainfall regime distinctly affect the ecophysiological plant performance in contrasting environments (wet and arid). It may affect the photoprotection and carbon gain and may also limit growth in *S. tuberosa* trees, mostly in plants grown in tropical wet regions, because the root mass fraction of well-watered trees is often reduced, as compared with that of water-stressed trees reducing the photosynthetic capacity (Poorter *et al.*, 2012). Therefore, the main objective of this study was to evaluate the effects of the seasonal rainfall regime alterations on the plant physiological behavior for the gas exchange and photoprotection of *S. tuberosa* trees growing under wet and arid conditions in two regions of Bahia State, northeast, Brazil.

## MATERIALS AND METHODS

### *Site description and experimental design*

This experiment was conducted with 2.0 to 3.0-m tall, 9-year-old *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) trees that were grown on commer-

cial plantations following appropriate cultural practices, except water supplementation (Araújo, 2007). Two different commercial plantations located in Cruz das Almas (12°35' S; 39°15' W; 126 m a.s.l.) and Andaraí (12°48' S; 41°19' W; 395 m a.s.l.) in northeast Brazil were evaluated. These two cities are at least 300 km away from each other and located in different ecological life zones, which are tropical wet - Cruz das Almas and tropical arid - Andaraí (Tanajura *et al.*, 2010). As presented in figure 1, two seasons were observed during the study period (June 2010 to May 2011): a dry season (precipitation less than 50 mm) and a rainy season. During the study period, the accumulated precipitation in Cruz das Almas and Andaraí was 1397±60 mm and 692±48 mm, respectively. Uniform and healthy *S. tuberosa* trees were selected from populations at the study sites. On the plantations, the tree density is 156 plants/ha with a spacing of 8 m x 8 m. Annually, 75 g of a slow-release fertilizer (containing 15% N, 9% P, 12% K, 1% Mg, 2.3% S, 0.05% Cu, 0.45% Fe, 0.06% Mn and 0.02% Mo) are applied per plant. The fertilizer was applied at a 10-cm depth from the soil surface. In both environments (tropical wet and tropical arid), the *S. tuberosa* plants partially shed their leaves at the end of the dry season. The data were collected from trees grown under field conditions during the humid (July 2010 and April 2011) and dry (September and November 2010) seasons. The air temperature and rainfall during the experiment period were obtained from an automatic weather station installed within 5 km of the experiment sites. The soil water balance and actual evapotranspiration data were obtained from AgriTempo (2013).

#### **Gas-exchange and fluorescence measurements**

The gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters were measured with an infrared gas analyzer (Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE) coupled with a leaf chamber fluorometer (LCF; Li-6400-40, Li-Cor, Lincoln, NE) on two fully expanded leaves per plant and the saplings in each season

(n=10). These parameters were measured *in situ* under clear-sky conditions. The leaf chamber was configured to 1,000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  saturating light from LED source and ambient  $\text{CO}_2$  concentration (380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). The data were collected at ambient conditions of temperature and relative humidity. To assess the effect of time on  $g_s$  and net photosynthesis ( $P_N$ ), we collected data at five different times (08:00, 10:00, 12:00, 14:00 and 16:00 h; solar time), using the same leaves throughout the day on each occasion.

The chlorophyll fluorescence was measured after 30-min with dark-adapted leaves and all of the parameters are estimated according to Genty *et al.* (1989) and Maxwell and Johnson (2000, 2008).

#### **Water potential measurements**

The leaf-water potential ( $\Psi_w$ ) was measured using a Scholander-type pressure chamber (mod 3005F01; Soil Moisture Equipment Corp, Santa Barbara, CA). The measurements were taken in one leaf per plant at predawn (n=10).

#### **Carbon isotope composition**

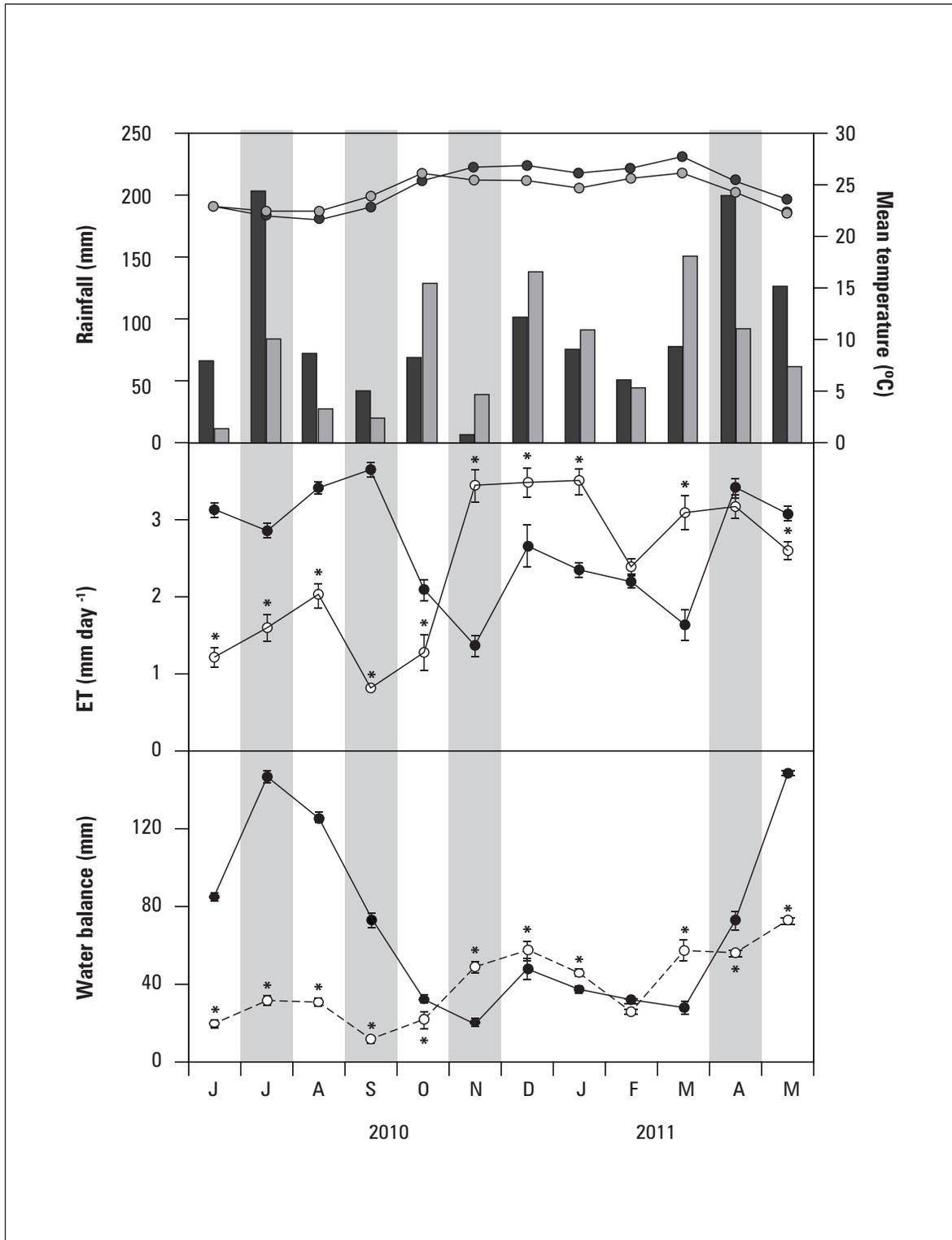
From each experiment tree (n=5), one expanding leaf was collected *in situ* and it was oven-dried for 72 h at 70°C. The isotope ratio, which was expressed as  $\delta^{13}\text{C}$ , was calculated as

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \left( \frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) * 1000,$$

where  $R_{\text{sample}}$  is the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio in the sample and  $R_{\text{standard}}$  is the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio in the standard (PDB-Pee Dee Belemnite).

#### **Biochemical analysis**

Leaf discs (1.4 cm in diameter) were collected *in situ* at 09:00-10:00 a.m. under clear-sky conditions, rapidly frozen in liquid nitrogen, and stored at -20°C until analysis.



**Figure 1.** Climatic characteristics: (A) total monthly rainfall (bars) and mean temperatures (lines); (B) evapotranspiration rate [ET] and (C) soil water balance (store) from June 2010 to May 2011 in the tropical wet (filled symbols) and tropical arid (unfilled symbols) ecosystems. Each point followed by asterisks represents statistically significant differences within each month. The values represent the average ( $\pm$ SD). Source: Agritempo (2013). Gray vertical bars represent sampling months.

Antioxidant enzymes, including superoxide dismutase (SOD; EC 1.15.1.1), catalase (CAT; EC 1.11.1.6) and ascorbate peroxidase (APX; EC 1.11.1.11), were assayed as described by Pompelli *et al.* (2010a). The  $H_2O_2$  was analyzed according to Chen and Kao (1999). The Malondialdehyde (MDA) was determined following Cakmak and Horst (1991). The electrolyte leakage was assayed according to Campos *et al.* (2012).

The chlorophyll *a+b* and total carotenoids were extracted with 80% (v/v) aqueous acetone and quantified spectrophotometrically according to Pompelli *et al.* (2013).  $\beta$ -carotene, violaxanthin (V), antheraxanthin (A) and zeaxanthin (Z), were assayed by HPLC as reported by Ramalho *et al.* (1999).

### Statistical analysis

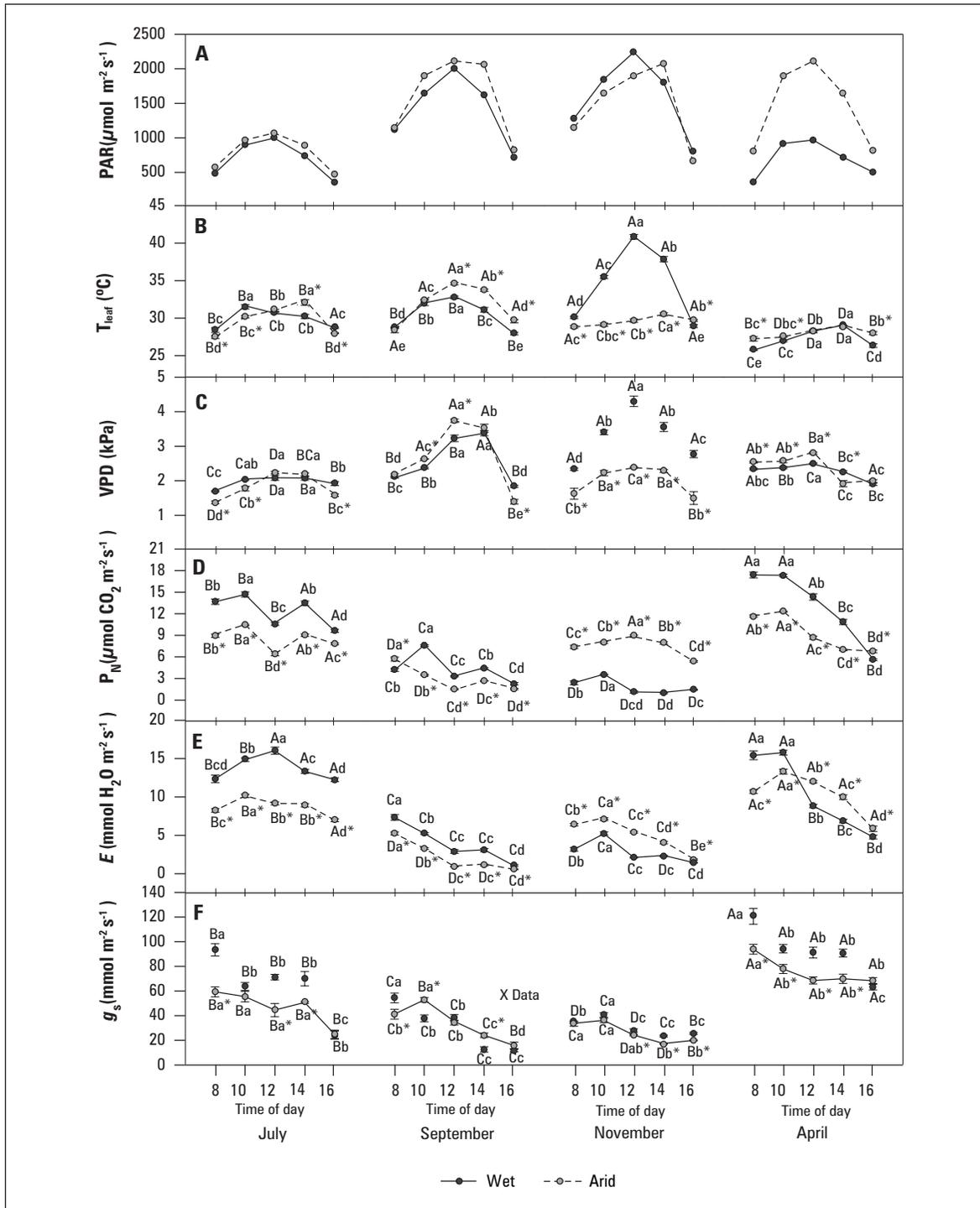
The data were first analyzed by multivariate analysis of variance (MANOVA) with “month of collection and location” as categorical factors and using as dependent variables “photosynthetic” ( $P_N$ ,  $E$ ,  $g_s$ ,  $C_i:C_a$ , WUE,  $T_{leaf}$ , VPD), “photochemical” ( $\Phi_{PSII}$ ,  $P$ ,  $D$ ,  $P_E$ ) and “enzymatic” (SOD, CAT, APX,  $H_2O_2$ , MDA, electrolyte leakage) group in a GLM Bi-factorial MANOVA, for each variable. Since the interaction effect was highly significant according to the Wilks test in all of the performed analyses ( $P \leq 0.0001$ ), the effective hypothesis decomposition was done with a one-way ANOVA, and the means were compared using Duncan’s or Student’s *t* test. All of the statistical tests were performed using the statistical software package Statistica version 10.0 (StatSoft, Tulsa, OK). The Lilliefors test was conducted to assess whether the experiment errors were normally distributed. As no transformation was needed, all of the statistical analyses were carried out on untransformed data. The results were considered to be significant when  $P \leq 0.05$ . Only the 8:00h data (when applicable) were used for the photosynthetic variable in MANOVA.

## RESULTS

### Gas exchange measurements

Annual fluctuations in the net photosynthesis ( $P_N$ ), stomata conductance ( $g_s$ ) and transpiration ( $E$ ) were observed for the two populations. High variations throughout the day were observed, with a 7-fold difference between the extreme values (Fig. 2). The  $P_N$  was always greater than  $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  during the humid season, peaking at  $17.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  for plants evaluated in April under wetter climate conditions. The  $P_N$  of the tropical arid plants was consistently lower than the  $P_N$  of the tropical wet plants. By means of all of the performed MANOVA, a strong interaction between the categorical variables “month of collect and location” notably pointed to a generalized “dry season effect” (November) and indicated that *S. tuberosa* plants have a differential behavior in wet and arid environments in this season. Consistent with this, the November measurements show that reductions in the  $P_N$  were stronger in the plants grown in the tropical humid environment than they for the tropical arid counterparts (Fig. 2). From the humid to the dry season, the  $P_N$  decreased by 84% and 34% in the tropical wet and tropical arid plants, respectively (figure 2), and the relationship between  $P_N$  and  $g_s$  was significantly positive ( $r = 0.753$ ;  $P \leq 0.001$ ). When only the dry season data were analyzed, the correlations were not significant ( $P = 0.688$ ), indicating circumstantially that  $g_s$  could be a key factor in determining carbon uptake in a humid environment, but not in a dry one.

A negative relationship between the photosynthetic parameters and PAR ( $r = -0.421$ ,  $-0.349$ , and  $-0.339$  for  $P_N$ ,  $E$  and  $g_s$ , respectively;  $P \leq 0.05$ ) was observed. During both seasons, the photosynthetic parameters differed significantly between the ecosystems, but these differences became stronger during the dry season (figure 2).

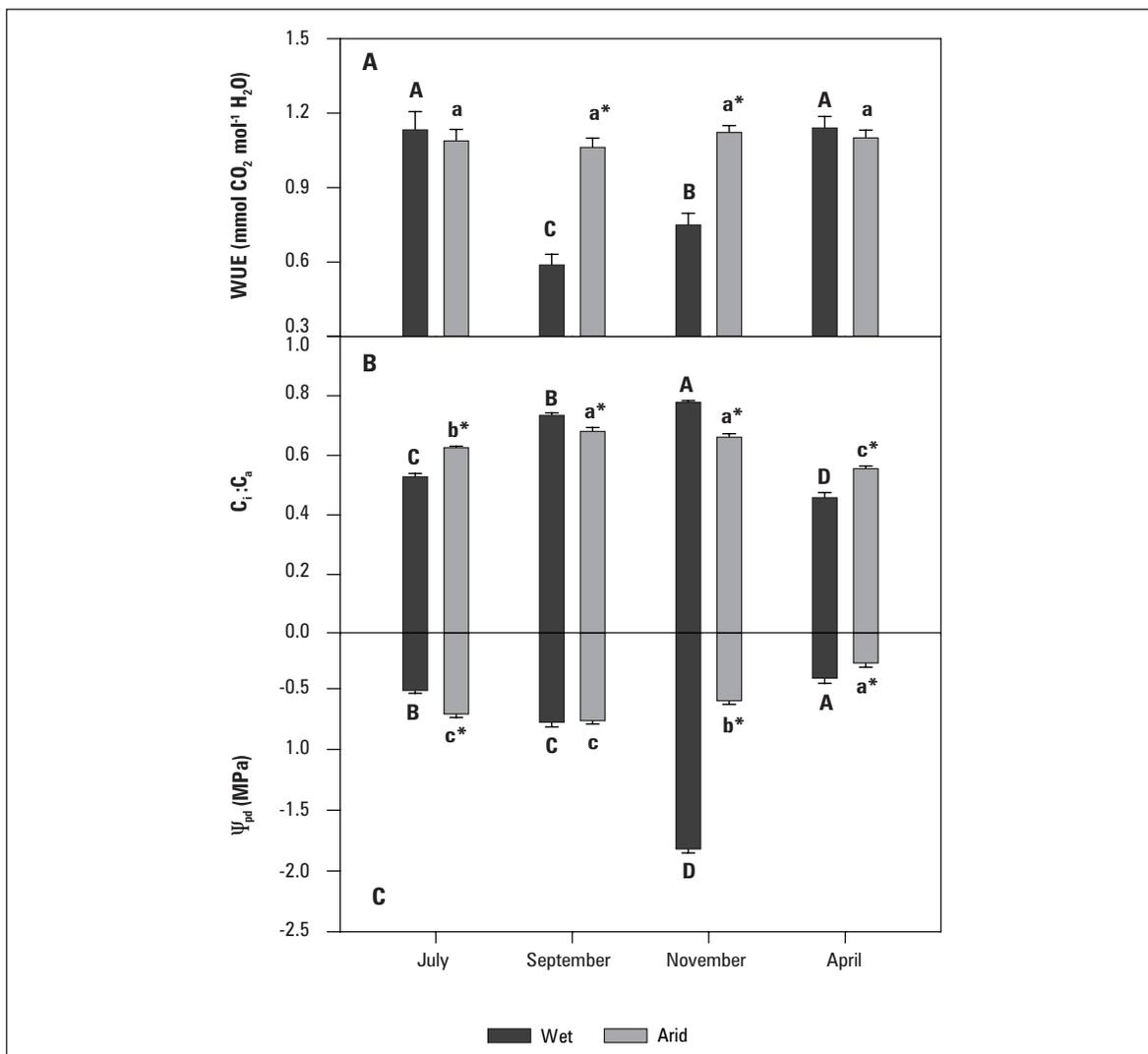


**Figure 2.** (A) Time course of photosynthetically active radiation [PAR], (B) leaf temperature [ $T_{\text{leaf}}$ ], (C) leaf-to-air vapor pressure difference [VPD], (D) net  $\text{CO}_2$  assimilation rate [ $P_N$ ], (E) transpiration [ $E$ ] and (F) stomatal conductance [ $g_s$ ] measured in tropical wet (filled symbols) and tropical arid (unfilled symbols) leaves in four different months in field-grown *Spondias tuberosa* trees from well-exposed leaves between 08:00 and 16:00 h. Within the same schedule, significant seasonal differences among the average values are represented by different capital letters (tropical wet) or lower case letters (tropical arid; Duncan's test, at  $P \leq 0.05$ ). Asterisks denote significant differences between the average values of the tropical wet and tropical arid leaves within the same schedule and month (Student's t test, at  $P \leq 0.05$ ). Each point represents the means ( $\pm$  SE).  $n=10$ .

The  $P_N$ ,  $E$  and  $g_s$  may have decreased because of a high vapor pressure deficit (VPD), as confirmed by their strong negative correlations ( $r = -0.809$ ,  $-0.786$ , and  $-0.849$  for  $P_N$ ,  $E$  and  $g_s$ , respectively;  $P \leq 0.0001$ ).

In the tropical wet plants, the WUE was strongly reduced during the dry season but sharply recovered at the beginning of the rainy season (figure

3). A similar pattern was not observed for the WUE of the tropical arid plants, which remained constant throughout the year (figure 3). A 50% increase was verified in the  $C_i:C_a$  ratio during the dry season, as compared with the humid season in both populations (Fig. 3) circumstantially indicating a nonstomatal limitation of photosynthesis in this season. A high  $C_i:C_a$  was correlated with lower  $P_N$  and  $E$  values ( $r = -0.947$  and



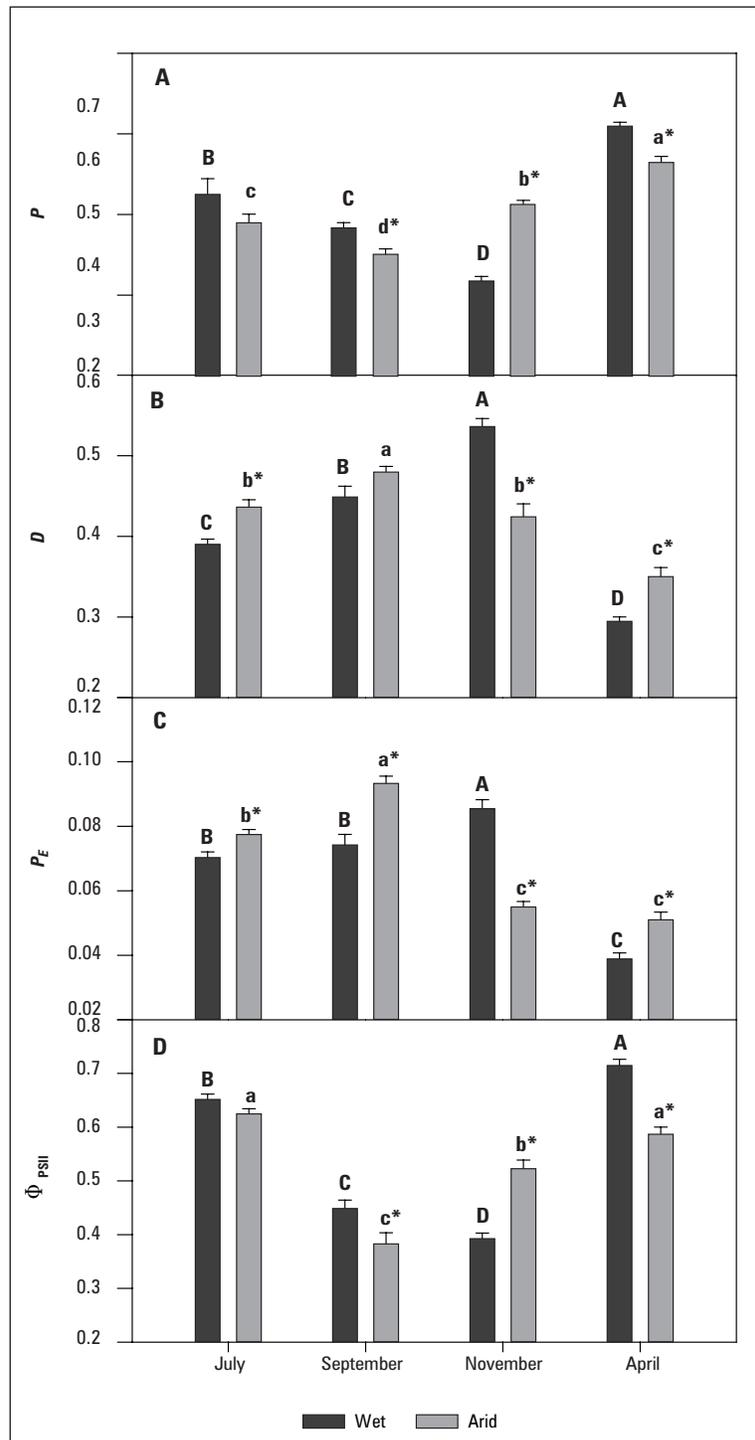
**Figure 3.** (A) Water use efficiency [WUE], (B) internal-to-ambient CO<sub>2</sub> concentration (C<sub>i</sub>:C<sub>a</sub> ratio) and (C) leaf water potential [Ψ<sub>pd</sub>] at predawn as measured in leaves of field-grown *Spondias tuberosa* trees. These measurements were made on plants grown in tropical wet (filled symbols) and tropical arid (unfilled symbols) ecosystems from well-exposed leaves between 08:00 and 09:00 h in four different months, with saving Ψ<sub>pd</sub> (05:00 h). Different capital letters mean significant ( $P \leq 0.05$ , Duncan's test) seasonal differences among the means in the tropical wet environment and different lower case letters indicate the same for the tropical arid environment. Asterisk denotes significant differences ( $P \leq 0.05$ , Student's t test) between the average values of the tropical wet and tropical arid leaves within the same month. The values represent the means ( $\pm$  SE).  $n=10$ .

-0.877, respectively;  $P \leq 0.0001$ ) and a positive relationship ( $r = 0.828$ ;  $P \leq 0.0001$ ) between the  $C_i:C_a$  and  $\delta^{13}C$  was verified.

The predawn leaf water potential ( $\Psi_{pd}$ ) was higher than -1.0 MPa during the entire study period, with the exception of November, when the lower values were observed in the plants grown in tropical wet. This result provides evidence that the trees experienced moderate to severe water stress (figure 3).

#### Chlorophyll fluorescence and quenching

The maximum efficiency of photosystem II ( $F_v:F_m$  ratio) showed significant differences ( $P \leq 0.05$ ) between the dry and humid seasons (table 1). During the dry season, there was a small reduction in the  $F_v:F_m$  ratio at midday (table 1), with the lowest value found in the tropical wet environment at November. The  $F_v:F_m$  ratio (table 1),  $\Phi_{PSII}$  and  $P$ , followed similar trends (figure 4). All of these parameters in both ecosystems reached their minimum values during the dry season and the maximum values during the humid seas ( $P = 0.015$ ), but they were not correlated with the atmospheric temperature ( $P = 0.773$ ). This finding indicates that plants that were exposed to a water shortage were capable of dissipating part of the excess energy as latent heat to minimize the water lost by transpiration ( $r = -0.946$ ;  $P \leq 0.0001$ , between  $D$  and transpiration).



**Figure 4.** (A) Diurnal changes in the estimated fluxes of photons utilized through photochemistry [ $P$ ] or (B) dissipated thermally [ $D$ ], (C) the fraction neither used in photochemistry nor dissipated thermally [ $P_E$ ] and (D) the actual PSII efficiency during the exposure to sunlight ( $\Phi_{PSII}$ ) as measured in tropical wet (filled symbols) and tropical arid (unfilled symbols) leaves in four different months in field-grown *Spondias tuberosa* trees. The measurements were taken at midday. The values represent the means ( $\pm$  SD).  $n=10$ . For statistical details, see figure 3.

**Table 1.** Ratios of variable-to-maximum (Fv:Fm) chlorophyll fluorescence measured at predawn (pd) and midday (md) in tropical wet or tropical arid leaves in four different months in field-grown *Spondias tuberosa* trees, using well-exposed leaves. Within the same row, significant seasonal differences among the means are represented by different capital letters (tropical wet) or lower case letters (tropical arid; Newman-Keuls test, at  $P \leq 0.01$ ). Asterisks denote significant differences between the means of tropical wet and tropical arid leaves within the same row and month (Newman-Keuls test, at  $P \leq 0.01$ ). Each point was produced by taking the average of measurements made on ten different plants  $\pm$  SD.

Parameters	July		September	
	Tropical wet	Tropical arid	Tropical wet	Tropical arid
Fv / Fm (pd)	0.80 $\pm$ 0.01	0.81 $\pm$ 0.01 Aa	0.82 $\pm$ 0.03	0.77 $\pm$ 0.04 Ba*
Fv / Fm (md)	0.79 $\pm$ 0.01	0.76 $\pm$ 0.01 Ba	0.75 $\pm$ 0.02	0.72 $\pm$ 0.01 Cb*

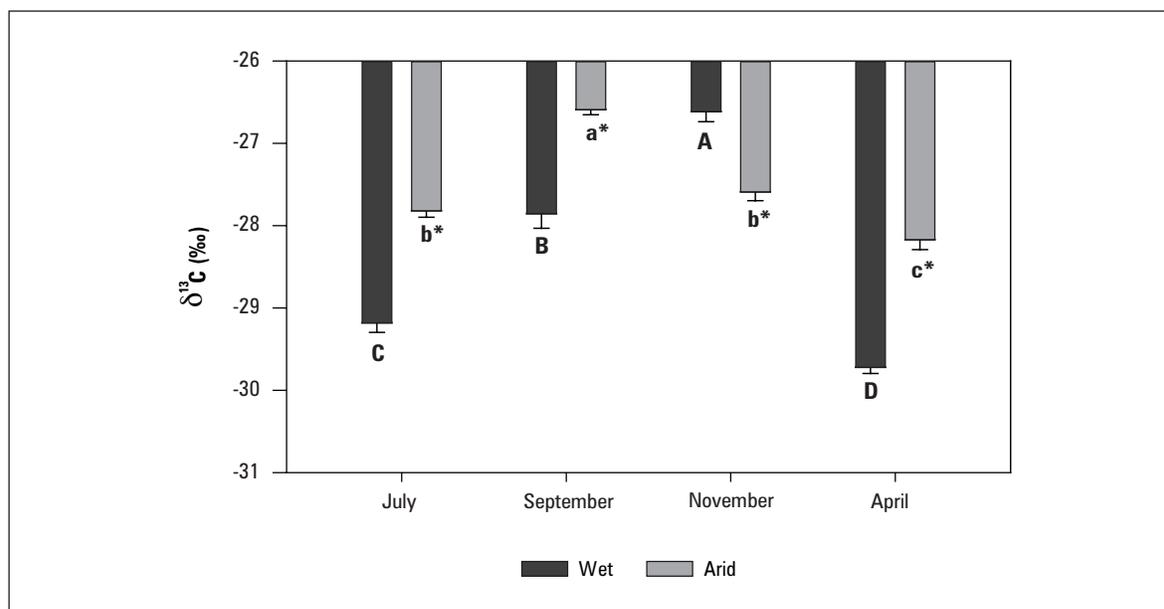
  

Parameters	November		April	
	Tropical wet	Tropical arid	Tropical wet	Tropical arid
Fv / Fm (pd)	0.71 $\pm$ 0.01	0.81 $\pm$ 0.03 Ab*	0.83 $\pm$ 0.02	0.80 $\pm$ 0.01 Aa*
Fv / Fm (md)	0.66 $\pm$ 0.03	0.79 $\pm$ 0.03 Ac*	0.81 $\pm$ 0.02	0.75 $\pm$ 0.02 Ba*

### Carbon isotope composition

Consistent with the dry season effect predicted by MANOVA's performance, the plants grown in the tropical wet climate showed less enriched  $\delta^{13}\text{C}$  values, as compared with the tropical arid plants throughout the study period (figure 5), with exception of the data collected in November. During the rainy season, the  $\delta^{13}\text{C}$  ranged from -29.18 to -29.72‰ in the leaves of tropical wet plants

and the value in the tropical arid leaves was approximately -28‰. During the dry season, the  $\delta^{13}\text{C}$  composition of the leaves from the tropical wet plants varied substantially (3.1‰); however, the composition of the leaves from the tropical dry plants did not vary substantially (0.6‰). The physiological responses to drought (figure 3) reflected the isotopic signature, or  $\delta^{13}\text{C}$ , of the leaves. A less negative isotopic signature was observed under the drought conditions (figure 5).



**Figure 5.** Carbon isotope ratio ( $\delta^{13}\text{C}$ ) measured in the tropical wet (filled bars) and tropical arid (unfilled bars) leaves in four different months in field-grown *Spondias tuberosa* trees. The measurements were taken at midday. The values represent the means ( $\pm$  SD).  $n=5$ . For statistical details, see figure 3.

### Biochemical analysis

The chlorophyll content of the tropical wet plants was similar to that of the tropical arid plants; however, the minimum chlorophyll content in both climates was observed at the end of the water deficit period (November), with the tropical arid plants showing a higher concentration than their tropical wet counterparts (table 2). Independent of the locations, the water shortages led to a reduction in the total chlorophyll (~17%).

The  $\beta$ -carotene, antheraxanthin and zeaxanthin concentrations showed similar fluctuations, with gradual increases from July to November and a decrease in April in the next year. Significant correlations between  $Z$  and  $D$  ( $r = 0.558$ ;  $P \leq 0.0001$ ) and between  $VAZ$  and  $D$  ( $r = 0.557$ ;  $P \leq 0.0001$ ) ratios were shown during the year. For example, the thermal energy dissi-

pation and  $D$  were associated with increased levels of de-epoxidated forms of  $A$  and  $Z$  within the  $VAZ$  cycle (table 2) in November.

The SOD, CAT and APX activities were positively interrelated. Overall, the antioxidant enzymes activities were significantly increased (35%, 51% and 46%, respectively) in the plants grown during the dry season, as compared with the plants grown during the humid season (figure 6). The observed elevated  $H_2O_2$  accumulation may promote membrane damage and the release of MDA ( $r = 0.542$ ;  $P \leq 0.0001$ ). In fact, the MDA level during the dry season was 40% higher than that observed during the humid season. This finding reflects the 80% increase in electrolyte leakage during the dry season in both ecosystems (figure 6). Indeed, the MDA level and the level of electrolyte leakage showed a strong and significant correlation ( $r = 0.701$ ;  $P \leq 0.0001$ ).

**Table 2. Chlorophyll and carotenoid composition measured in the tropical wet or tropical arid leaves in four different months in field-grown *Spondias tuberosa* trees. The measurements were taken at midday. Each point was produced by taking the average of measurements made on five different plants  $\pm$  SD. For more statistical details, see table 1.**

Parameters	July			September		
	Tropical wet	Tropical arid		Tropical wet	Tropical arid	
$g\ kg^{-1}\ DW$						
Chl "a"	3.88 $\pm$ 0.06	3.50 $\pm$ 0.17	Bb*	3.36 $\pm$ 0.27	3.14 $\pm$ 0.12	Cc
Chl "b"	1.68 $\pm$ 0.10	1.76 $\pm$ 0.17	Aa	1.48 $\pm$ 0.05	1.37 $\pm$ 0.05	Bc
Chl "a + b"	5.57 $\pm$ 0.14	5.26 $\pm$ 0.23	Bb*	4.85 $\pm$ 0.27	4.52 $\pm$ 0.12	Cd*
Carotenoids	0.77 $\pm$ 0.07	0.78 $\pm$ 0.03	Ba	0.76 $\pm$ 0.01	0.79 $\pm$ 0.04	Ba
Chl / Carotenoids	7.30 $\pm$ 0.72	6.74 $\pm$ 0.36	Bb	6.34 $\pm$ 0.26	5.69 $\pm$ 0.27	Bc
Carotenoids / Chl	0.14 $\pm$ 0.01	0.15 $\pm$ 0.01	Bb	0.16 $\pm$ 0.01	0.18 $\pm$ 0.01	Ba*
$mg\ kg^{-1}\ DW$						
$\beta$ -carotene	25.60 $\pm$ 3.01	30.84 $\pm$ 0.70	Ab	35.70 $\pm$ 3.60	38.58 $\pm$ 13.89	Ab
Violaxanthin	56.26 $\pm$ 21.38	42.26 $\pm$ 5.21	Aa*	48.73 $\pm$ 4.42	50.91 $\pm$ 1.75	Aa
Antheraxanthin	51.19 $\pm$ 4.39	61.34 $\pm$ 11.02	Ab*	57.84 $\pm$ 7.63	57.70 $\pm$ 2.37	Aa
Zeaxanthin	119.92 $\pm$ 6.77	126.58 $\pm$ 7.07	Ab	121.75 $\pm$ 17.87	141.33 $\pm$ 18.87	Ab*
V+A+Z	231.38 $\pm$ 9.94	224.18 $\pm$ 4.99	Ab	206.32 $\pm$ 7.17	209.94 $\pm$ 2.71	Bc
V+A+Z / Chl	41.61 $\pm$ 2.57	42.74 $\pm$ 2.60	Ab	42.68 $\pm$ 2.89	46.51 $\pm$ 1.13	Ab*

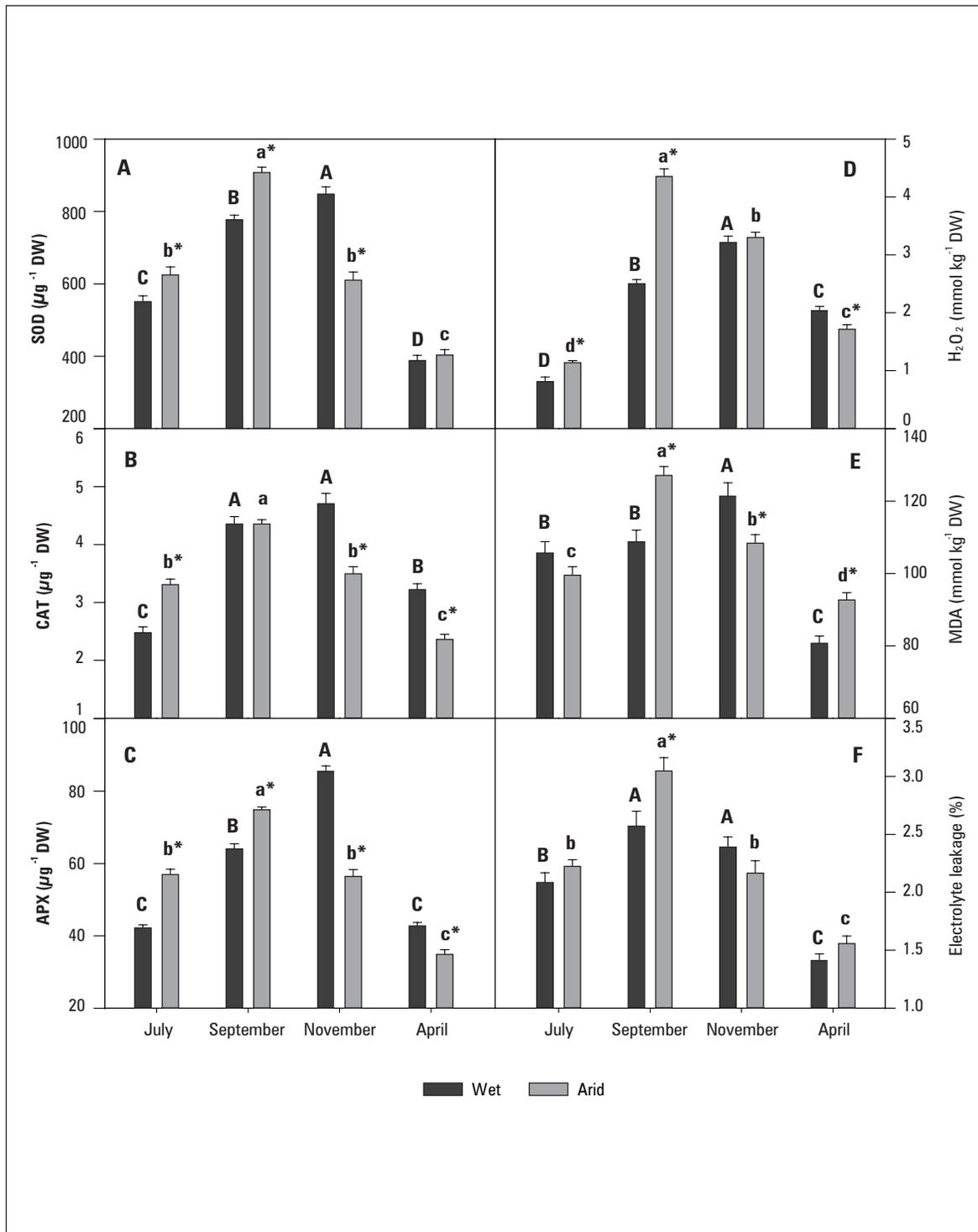
**Table 2. Chlorophyll and carotenoid composition measured in the tropical wet or tropical arid leaves in four different months in field-grown *Spondias tuberosa* trees. The measurements were taken at midday. Each point was produced by taking the average of measurements made on five different plants  $\pm$  SD. For more statistical details, see table 1.**

Parameters	November			April		
	Tropical wet	Tropical arid		Tropical wet	Tropical arid	
$\text{g kg}^{-1}$ DW						
Chl "a"	2.89 $\pm$ 0.15	3.46 $\pm$ 0.23	Db*	4.40 $\pm$ 0.17	4.38 $\pm$ 0.34	Aa
Chl "b"	1.18 $\pm$ 0.08	1.46 $\pm$ 0.07	Bd*	1.86 $\pm$ 0.18	1.76 $\pm$ 0.08	Aa
Chl "a + b"	4.08 $\pm$ 0.17	4.92 $\pm$ 0.24	Dc*	6.26 $\pm$ 0.15	6.14 $\pm$ 0.32	Aa
Carotenoids	0.87 $\pm$ 0.09	0.69 $\pm$ 0.03	Ab*	0.50 $\pm$ 0.07	0.58 $\pm$ 0.07	Cc*
Chl / Carotenoids	4.73 $\pm$ 0.57	7.17 $\pm$ 0.47	Cb*	12.80 $\pm$ 2.14	10.78 $\pm$ 1.48	Aa*
Carotenoids / Chl	0.21 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.01	Ab*	0.08 $\pm$ 0.01	0.09 $\pm$ 0.01	Cc
$\text{mg kg}^{-1}$ DW						
$\beta$ -carotene	45.88 $\pm$ 2.75	35.65 $\pm$ 4.86	Aa*	29.68 $\pm$ 11.00	30.34 $\pm$ 8.61	Ab
Violaxanthin	35.78 $\pm$ 2.33	47.19 $\pm$ 3.76	Ab*	55.13 $\pm$ 7.69	46.10 $\pm$ 3.33	Aa
Anteraxanthin	62.17 $\pm$ 1.81	47.78 $\pm$ 4.87	Aa*	41.51 $\pm$ 8.00	48.88 $\pm$ 4.49	Ac
Zeaxanthin	145.41 $\pm$ 6.51	132.28 $\pm$ 5.24	Aa*	87.44 $\pm$ 11.95	104.24 $\pm$ 9.46	Bc
V+A+Z	243.36 $\pm$ 9.05	227.26 $\pm$ 3.37	Aa*	194.08 $\pm$ 9.17	193.22 $\pm$ 10.46	Cd
V+A+Z / Chl	59.77 $\pm$ 3.28	46.26 $\pm$ 2.40	Aa*	31.02 $\pm$ 1.81	31.61 $\pm$ 3.01	Bc

## DISCUSSION

The current study provides a seasonal profile of the daily photosynthetic performance of *S. tuberosa* trees grown under wet and arid conditions in natural environments. In general, the umbu plants grown in the tropical wet environments showed a differential behavior mainly at drought when compared to the tropical arid environment with the same stress. The multivariate and physiological analysis points to higher susceptibility to drought for the tropical wet plants. In all of the plants, the diurnal course  $P_N$ ,  $g_s$ , and  $E$  values were maximal during the midmorning and decreased in the afternoon and those parameters did not respond to an elevated light stimulus, most likely because  $T_{\text{leaf}}$  and VPD were increased (figure 2). It is possible that these environmental factors may have somehow affected the stomatal functioning during the day although we cannot rule out the effect of endogenous factors related to the activity of the circadian rhythm in modulat-

ing stomatal functioning and  $P_N$  (Mendes and Marengo, 2014). The effect of VPD on  $P_N$ ,  $g_s$ , and  $E$  showed that changes in intensity of light can alter the performance of the photosynthetic apparatus over the course of a day irrespective of the seasonal rainfall regime. In this study, we showed that, during the period when the water stress was most severe, *i.e.*, November, the photosynthetic rates of the tropical arid plants were significantly higher than the rates in the tropical wet plants, an effect that was strongly shifted at the beginning of the rainy season, which is the opposite to what should be expected for trees growing in a wet environment. Some investigators previously reported that *S. tuberosa* can maintain its  $\Psi_{pd}$  at a relatively constant level during the beginning of the dry season (Lima Filho, 2001; Lima Filho, 2004; Lima Filho, 2007; Lins Neto *et al.*, 2012). A possible explanation for this result is that the umbu tree reduces its stomatal conductance in response to drought early in the morning, resulting in a dramatic decline in plant water loss and assuring



**Figure 6.** (A) Activities of antioxidant enzymes: superoxide dismutase [SOD], (B) catalase [CAT], (C) ascorbate peroxidase [APX], (D) hydrogen peroxide [ $\text{H}_2\text{O}_2$ ], (E) malondialdehyde (MDA) and (F) electrolyte leakage measured in the tropical wet (filled bars) and tropical arid (unfilled bars) leaves in four different months in field-grown *Spondias tuberosa* trees. The measurements were taken at midday. The values represent the means ( $\pm$  SD).  $n=10$ . For statistical details, see figure 3.

significant water storage in the tubers (Lima Filho and Silva, 1988). However, as the water in the soil decreases, which leads to reduced water storage in the tubers, both  $E$  and  $g_s$  substantially decrease as a function of  $\Psi_{pd}$  (Lima Filho, 2004; Silva et al., 2008). *S. tuberosa* root tubers can serve as water storage vessels, and a higher root mass fraction, lower leaf masses and lower total leaf areas are observed in arid environments (Araújo et al., 2009; Lima Filho, 2004; Poorter et al., 2012), which may help the plants to perform better in droughts. These factors may play a substantial role in the amount of water supplied via tubers and the level of water conservation in leaves to maintain a higher  $P_N$  under an extreme drought. Despite greater volume of rains in October and November in the arid environment, all of the analyses were done after the rains in both locations throughout the year, excluding small variations of monthly accumulated rainfall as shown in figure 1A and allowing us to explore physiological patterns for seasonal fluctuation. Additionally, it is plausible to speculate that plants growing in areas with a lower water content throughout the year may have xylem vessels with lower diameters, as this represents an important mechanism for avoiding cavitation under extreme droughts (Nardini et al., 2014; Silva et al., 2013), while also restricting water flow when water is plentiful. The annual profile of leaf transpiration (figure 2E), which was focused on the morning period when the stomata are wide open, corroborates this proposition.

In the present study, the  $E$  was strongly affected by the VPD associated with a high temperature and high solar radiation, especially during the dry season (figure 2). The increased VPD led to an increase in transpiration, leading to evaporative leaf cooling due to latent heat loss if water was available. This is in agreement with results reported by others (Passos et al., 2009; Santos et al., 2013). If water was not available, a high irradiance (figure 2A), particularly during drought, may have been related to the extremely high leaf temperatures (figure 2B).

An increase in  $C_i$  due to stress could occur in response to low photosynthetic activity (Singh and Reddy, 2011); however, this is not a universal response. Stomatal closure typically leads to a decrease in  $C_i$ , thereby leading to a decrease in the  $C_i:C_a$  ratio. The decreased  $C_i$  indicates that stomatal limitations are dominant under moderate but not in severe drought, as observed in tropical wet plants evaluated in November (Fig. 3B). At this time, the umbu leaves showed high  $C_i:C_a$  ratios with a low  $P_N$ , which indicates that there is a limitation of carbon uptake imposed by nonstomatal factors. The dry season had a detrimental effect on the Rubisco activity or ATP synthesis; moreover, under progressive droughts, the mesophyll conductance ( $g_m$ ) may decline (Flexas and Medrano, 2002; Lawlor and Tezara, 2009). This allows us to conclude that the non-stomatal limitation likely occurred along with the potential limitation of conductance of the mesophyll, which together must have accounted for the  $P_N$  decreases during the driest months (Ni and Pallardy, 1992; Silva et al., 2010).

When the photochemical quenching was reduced, the non-photochemical energy quenching ( $D$  and  $P_E$ ) was increased (figure 4). The deconvolution of fluorescence signals clearly indicates decreases in the photochemical quenching parameters and damage to PSII. The lower extent to which PSII uses the energy absorbed by chlorophyll in photochemical reactions and the increase in non-photochemical signals suggests that trees grown in wet, tropical environments are damaged by excess light under droughts. The lower  $F_v:F_m$  ( $_{md}$ ) values (table 1) and the larger  $D$  and smaller  $\Phi_{PSII}$  values (figure 4) observed throughout the year in trees grown in wet environments and subsequently exposed to drought conditions (*i.e.*, in November) supports this conclusion.

The decreased  $F_v:F_m$  ratio implies a decrease in the capture and conversion rate of excitation energy by PSII reaction centers and, thus, a reduction in PSII photochemical efficiency (Ramalho et al. 1999). These results strongly suggest that

PSII disorganization appeared to be highly pronounced in sensitive plants, as compared with resistant ones (Huseynova, 2012). A decrease in  $\Phi_{\text{PSII}}$  occurred after the  $P_{\text{N}}$  decrease, suggesting that nonstomatal limitations, rather than photochemical limitations, primarily limited  $P_{\text{N}}$ . Moreover, a reduced  $\text{CO}_2$  supply is expected to negatively affect the Calvin cycle, which in turn would limit PSII efficiency (Stitt, 1991). These sequential decreases in the  $P_{\text{N}}$  and  $\Phi_{\text{PSII}}$  under droughts have been described in the literature, as a decrease in photosynthesis intensity is one photoprotection mechanism used by plants to preserve the photochemical apparatus during stress (Genty *et al.* 1989). The decrease in the chlorophyll content in the tropical wet plants in the drought period (table 2), especially from September to November, suggests that photosystem damage occurred during this period and would have limited the speed of post-drought recovery. However, the drought-induced reduction in leaf pigments is considered to be a typical oxidative stress indicator that might be attributed to pigment photooxidation, chlorophyll degradation and/or chlorophyll synthesis deficiency (Campos *et al.*, 2012; Pompelli *et al.*, 2010a; Pompelli *et al.*, 2010b).

The decreased  $P$  values were not entirely offset by the increased  $D$  during the dry season, leading instead to a higher  $P_{\text{E}}$ . The increased  $P_{\text{E}}$  suggests that the down-regulation of PSII to prevent the over-reduction of  $Q_{\text{A}}$  was not sufficient to compensate for the decreased demand for electrons through  $\text{NADP}^+$  consumption (Chaves *et al.*, 2008; Pompelli *et al.*, 2010b; Ramalho *et al.*, 1999). This outcome may in turn result in singlet oxygen formation and damage to membrane components, similar to that which occurs during light stress (Takahashi and Badger, 2011).

As the drought progressed and soil water content declined, the  $\delta^{13}\text{C}$  increased and became less negative, with values lower than  $-27.2\text{‰}$ , suggesting a carbon limitation induced by water limitation (Schifman *et al.*, 2012), as reported in this study (figure 5). The less negative values of  $\delta^{13}\text{C}$  in the

tropical arid plants indicated that the water status was generally lower, with a consequent increase in the stomatal closure and some degree of  $\text{CO}_2$  restriction in photosynthesis during the humid months. The opposite situation during the driest month (November) indicates that the tropical wet plants experienced greater restriction of  $\text{CO}_2$  influx than the tropical arid plants.

The high carotenoid-to-Chl ratios during the dry season (table 2), particularly in leaves from the wet environments, may help the leaves to avoid photooxidative processes because, in addition to their role as secondary light-absorbing pigments, the carotenoids prevent the photooxidation of the photosynthetic apparatus by reducing the Chl triplet quencher, preventing the formation of singlet oxygen ( $^1\text{O}_2$ ), or by acting directly on  $^1\text{O}_2$  scavengers (Krieger-Liszky 2005). These mechanisms may help to protect the plants, but they are not always sufficient to prevent photo-damage in dry leaves.

Plants subjected to water stress tend to overproduce ROS in different tissues (Carvalho, 2008), and antioxidant enzymes constitute an important line of cellular defense, detoxifying ROS compounds. However, we showed that the increases in the CAT and APX activities during the dry season were not enough to dissipate the excess, reducing the power accumulated in the  $\text{H}_2\text{O}_2$  that was generated from the water-water cycle or in the SOD activity. In November, the driest month, the  $\text{H}_2\text{O}_2$  and MDA levels were as high as they were in September, despite the increased activity of the enzymes in the antioxidative system. Although there were increases in the  $\text{H}_2\text{O}_2$ , MDA and antioxidant enzymes levels, our results showed that *S. tuberosa* plants have the ability to increase their antioxidant activity during the dry season (figure 6) as a defense strategy against the deleterious effects, indicating that APX plays a positive role in the response to water stress. However, this mechanism is not robust enough to prevent damage. We attribute the improved drought tolerance of *S. tuberosa* plants that were grown in the arid environment

to the combination of high leaf  $\Psi_w$ , higher  $g_s$  and  $E$ , and evaporative leaf cooling that allow for the maintenance of a constant leaf temperature. The likely outcome is an increased net  $\text{CO}_2$  influx and elevated  $P$  and  $\Phi_{\text{PSII}}$  with an efficient sink for electrons from photosynthesis, thus preventing ROS production and reducing cellular oxidative damages. Our data do not indicate that modestly increased carotenoid pools can serve as an effective antioxidant system.

## CONCLUSIONS

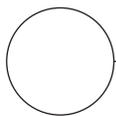
$P_N$  and  $g_s$  in *S. tuberosa* trees appear to be highly sensitive to diurnal variations, and even when the photosynthetic parameters are affected by environmental factors (e.g., light and VPD), the stomatal response to a water deficit suggests that stomatal closure is the first line of defense against desiccation in umbu trees. Furthermore, the over-excitation of the reaction centers of PSII during the dry season may increase ROS production in various subcellular organelles, such as chloroplasts and peroxisomes. Although the physiological profile of *S. tuberosa* characterizes it as a drought tolerant species,

the  $P_N$ ,  $g_s$  and  $E$  in the plants of the tropical wet population are likely to be limited by the water deficit during the dry season, unlike the umbu plants of the arid population. Such species, when growing under low water conditions, can acclimate to this abiotic stress and are able to survive subsequent drought periods with less damage, as compared with plants from tropical wet regions.

Finally, our results suggest that this species has great potential to acclimate to the altered environment predicted for arid/semiarid regions as a result of climate changes. However, further studies are needed to determine the effects of a prolonged dry season on *S. tuberosa* plants and to develop strategies to mitigate these effects.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the National Council for Scientific and Technological Development, CNPq (Grants 473202/2008-5) and the Foundation for Science and Technology of Pernambuco (Grants APQ-0150-2.03/08) for their financial support of this research.



## BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Agritempo Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. 2015. In: <http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=BA>; consulted: June, 2015.
- Araújo, F.P. 2007. Umbuzeiro: valorize o que é seu. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Araújo, F.P., C.A.F. Santos, N.B. Cavalcanti, C.E.S. Nascimento, J.M.P. Lima Filho, N.F. Melo, L.H.P. Kiill, F.R.B. Moreira, and J.B. Anjos. 2009. Umbu. pp. 458-473. In: Santos-Serejo, J.A., J.L.L. Dantas, C.V. Sampaio, and Y.S. Coelho (eds.). Fruticultura tropical: espécies regionais e exóticas. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Arcoverde, G.B., B.M. Rodrigues, M.F. Pompelli, and M.G. Santos. 2011. Water relations and some aspects of leaf metabolism of *Jatropha curcas* young plants under two water deficit levels and recovery. Braz. J. Plant Physiol. 23, 123-130. Doi: 10.1590/S1677-04202011000200004
- Cakmak, I. and W. Horst. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). Physiol. Plant. 83, 463-68. Doi: 10.1034/j.1399-3054.1991.830320.x
- Campos, M.L.O., B.S. Hsie, J.A.A. Granja, R.M. Correia, S.R.S. Silva, J.S. Almeida-Cortez, and M.F. Pompelli. 2012. Photosynthesis and antioxidant activity mechanisms in *Jatropha curcas* L. under salt stress. Braz. J. Plant Physiol. 24, 55-67. Doi: 10.1590/S1677-04202012000100008

- Carvalho, M.H.C. 2008. Drought stress and reactive oxygen species. *Plant Signaling Behavior* 3, 156-165. Doi: 10.4161/psb.3.3.5536
- Cattivelli, L., F. Rizza, F.W. Badeck, E. Mazzucotelli, E.M. Mastrangelo, E. Francia, C. Marè, A. Tondelli, and A.M. Stanca. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field Crop Res.* 105, 1-14. Doi: 10.1016/j.fcr.2007.07.004
- Cavalcanti, N.B. and G.M. Resende. 2006. The occurrence of xylopodium in imbu native trees. *Rev. Caatinga* 19, 287-293.
- Cavalcanti, N.B., G.M. Resende, L.T.L. Brito, and J.B. Lima. 1996. Extrativismo do imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) como fonte alternativa de renda para pequenos produtores no semi-árido nordestino: um estudo de caso. *Ciênc. Agrotec.* 20, 529-533.
- Chaves, A.R.M., A. Ten-Caten, H.A. Pinheiro, A. Ribeiro, and F.M. DaMatta. 2008. Seasonal changes in photoprotective mechanisms of leaves from shaded and unshaded field-grown coffee (*Coffea arabica* L.) trees. *Trees* 22, 351-361. Doi: 10.1007/s00468-007-0190-7
- Chen, L.-M. and C.-H. Kao. 1999. Effect of excess copper on rice leaves: evidence for involvement of lipid peroxidation. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 40, 283-287.
- Chimenti, C.A., J. Pearson, and A.J. Hall. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crop Res.* 75, 235-246. Doi: 10.1016/S0378-4290(02)00029-1
- Dombroski, J.L.D., S.C. Praxedes, R.M.O. Freitas, and F.M. Pontes. 2011. Water relations of Caatinga trees in the dry season. *S. Afr. J. Bot.* 77, 430-434. Doi: 10.1016/j.sajb.2010.11.001
- Faraloni, C., I. Cutino, R. Petrucelli, A.R. Leva, S. Lazzeri, and G. Torzillo. 2011. Chlorophyll fluorescence technique as a rapid tool for in vitro screening of olive cultivars (*Olea europaea* L.) tolerant to drought stress. *Environ. Exp. Bot.* 73, 49-56. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2010.10.011
- Flexas, J. and H. Medrano. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C<sub>3</sub> plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Ann. Bot.* 89, 183-189. Doi: 10.1093/aob/mcf027
- Genty, B., J.M. Briantais, and N.R. Baker. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim. Biophys. Acta* 990, 87-92. Doi: 10.1016/S0304-4165(89)80016-9
- Huseynova, I.M. 2012. Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves from wheat cultivars exposed to drought. *Biochim. Biophys. Acta* 1817, 1516-1523. Doi: 10.1016/j.bbabi.2012.02.037
- Krieger-Liszka, A. 2005. Singlet oxygen production in photosynthesis. *J. Exp. Bot.* 56, 337-346. Doi: 10.1093/jxb/erh237
- Lawlor, D.W. and W. Tezara. 2009. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. *Ann. Bot.* 103, 561-579. Doi: 10.1093/aob/mcn244
- Lima Filho, J.M.P. 2001. Internal water relations of the umbu tree under semi-arid conditions. *Rev. Bras. Frutic.* 23, 518-521. Doi: 10.1590/S0100-29452001000300013
- Lima Filho, J.M.P. 2004. Gas exchange of the umbu tree under semi-arid conditions. *Rev. Bras. Frutic.* 26, 206-208. Doi: 10.1590/S0100-29452004000200006
- Lima Filho, J.M.P. 2007. Water status and gas exchange of umbu plants (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) propagated by seeds and stem cuttings. *Rev. Bras. Frutic.* 29, 355-358. Doi: 10.1590/S0100-29452007000200032
- Lima Filho, J.M.P. and C.M.M.S. Silva. 1988. Aspectos fisiológicos do imbuzeiro. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 10, 1091-1094.
- Lins Neto, E.M.F., N. Peroni, and U.P. Albuquerque. 2010. Traditional knowledge and management of umbu (*Spondias tuberosa*, Anacardiaceae): an endemic species from the semi-arid region of northeastern Brazil. *Econ. Bot.* 64, 11-21. Doi: 10.1007/s12231-009-9106-3
- Lins Neto, E.M.F., N. Peroni, C.M.C. Maranhão, M.I.S. Maciel, and U.P. Albuquerque. 2012. Analysis of umbu (*Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae)) in different landscape management regimes: A process of incipient domestication? *Environ. Monit. Assess.* 184, 4489-4499. Doi: 10.1007/s10661-011-2280-7
- Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J. Exp. Bot.* 51, 659-668. Doi: 10.1093/jxb/51.345.659
- Mendes, K.R. and R.A. Marengo. 2014. Is stomatal conductance of Central Amazonian saplings influenced by circadian rhythms under natural conditions? *Theor. Exp. Plant Physiol.* 26, 115-125. Doi: 10.1007/s40626-014-0010-6

- Nardini, A., E. Öunapuu-Pikas, and T. Savi. 2014. When smaller is better: leaf hydraulic conductance and drought vulnerability correlate to leaf size and venation density across four *Coffea arabica* genotypes. *Funct. Plant Biol.* 41, 972-982. Doi: 10.1071/FP13302
- Ni, B.-R. and S.G. Pallardy. 1992. Stomatal and nonstomatal limitations to net photosynthesis in seedlings of woody angiosperms. *Plant Physiol.* 99, 1502-1508. Doi: 10.1104/pp.99.4.1502
- Ondrasek, G. 2014. Water Scarcity and water stress in agriculture. pp. 75-96. In: Ahmad, P. and MR Wani (eds.). *Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment*. Vol. 1. Springer, New York, NY. Doi: 10.1007/978-1-4614-8591-9\_4
- Passos, E.E.M., C. Prado, and W.M. Aragao. 2009. The influence of vapor pressure deficit on leaf water relations of *Cocos nucifera* in Northeast Brazil. *Exp. Agr.* 45, 93-106. Doi: 10.1017/S0014479708007096
- Pompelli, M.F., R.M. Barata-Luís, H.S. Vitorino, E.R. Gonçalves, E.V. Rolim, M.G. Santos, J.S. Almeida-Cortez, and L. Endres. 2010a. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. *Biomass Bioenerg.* 34, 1207-1215. Doi: 10.1016/j.biombioe.2010.03.011
- Pompelli, M.F., S.C.S. França, R.C. Tigre, M.T. Oliveira, M. Sacilot, and E.C.G. Pereira. 2013. Spectrophotometric determinations of chloroplastidic pigments in acetone, ethanol and dimethylsulphoxide. *Braz. J. Biosci.* 11, 52-58.
- Pompelli, M.F., S.C.V. Martins, W.C. Antunes, A.R.M. Chaves, and F.M. DaMatta. 2010b. Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions. *J. Plant Physiol.* 167, 1052-1060. Doi: 10.1016/j.jplph.2010.03.001
- Poorter, H., K.J. Niklas, P.B. Reich, J. Oleksyn, P. Poot, and L. Mommer. 2012. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytol.* 193, 30-50. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x
- Ramvalho, J.C., P.S. Campos, V.L. Quartin, M.J. Silva, and M.A. Nunes. 1999. High irradiance impairments on photosynthetic electron transport, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and N assimilation as a function of N availability in *Coffea arabica* L. plants. *J. Plant Physiol.* 154, 319-326. Doi: 10.1016/S0176-1617(99)80174-6
- Rizhsky, L., H. Liang, J. Shuman, V. Shulaev, S. Davletova, and R. Mittler. 2004. When defense pathways collide: the response of *Arabidopsis* to a combination of drought and heat stress. *Plant Physiol.* 134, 1683-1696. Doi: 10.1104/pp.103.033431
- Rizhsky, L., H.J. Liang, and R. Mittler. 2002. The combined effect of drought stress and heat shock on gene expression in tobacco. *Plant Physiol.* 130, 1143-1157. Doi: 10.1104/pp.006858
- Santos, C.M., V. Veríssimo, H.C.L. Wanderley-Filho, V.M. Ferreira, P.G.S. Cavalcante, E.V. Rolim, and L. Endres. 2013. Seasonal variations of photosynthesis, gas exchange, quantum efficiency of photosystem II and biochemical responses of *Jatropha curcas* L. grown in semi-humid and semi-arid areas subjected to water stress. *Ind. Crops Prod.* 41, 203-213. Doi: 10.1016/j.indcrop.2012.04.003
- Schifman, L.A., J.C. Stella, T.A. Volk, and T.A. Teece. 2012. Carbon isotope variation in shrub willow (*Salix* spp.) ring-wood as an indicator of long-term water status, growth and survival. *Biomass Bioenerg.* 36, 316-326. Doi: 10.1016/j.biombioe.2011.10.042
- Silva, E.C., R.J.M.C. Nogueira, F.P. Araújo, N.F. Melo, and A.D. Azevedo. 2008. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. *Environ. Exp. Bot.* 63, 147-157. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.11.010
- Silva, E.N., S.L. Ferreira-Silva, A.V. Fontenele, R.V. Ribeiro, R.A. Viégas, and J.A.G. Silveira. 2010. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. *J. Plant Physiol.* 167, 1157-1164. Doi: 10.1016/j.jplph.2010.03.005
- Silva, P.E.M., P.C. Cavatte, L.E. Morais, E.F. Medina, and F.M. DaMatta. 2013. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. *Environ. Exp. Bot.* 87, 49-57. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2012.09.005
- Singh, S.K. and K.R. Reddy. 2011. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought. *J. Photoch. Photobiol. B* 105, 40-50. Doi: 10.1016/j.jphotobiol.2011.07.001
- Smirnoff, N. 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment. pp. 217-243. In: Smirnoff, N. (ed.). *Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation*. Bios Scientific, Oxford, U.K.

- Stitt, M. 1991. Rising CO<sub>2</sub> levels and their potential significance for carbon flow in photosynthetic cells. *Plant Cell Environ.* 14, 741-762. Doi: 10.1111/j.1365-3040.1991.tb01440.x
- Takahashi, S. and M.R. Badger. 2011. Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends Plant Sci.* 16, 53-60. Doi: 10.1016/j.tplants.2010.10.001
- Tanajura, C.A.S., F. Genz, and H.A. Araújo. 2010. Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente no Hadrm3p e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100. *Rev. Bras. Meteorol.* 25, 345-358. Doi: 10.1590/S0102-77862010000300006
- Valladares, F. and R.W. Pearcy. 1997. Interactions between water stress, sunshade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. *Plant Cell Environ.* 20, 25-36. Doi: 10.1046/j.1365-3040.1997.d01-8.x

# Índices de crecimiento en plantas de mora (*Rubus alpinus* Macfad) bajo diferentes sistemas de poda

## Growth rates in blackberry (*Rubus alpinus* Macfad) plants under different pruning systems

BRIGITTE LILIANA MORENO-MEDINA<sup>1</sup>

FÁNOR CASIERRA-POSADA<sup>2, 4</sup>

MICHAEL BLANKE<sup>3</sup>

**Frutos de mora con madurez  
de cosecha.**

Foto: B.L. Moreno-Medina



### RESUMEN

El cultivo de mora en Colombia es un renglón importante para el desarrollo económico de medianos y pequeños productores. Las actividades de poda son labores indispensables en este cultivo y tienen el propósito de renovar las ramas productivas y mejorar la relación entre la oferta y demanda de fotoasimilados. En el presente ensayo se utilizaron plantas de dos años de edad, tutoradas en T; se marcaron 48 tallos bajo diferentes sistemas de poda (testigo: sin podar; poda corta: tallo a 1,6 m de longitud; poda larga: tallo a 2,6 m de longitud), se midió la longitud de los tallos, y se registró el número de hojas y de panículas aparecidas a lo largo del tiempo, se graficó el comportamiento de las variables respecto a los días después de brotación (ddb). Se establecieron las curvas y las tasas de crecimiento mediante análisis funcional. Como resultado se obtuvo que los modelos logísticos fueron de mejor ajuste para la descripción del crecimiento de esta especie, la máxima longitud del tallo se presentó a los 231 ddb con 535 cm, la tasa relativa de crecimiento (TRC) del tallo disminuyó gradualmente, la tasa absoluta de crecimiento (TAC) del tallo así como el número de hojas y panículas disminuyeron con el tiempo. El número máximo de hojas fue de 55 a los 231 ddb; la floración en todos los sistemas de poda inició a los 126 ddb aproximadamente; el número de inflorescencias en promedio fue de 18 en plantas sin poda, mientras que con poda corta tuvo un valor de 10, y de 21 con poda larga. Los resultados mostraron que la poda es un factor determinante en el desarrollo fisiológico y productivo en esta especie de mora.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja (Colombia).

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia).

<sup>3</sup> INRES-Horticultural Science, University of Bonn, Bonn (Alemania).

<sup>4</sup> Autor para correspondencia: fanor.casierra@uptc.edu.co

**Palabras clave adicionales:** curva de crecimiento, tasa de crecimiento, panículas, modelo logístico, brotación.

## ABSTRACT

In Colombia, the blackberry is an important perennial crop for the economic sustainable development of medium and smallholder farmers. Pruning is essential for this crop and aims to renew the productive, fruit bearing branches and normalize the sink-source relationships of photoassimilates. The establishment of physiological indices and growth curves for blackberry crops with different pruning practices will develop proposals for the agricultural handling of this species. In this study, two-year-old blackberry crops were used with a T-trellis; 48 canes were grouped into three pruning treatments; a) control: without pruning; b) short pruning: canes with a 1.6 m length; and c) long pruning; canes with a 2.6 m length. The length of the canes, and the number of leaves and panicles were registered over time, in terms of days after sprouting. The curves and rates of growth were established with a functional analysis. The logistic model was ideal for expressing the growth of the plants. The maximum length of the canes was seen at 231 days after sprouting: 535 cm. The relative growth rate of the canes decreased gradually over time. The values of the absolute growth rate of the canes as well as the number of leaves and panicles decreased over time too. The maximum number of leaves was seen from 55 to 231 days after sprouting; the flowering in the plants in the pruned treatments started at 126 days after sprouting. The average number of inflorescences was 18 in the shrubs without pruning, 10 with the short pruning and 21 with the long pruning. The results showed that pruning is a determinant factor in the physiological and productive development of blackberry shrubs and that the long pruning, with a 2.6 m length, was the best pruning alternative.

**Additional keywords:** Growth curve, growth rate, panicles, logistic model, sprouting.

Fecha de recepción: 08-02-2016

Aprobado para publicación: 14-05-2016

## INTRODUCCIÓN

La mora se considera un fruto *delicatessen* por su característico sabor acidulado, cualidades nutricionales, antioxidantes y gastronómicas, entre otras (Farinango, 2010; Souza *et al.*, 2014). Colombia presenta alto potencial en el área de producción de este tipo frutales, y en este sentido, el género *Rubus* es importante para generar desarrollo económico para medianos y pequeños productores (MADR, 2014). Adicionalmente, se reportan algunas especies de mora silvestres que se pueden encontrar a lo largo de las cercas, caminos, fincas, bosques marginales y en los mismos cultivos comerciales (Cancino *et al.*, 2011) y son

consideradas en muchas regiones del país como sustento económico para los pobladores.

En el departamento de Boyacá los municipios que reportan mayor producción de mora son: Sawayá con 842 t año<sup>-1</sup>, Gachantivá con 735 t año<sup>-1</sup> y Arcabuco con 562 t año<sup>-1</sup>, evidenciando que la provincia del Alto Ricaarte muestra gran diversidad y potencial para este cultivo (MADR, 2014).

Es importante resaltar que en las zonas productoras de mora existe alta dependencia por la variedad Castilla (*R. glaucus*), sin embargo, esto

limita la producción teniendo en cuenta la susceptibilidad de esta especie a problemas fitosanitarios, la baja calidad en parámetros poscosecha, deficientes prácticas de manejo agronómico, entre otros (Franco y Giraldo, 2000). En plantas de *R. glaucus*, García y García (2001) reportan que la primera cosecha inicia entre los 10 y 12 meses después del trasplante y luego se realizan cosechas semanales en forma continua con algunas épocas de concentración de la producción. Además, debido a su hábito de crecimiento y tipo de ramas, esta especie exige constantes labores de poda y tutorado (Mejía, 2011).

Casierra-Posada *et al.* (2012) mencionan que los objetivos de las actividades de poda están orientados a formar plantas para facilitar actividades agronómicas, mejorar la entrada de luz, regular los periodos de producción, mejorar la calidad poscosecha de los frutos, establecer el equilibrio fisiológico entre el crecimiento vegetativo y generativo, disminuir el número de ramas enfermas o no deseables, y dejar un número adecuado de frutos en cada rama, con el fin de evitar fracturas por exceso de peso. Las plantas de *R. alpinus* son arbustos semierectos y poseen ramas de seis metros o más de longitud en las cuales pueden distribuir cerca de 20 panículas. Esto pone de manifiesto que las actividades de poda son labores indispensables en este cultivo.

Las curvas de crecimiento en los vegetales permiten conocer la forma como evoluciona y se comporta una planta en función del tiempo y su entorno, por tal razón, la obtención de este tipo de información es necesaria para el diseño racional de estrategias de manejo agronómico en los cultivos, con el fin de garantizar respuestas que satisfagan las necesidades del productor y cumplan con las exigencias del consumidor final (Casierra-Posada *et al.*, 2004). Graber (1997) manifiesta que los estudios fenológicos permiten entender en forma clara el comportamiento de un vegetal en relación con el tiempo, y a partir de ello obtener mayor conocimiento sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas y sus diferentes etapas. En los

vegetales, los procesos de crecimiento y desarrollo son eventos irreversibles, se evidencian cambios en tamaño, número, masa y forma. Estos parámetros y sus respectivas modificaciones son el resultado de la interacción del genotipo y el ambiente. Esto tiene como consecuencia el aumento cuantitativo en tamaño y peso en los vegetales, debido principalmente a la división y elongación celular, facilitadas por los procesos fotosintéticos, respiratorios y por la dinámica que genera la planta con la absorción, transporte y transpiración de agua y nutrientes (Taiz y Zeiger, 2010; Tadeu *et al.*, 2015; Hussaina *et al.*, 2016).

Pese a las dificultades de manejo técnico de *R. alpinus* (Gómez *et al.*, 2010; Moreno-Medina y Deaquiz, 2016), en Arcabuco y la provincia del Alto Ricaurte en Boyacá, la producción y explotación de esta especie como cultivo se ha venido incrementando en términos de área sembrada. Sin embargo, no se conoce manejo agronómico que permita efectuar un direccionamiento adecuado para este sistema de producción. Por tal razón, mediante este trabajo se pretendió establecer índices fisiológicos de las plantas de mora (*R. alpinus*) bajo diferentes sistemas de poda, lo cual permitirá construir las curvas de crecimiento (tallos, hojas y panículas) y plantear una propuesta que mejore el manejo agronómico de esta especie en la zona.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y material vegetal

Se utilizaron plantas de mora (*R. alpinus*) de dos años de edad, establecidas en Arcabuco (Boyacá), ubicadas a 5°44'13.05" N y 73°29'14.33" a una altitud de 2.495 msnm. El cultivo se estableció con una densidad de 1.100 plantas/ha, con una distancia entre surcos y plantas de 3 m, tutoradas con sistema de conducción en T. Se realizaron labores agronómicas adecuadas como fertilización, manejo de plagas, enfermedades y malezas.

## Prácticas de poda y seguimiento del ensayo

En las plantas de mora se marcaron 16 tallos por cada tratamiento, a los anteriores se les dejó libre crecimiento y una vez alcanzaron la longitud requerida en cada uno de los tratamientos se efectuó la poda (testigo: sin podar; poda corta: tallo a 1,6 m de longitud; poda larga: tallo a 2,6 m de longitud), se registró la longitud de los tallos, tomando la medida desde la base del tallo hasta la yema terminal, a la par se contó el número de hojas y número de panículas a través del tiempo. Esta información se registró semanalmente entre los 14 y 231 días después de brotación (ddb). Las mediciones del tallo iniciaron una vez el brote se hizo visible. Las hojas se contaron una vez se inició la apertura de los foliolos y el número de panículas se contó una vez iniciada su formación.

Con la información obtenida, se graficó el comportamiento de cada una de las variables respecto al tiempo (ddb) y se establecieron los modelos de análisis funcional. Las curvas y tasas de crecimiento (expresadas en número de estructuras e incremento de la longitud) se ajustaron al modelo no lineal de tipo logístico, usando como parámetro de elección el ajuste o coeficiente de re-

gresión ( $R^2$ ) más cercano a la unidad (Carranza *et al.*, 2009). La información fue procesada con la aplicación SAS versión 8.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Modelos de regresión

En la tabla 1 se muestran las ecuaciones de regresión obtenidas en la presente investigación, donde se puede estimar la longitud de los tallos, el número de hojas y el número de panículas en esta especie de mora, en respuesta a los diferentes sistemas de poda implementados respecto a los ddb. Según Barceló *et al.* (1987) el crecimiento de las plantas se puede cuantificar a través de la construcción de ecuaciones de regresión, y a la par se puede evaluar el comportamiento de una variedad bajo determinadas condiciones.

### Crecimiento de tallos

La longitud del tallo en *R. alpinus* sin podar presentó un crecimiento sigmoide simple generando un incremento progresivo a través del tiempo (ajustado al modelo logístico), el tallo alcanzó su longitud máxima (535 cm) a los 231 ddb en

**Tabla 1. Modelos logísticos para el crecimiento de tallos, número de hojas y número de panículas (bajo diferentes sistemas de poda) en *R. alpinus*, respecto a los días después de brotación.**

Parámetro	$R^2$	Modelo
Longitud de tallos (testigo sin poda)	0,9	$y = 1041,5 / 1 + e^{-0,0125(x-229,5)}$
Número de hojas (testigo sin poda)	0,9	$y = 61,7596 / 1 + e^{-0,0213(x-133,4)}$
Número de panículas (testigo sin poda)	0,9	$y = 19,9598 / 1 + e^{-0,0382(x-170,4)}$
Número de panículas (poda corta: una vez la rama alcanza 1,6 m de longitud)	0,9	$y = 10,1486 / 1 + e^{-0,0480(x-130,4)}$
Número de panículas (poda larga: una vez la rama alcanzó 2,6 m de longitud)	0,9	$y = 21,8190 / 1 + e^{-0,0480(x-149,3)}$

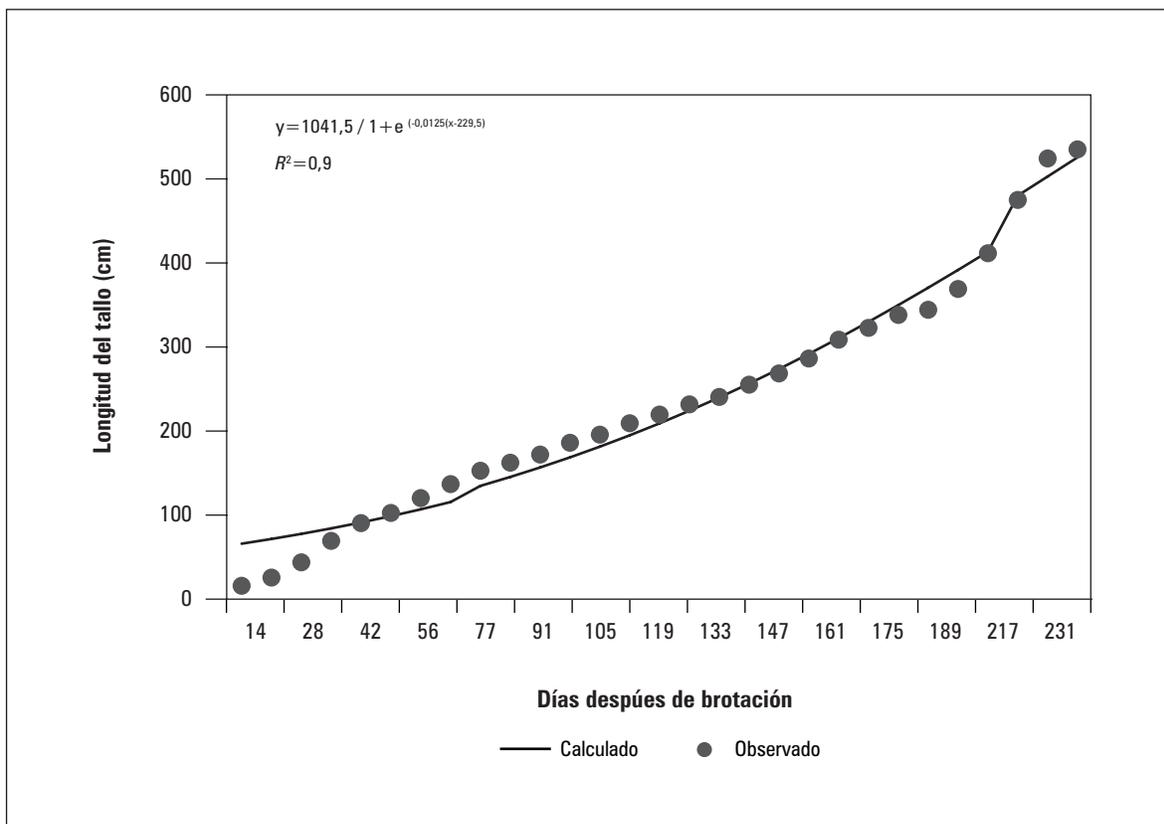
En cada ecuación, la variable x corresponde a los días después de brotación (ddb).

Los parámetros longitud de tallos, número de hojas y número de panículas son las variables dependientes, la variable independiente es el tiempo en días después de brotación (ddb), el cual se midió entre los 14 y 231 ddb.

promedio (figura 1). Sin embargo, la ralentización en el crecimiento de los tallos entre los 100 y 150 ddb, posiblemente se debió a que al mismo tiempo inició la floración y se presentó la máxima tasa de crecimiento en hojas, es decir que este descenso parcial en la velocidad del crecimiento estuvo posiblemente afectado por la redistribución de los fotoasimilados en la planta. Lo anterior se puede corroborar con lo mencionado por Monasterio (1995), quien describe que, en presencia de estructuras foliares, el flujo de carbohidratos se dirige hacia las zonas de crecimiento, no obstante en el caso del género *Rubus*, los fotoasimilados tienen como vertedero principal las raíces. Por su parte, Parra-Quezada *et al.* (2007) indican que el sistema radicular en el cultivar *Malling autumn Bliss* almacena carbohidratos y nutrientes para rebrotar después de las labores de poda y despuntes.

La tasa absoluta de crecimiento (TAC) en los tallos de la especie *R. alpinus* aumentó lentamente antes de los 50 ddb, seguidamente aumentó hasta alcanzar su punto máximo de crecimiento a los 217 ddb con 3,23 cm/semana, luego de esta etapa la TAC no continuó su ascenso, evidenciando que la máxima TAC se exhibió en la segunda etapa del periodo evaluado, según el modelo logístico (figura 2A).

Con relación a la tasa relativa de crecimiento (TRC), se observó que disminuyó de manera constante, sin embargo, hasta los 119 ddb la disminución fue lenta (0,0098 cm cm<sup>-1</sup> por semana) y, a continuación, la TRC disminuyó notablemente (figura 2B). Lo anterior coincidió con el inicio en la formación de estructuras reproductivas en el presente ensayo, que tuvo lugar alrededor de los 126 ddb.



**Figura 1. Comportamiento de la longitud del tallo en mora (*R. alpinus*) sin labores de poda, respecto a los días después de brotación.**

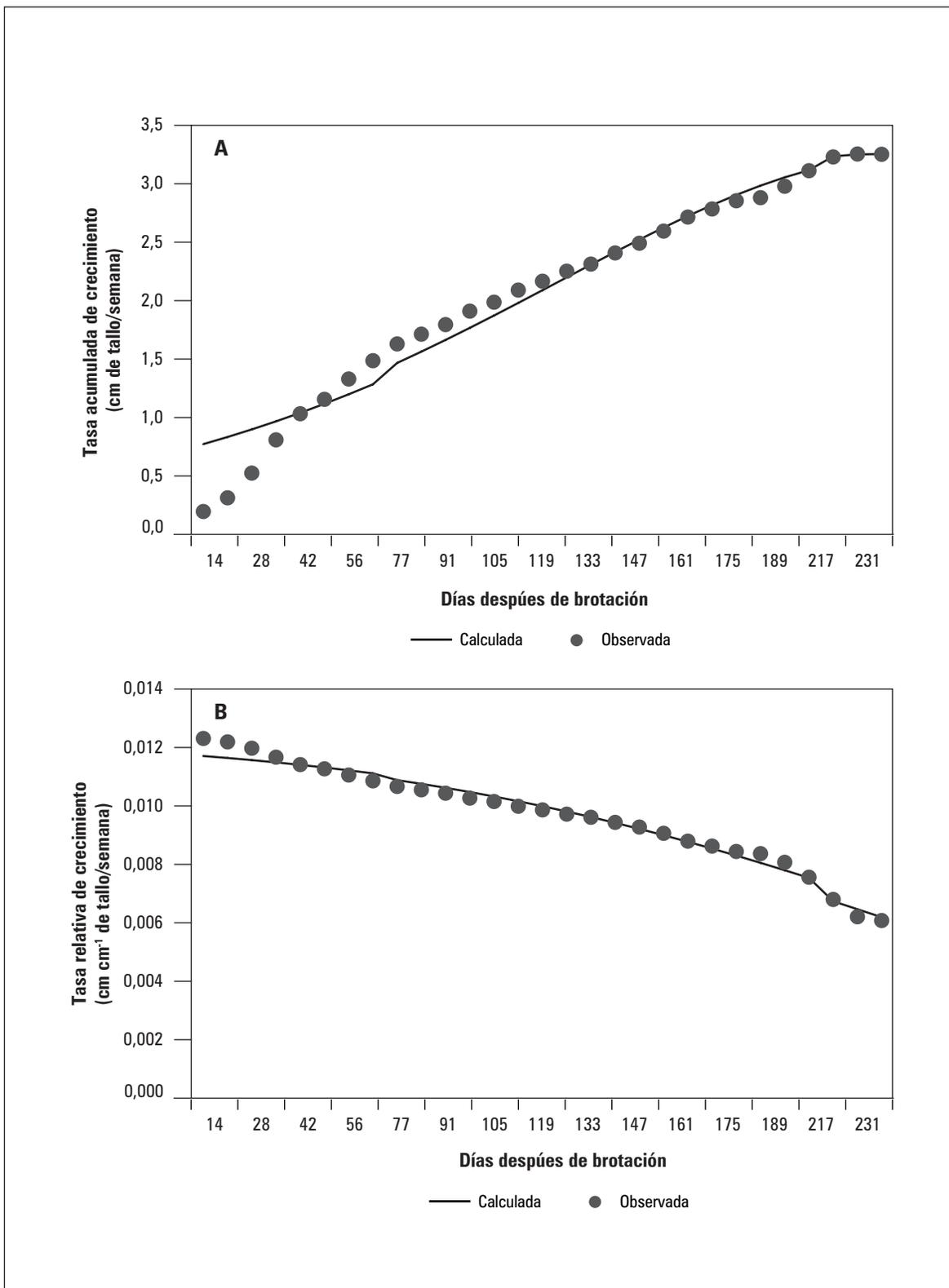


Figura 2. Comportamiento de A) tasa absoluta de crecimiento (TAC) del tallo y B) tasa relativa de crecimiento (TRC) de tallo de la especie *R. alpinus* sin labores de poda, respecto a los días después de brotación.

La TAC y TRC se muestran como indicadores de la relación fuente vertedero (Hunt, 1982), lo cual es importante para establecer actividades agronómicas tendientes a incrementar la cantidad de biomasa o estructura vegetal en un periodo determinado, con el fin de mejorar los procesos productivos en cultivos de *R. alpinus*.

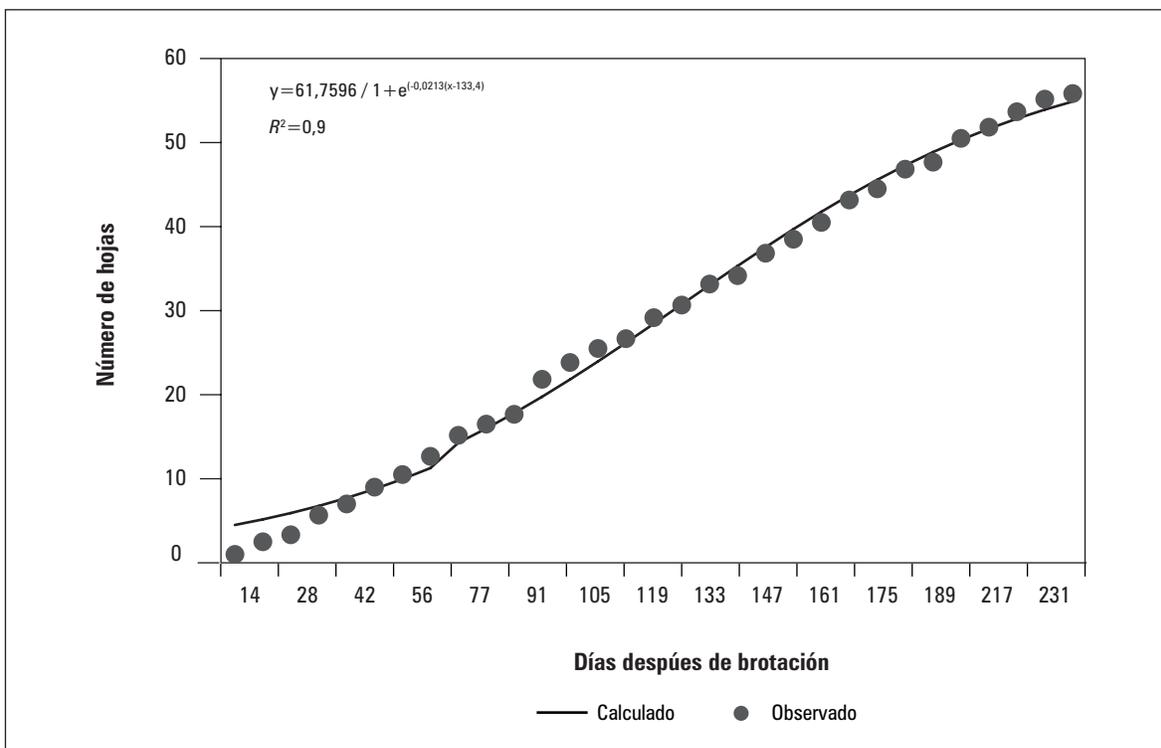
Estos resultados confirman lo mencionado por Hunt (1982) y Villar *et al.* (2004), quienes describen que el estudio del crecimiento de las plantas y su posterior análisis permite relacionar la ecofisiología y la agronomía con el fin de mejorar las actividades de manejo en los cultivos.

### Número de hojas

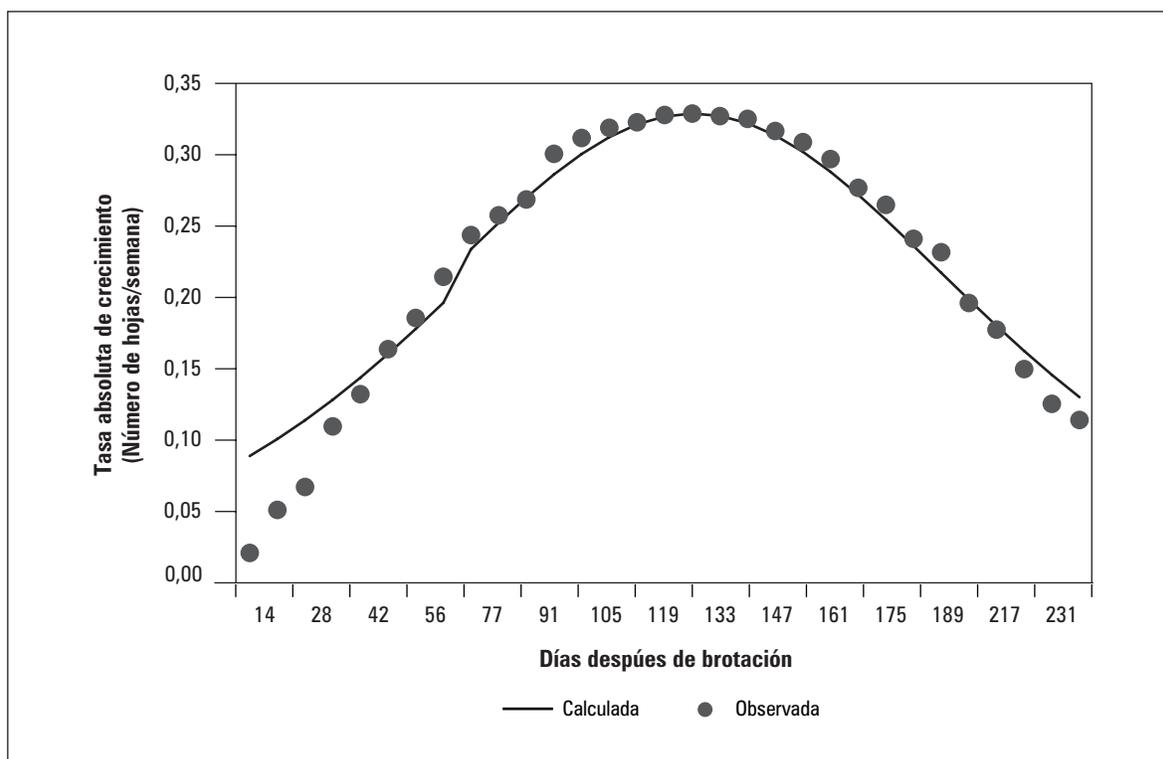
En las plantas de *R. alpinus* el número de hojas emitidas aumentó a través del tiempo, produciéndose, en promedio, 55 hojas en los tallos sin podar (figura 3). En los tallos que se podaron a

1,6 m de longitud se desarrollaron en promedio 19 hojas y en los tallos podados a 2,6 m de longitud se encontraron hasta 36 hojas para el periodo comprendido entre los 14 y 231 ddb.

La aparición de hojas en plantas de *R. alpinus* sin podar presentó un crecimiento sigmoide simple evidenciando un incremento progresivo a través del tiempo, ajustado al modelo logístico y alcanzó el número máximo de hojas (55) a los 231 ddb. Estos resultados ponen en evidencia el potencial productivo de la especie, dado que con un alto número de hojas se pueden mejorar los aspectos productivos en el cultivo, teniendo en cuenta que la actividad fotosintética foliar y el crecimiento en los vegetales está íntimamente relacionado. Al respecto se ha demostrado en cultivos de tomate que el proceso fotosintético es el responsable de la producción de fotoasimilados y con ello del incremento en el rendimiento (Barraza *et al.*, 2004).



**Figura 3. Comportamiento del número de hojas de la especie *R. alpinus* sin labores de poda, respecto a los días después de brotación.**



**Figura 4. Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en número de hojas de la especie *R. alpinus* sin labores de poda, respecto a los días después de brotación.**

La tasa absoluta de crecimiento (TAC) para el número de hojas en *R. alpinus* aumentó paulatinamente antes de los 160 ddb, es aquí justamente donde la aparición de hojas tiene su crecimiento máximo (0,3 hojas/semana), luego, disminuyó drásticamente hasta alcanzar su menor punto de crecimiento a los 231 ddb con un valor de 0,1 hojas/semana (figura 4). Con lo anterior y al igual que en el crecimiento de los tallos, se evidenció que la máxima tasa de crecimiento se exhibió en la segunda etapa del periodo evaluado según el modelo logístico. A pesar de que la TAC en hojas disminuyó con el tiempo, la aparición de estas es continua, como se presentó en la figura 3, si los meristemos apicales permanecen intactos, es decir, si no se efectúan labores de poda o se evidencian daños por agentes bióticos o abióticos.

Al igual que en el crecimiento del tallo, la aparición de hojas también puede verse afectada por

la formación de estructuras reproductivas, sin embargo, es importante aclarar que la disminución en la TAC puede verse influenciada por la relación fuente-vertedero, teniendo en cuenta que para este caso las hojas que se encuentran en formación y desarrollo actúan como órganos vertedero y causan competencia por fotosimilados (Casierra-Posada *et al.*, 2004).

Estos resultados son importantes debido a que en la mayoría de las plantas las hojas son los órganos directamente implicados en el proceso fotosintético, o el lugar donde se efectúa la captura de la energía luminosa necesaria para impulsar las diferentes reacciones químicas vitales para el crecimiento y desarrollo de los vegetales (Taiz y Zeiger, 2010).

En el caso de la especie *R. ulmifolius*, existen reportes que describen la producción de flores y

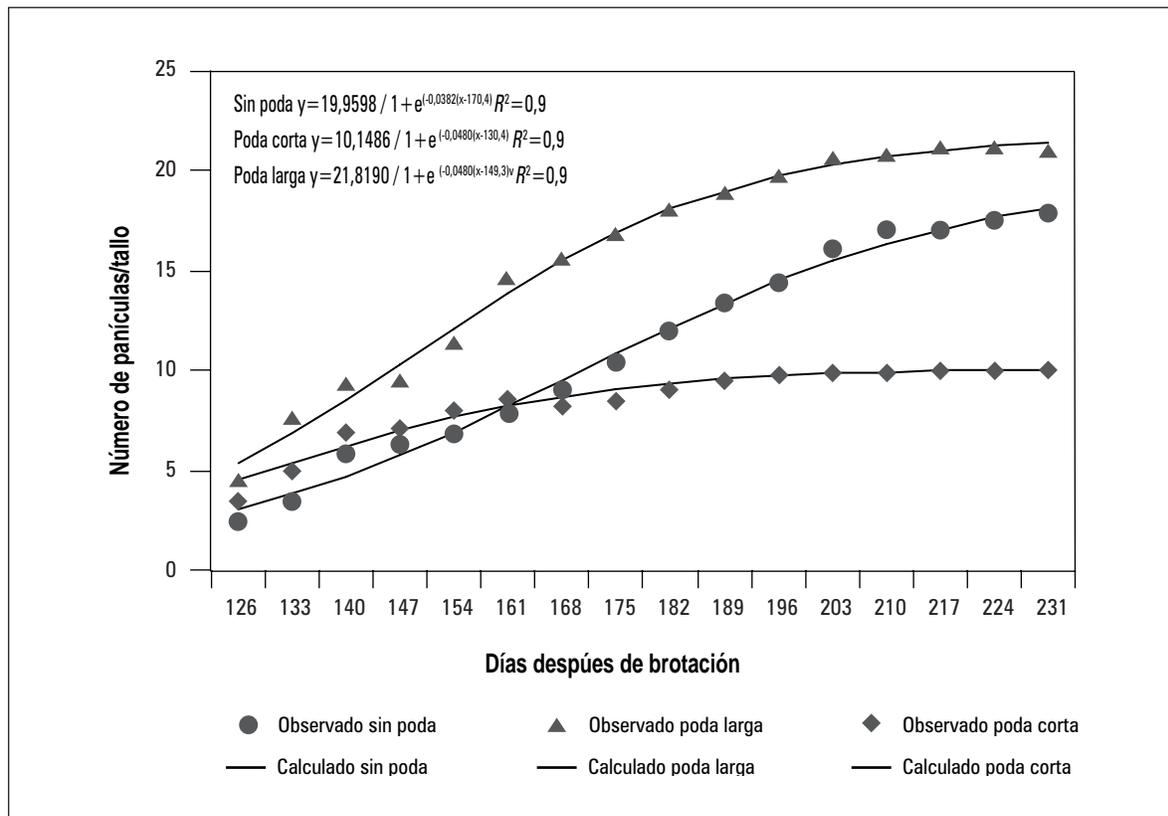
frutos hasta por cuatro años en un mismo tallo (Salter, 1845), con lo anterior se puede mencionar que la especie *R. alpinus* tiene excelentes posibilidades frente a una producción permanente, además Casierra-Posada *et al.* (2007) mencionan que el mayor tamaño y cantidad de sólidos solubles totales (°Brix) en los frutos de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. 'Rubidoux) se puede atribuir a la relación entre el número de hojas y el fruto, es decir que de manera análoga, podría plantearse que en *R. alpinus*, con la continua formación de hojas se incrementa y mejora la calidad de las bayas que se encuentran en cada tallo.

### Número de panículas

El número de panículas en plantas de *R. alpinus* presentó una tendencia sigmoide simple, ajustada a un modelo logístico, e independientemente

del tipo de poda, evidenció un incremento progresivo a través del tiempo. Los tallos sin podar alcanzaron el número máximo de 18 panículas a los 231 ddb, los tallos que se podaron a 1,6 m de longitud presentaron su máximo número de inflorescencias a los 224 ddb con 10 panículas y los tallos podados a 2,6 m de longitud tenían 21 panículas como crecimiento máximo a los 217 ddb.

El número de panículas producidas aumentó con el tiempo, hasta completar 21 en promedio para el caso de los tallos que se podaron a 2,6 m de longitud. Los tallos que no se podaron desarrollaron en promedio 18 panículas, y en aquellos podados a 1,6 m de longitud se reportan 10 panículas. Es importante resaltar que las podas realizadas no tuvieron efecto significativo sobre el adelanto en la formación de panículas, ya que en los sistemas de poda evaluados la formación de este tipo de



**Figura 5. Comportamiento del número de panículas por tallo, en la especie *R. alpinus* bajo diferentes sistemas de poda (sin poda; poda corta: 1,6 m de longitud; poda larga: 2,6 m de longitud), en relación con los días después de brotación.**

inflorescencias se originó a partir de los 126 ddb aproximadamente, es decir cerca de los 4,5 meses después de la emergencia del tallo, lo que muestra el posible tiempo o intervalos en los cuales se genera la producción. No obstante, Giraldo y Franco (2002) reportan para *R. glaucus* intervalos de producción cada 5-6 meses, es así como *R. alpinus* expresa posibles adelantos en el periodo de cosecha en relación con *R. glaucus*, la variedad de mora más cultivada en Colombia. Con lo anterior se evidencia un potencial para el establecimiento de la especie *R. alpinus* como cultivo.

Con base en estos resultados se puede mencionar que las actividades de poda para este cultivo se deben realizar con propósitos fitosanitarios y para retirar el exceso de ramas, hojas y estructuras que ya produjeron; inclusive, se debe tener en cuenta que con las labores de poda, se disminuye la competencia por fotoasimilados y con ello aumenta la calidad y adecuada formación de los

frutos en desarrollo, además se puede establecer como estrategia de manejo agronómico, realizar podas sin dejar que las ramas sobrepasen los 3 m de longitud, lo anterior teniendo en cuenta que cerca del 70% de la producción (entre 18 y 20 panículas) se forman en esta porción de tallo.

La TAC en número de panículas en *R. alpinus* aumentó paulatinamente hasta los 170 ddb para todas las plantas independientemente de la poda (figura 6). En los tallos sin podar la máxima TAC se dio a los 168 ddb con 5,01 panículas/semana, mientras que en los tallos podados a 1,6 m de longitud se evidenció una TAC de 0,83 panículas/semana y en los tallos con poda a los 2,6 m de longitud se alcanzó la máxima TCA a los 161 ddb con 5,94 panículas/semana. La TAC en número de panículas disminuyó gradualmente, al parecer debido a la formación continua de este tipo de estructuras, además, los fotoasimilados deben ser redistribuidos en las panículas antes formadas

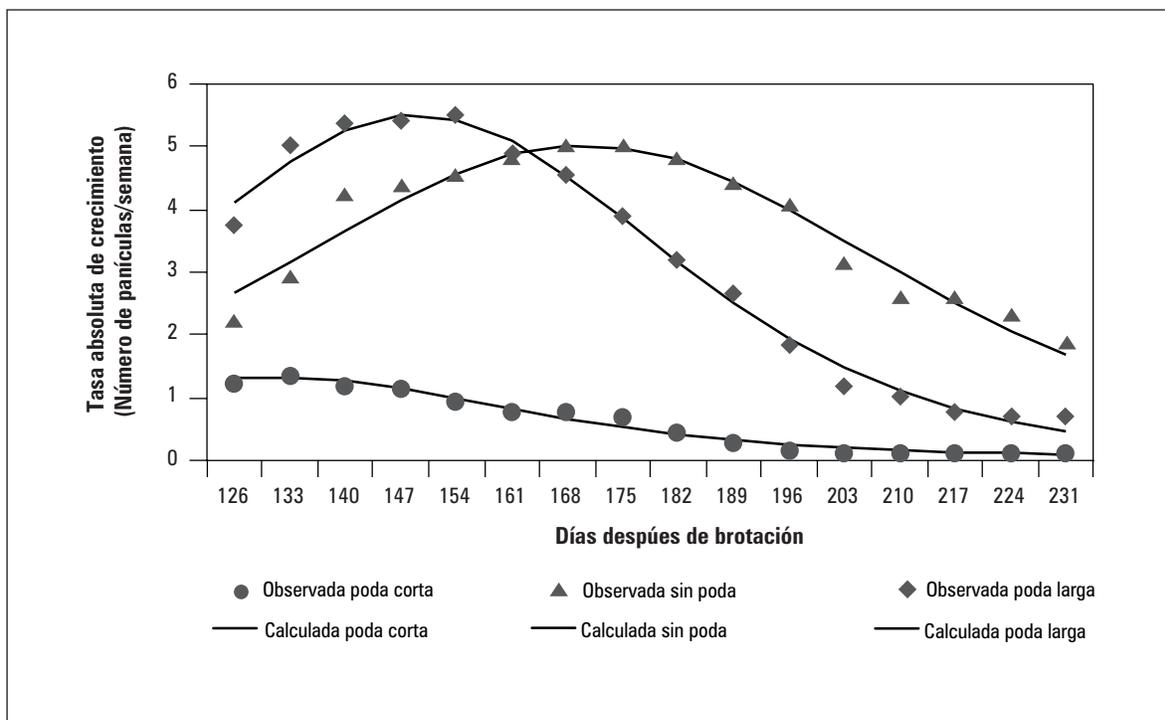


Figura 6. Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) del número de panículas en plantas de mora (*R. alpinus*) bajo diferentes sistemas de poda (sin poda; poda corta: 1,6 m de longitud; poda larga: 2,6 m de longitud), en relación con los días después de brotación.

pero que se encuentran en continuo crecimiento hasta llegar a su maduración.

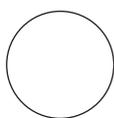
Tomando como referencia el trabajo de Aliquó *et al.* (2010), se describen para el cultivo de vid diferentes tipos de poda teniendo en cuenta la longitud del tallo al momento del corte (poda corta y poda larga) y se menciona que esta longitud se puede relacionar con el número de yemas que dan origen a los racimos y con ello a la obtención de cosechas de calidad. A la par, Reynier (1989) menciona que la poda corta implica menor número de yemas, menor producción y posiblemente mayor vigor en el vegetal, sin embargo, con la poda larga se incrementaría el número de yemas, racimos y área foliar, no obstante, se disminuye la calidad de la fruta por la maduración desigual con la respectiva reducción de color y del contenido de sólidos solubles totales, además de ocasionar una baja lignificación en la estructura principal de la planta.

El estudio del número de panículas muestra alternativas para la recomendación técnica en la implementación de podas para el cultivo de *R. alpinus*. Con base en esta información se puede proponer

que las actividades de poda se realicen a 2,6 m de longitud con el objetivo de aumentar el número de inflorescencias en dicho cultivo, sin dejar de lado una fertilización adecuada, la cual permitirá la formación de estructuras propicias para el llenado de frutos y el aumento de su calidad.

## CONCLUSIONES

Una vez se construyeron los modelos logísticos para la caracterización de los parámetros de crecimiento en *R. alpinus*, se puede afirmar que las plantas mostraron disminución en las tasa de crecimiento con el paso del tiempo para los parámetros de longitud del tallo, número de hojas y panículas, no obstante, las labores de poda no tuvieron efecto sobre el adelanto de la floración, aun cuando se encontraron algunas diferencias en el número de inflorescencias formadas por cada tallo. Los resultados obtenidos permitieron elegir la poda larga, realizada a 2,6 m de longitud, como una alternativa que, acompañada de otras labores agronómicas adecuadas, permitirá expresar el potencial productivo de esta especie en la zona en estudio.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliquó, G., A. Catana y G. Aguado. 2010. La poda de la vid. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.
- Barceló, C.J., G. Nicolás, B. Sabater y R. Sánchez. 1987. Fisiología vegetal. Ediciones Pirámide, Madrid. pp. 429-441.
- Barraza, F., G. Fischer y C. Cardona. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. Agron. Colomb. 22(1), 81-90.
- Cancino, O., L. Sanchez, E. Quevedo y C. Díaz. 2011. Caracterización fenotípica de accesiones de especies de *Rubus* L. de los municipios de Pamplona y Chitagá, región Nororiental de Colombia. Uni. Sci. 16(3), 219-233. Doi: 10.11144/javeriana.SC16-3.pcor
- Carranza, C., O. Lancho, D. Miranda y B. Chaves. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. Agron. Colomb. 27(1), 41-48.
- Casierra-Posada, F., F. Barreto y O. Fonseca. 2004. Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus pérsica* L. Batsch, cv. 'Conservero') en los altiplanos colombianos. Agron. Colomb. 22(1): 40-45.
- Casierra-Posada, F. y G. Fischer. 2012. Poda de árboles frutales. pp. 169-185. En: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá.

- Casierra-Posada, F., J. Rodríguez y J. Cárdenas-Hernández. 2007. La relación hoja:fruto afecta la producción, el crecimiento y la calidad del fruto en duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. 'Rubidoux'). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 60(1), 3657-3669.
- Farinango, M. 2010. Estudio de la fisiología postcosecha de la mora de castilla (*Rubus glaucus* Bent) y mora variedad brazos (*Rubus* sp). Trabajo de grado. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito.
- Franco, G. y M. Giraldo. 2000. El cultivo de la mora. 3ª ed. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Manizales, Colombia.
- García, M y H. García. 2001. Manejo cosecha y poscosecha de mora, lulo y tomate de árbol. Corpoica, Bogotá.
- Giraldo, M. y G. Franco. 2002. El cultivo de la mora. Corpoica-Pronatta, Manizales, Colombia.
- Gómez, R. y H. Pinilla. 2010. Desarrollo en armonía ambiental: El caso de la vereda Peñas Blancas del municipio de Arcabuco, Boyacá. Cultura Científica 8, 65-74.
- Graber, U. 1997. Fenología de los cultivos: mora de Castilla (*Rubus glaucus* B.). Granja Experimental, Pillaro, Ecuador.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold, Londres, U.K.
- Hussaina, I., S. Roberto, I. Batista, A. Marinho de Assis, R. Koyama y L. Correa. 2016. Phenology of 'Tupy' and 'Xavante' blackberries grown in a subtropical area. Sci. Hortic. 201, 78-83. Doi: 10.1016/j.scienta.2016.01.036
- Mejía, B. 2011. Caracterización morfoagronómica de genotipos de mora (*Rubus glaucus* Benth.) en la granja experimental. Informe técnico del proyecto de investigación. INIAP, Tumbaco, Ecuador.
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 2014. Base de datos de la producción de frutas y hortalizas 2007-2014. En: <http://www.agronet.gov.co/Paginas/estadisticas.aspx>; consulta: noviembre de 2014.
- Monasterio-Huelin, E. 1995. Biología de reproducción en *Rubus* L. (Rosaceae). Propagación vegetativa. Anales Jard. Bot. Madrid 52(2), 145-149.
- Moreno, B.L. y Y.A. Deaquiz O. 2016. Caracterización de parámetros fisicoquímicos en frutos de mora (*Rubus alpinus* Macfad). Acta Agron. 65(2), 130-136. Doi: 10.15446/acag.v65n2.45587
- Parra-Quezada, R. Á., V. Guerrero-Prieto y J. Arreola-Avila. 2007. Efecto de fecha y tipo de poda en fram-buesa roja 'Malling autumn Bliss'. Rev. Chapingo Ser. Hort. 13(2), 201-206.
- Reynier, A. 1989. Manual de viticultura. Cuarta edición. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Salter, T.B. 1845. Observations on the genus *Rubus*. Phytologist 2, p. 107.
- Souza, V. R., P. Pereira, T. Silva, L. Oliveira Lima, R. Pio y F. Queiroz. 2014. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. Food Chem. 156, 362-368. Doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.125
- Tadeu, M., F. Souza, R. de Pio, M. Valle, G. do Locatelli, G. Guimarães y B. Silva. 2015. Drastic summer pruning and production of blackberry cultivars in subtropical areas. Pesqui. Agropecu. Bras. 50, 132-140. Doi: 10.1590/S0100-204X2015000200005
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2010. Plant physiology. 5a ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Villar, R., J. Ruiz, J. Robleto, L. Quero, P. Hendrik, F. Valladares y T. Marañón. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF S.A., Madrid.

# Efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B sobre la acumulación y distribución de la masa seca en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.) var. ICA Palmira II en fase de vivero

Effect of N, P, K, Mg, Ca and B deficiencies on the accumulation and distribution of dry mass in guava plants (*Psidium guajava* L.) var. Palmira ICA II in the nursery phase

SINDY LORENA DUSSÁN<sup>1</sup>  
DANIEL ANDRÉS VILLEGAS<sup>1</sup>  
DIEGO MIRANDA<sup>1, 2</sup>

Plantas de guayaba en vivero.  
Foto: D. Miranda



## RESUMEN

La guayaba, nativa de América tropical, se destaca por ser una fruta de alto contenido vitamínico. En Colombia, es un cultivo con poca investigación especialmente en el área de la nutrición y fertilización. Bajo invernadero se cultivaron plantas jóvenes de guayaba de tres meses de edad, de la variedad ICA Palmira II, las cuales fueron sometidas a tratamientos con fertilizantes mediante la técnica del elemento faltante, con los siguientes tratamientos: T0: agua; T1: fertilización completa; T2: completa -N; T3: -P; T4: -K; T5: -Mg; T6: -Ca y T7: -B. Las plantas fueron sembradas en sustrato de arena lavada de río y gravilla en bolsas de polietileno negras de (5 L de capacidad); la aplicación de los tratamientos se realizó manualmente con riegos diarios de las soluciones nutritivas diarias con un volumen de 250 cm<sup>3</sup> por bolsa. Se determinaron los cambios de magnitud de las plantas: altura y número de hojas, área foliar y la acumulación de masa seca por las estructuras de la planta. Se encontró que el tratamiento -N, en comparación con la fertilización completa, afectó el número de hojas y la acumulación de masa seca por las estructuras de la planta (raíz, tallo, hojas y total). El N resultó ser el elemento más limitante en la fase vegetativa de plantas jóvenes de guayaba (primeros 8 meses del desarrollo). La deficiencia de fósforo (-P) causó reducciones en el área foliar de las plantas (-20%) en comparación con el tratamiento de fertilización completa; el tratamiento -K redujo el área foliar solo en el 8%, y -B en 5,4%. La deficiencia de calcio (-Ca) ocasionó la menor acumulación de masa seca por la raíz, respuesta que estuvo asociada a la relación de este nutriente con la actividad auxínica en las raíces.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

<sup>2</sup> Autor para correspondencia. [dmirandal@unal.edu.co](mailto:dmirandal@unal.edu.co)

**Palabras clave adicionales:** masa seca, número de hojas, elemento faltante, área foliar.

## ABSTRACT

Guava is native to the tropical Americas and stands out as a fruit with a high vitamin content; however, it is a crop with little research or technical assistance, especially in terms of nutrition and fertilization. In greenhouse, three-month-old guava plants, variety ICA Palmira II, were subjected to fertilizer treatments using the missing element technique. The following treatments were used: T0: water; T1: complete fertilization; T2: complete -N; T3: -P; T4: -K; T5: -Mg; T6: -Ca and T7: -B. The plants were planted in soil with washed river sand and gravel in black polyethylene bags (5 L capacity); the application of the treatments was done manually, with daily watering with the nutrient solutions at a volume of 250 cm<sup>3</sup> per bag. The changes in the height, number of leaves, leaf area and dry matter accumulation by the plant structures were determined. We found that the -N treatment, as compared to the complete fertilization, affected the number of leaves and dry matter accumulation by the structures of the plant (root, stem, leaves and total). N was the most limiting element in the vegetative phase of the young guava plants (first 8 months of development). The deficiency in phosphorus (-P) caused reductions in the plant leaf area (-20%), as compared to the complete fertilization treatment; the (-K) treatment reduced the leaf area only by 8%; a 5.4 % reduction was seen in (-B). The calcium deficiency (-Ca) caused the lowest accumulation of root dry mass; this response was associated with the relationship of this nutrient with the auxin activity in the roots.

**Additional keywords:** dry mass, leaf number, missing element, leaf area.

Fecha de recepción: 14-12-2015

Aprobado para publicación: 14-05-2016

## INTRODUCCIÓN

La guayaba (*Psidium guajava* L.), especie nativa de América tropical continental, pertenece a la familia *Myrtaceae* (IIFT, 2011). Las cualidades nutricionales de la fruta hacen que sea considerada como la manzana del trópico (Prakash *et al.*, 2002), siendo la única fruta que contiene hasta 16 vitaminas, ocupando el tercer lugar en su contenido de Vitamina C (MADR, 2007; Fischer *et al.*, 2012). Los principales productores son Brasil, Colombia, Perú, Ecuador, India, Sudáfrica, Estados Unidos, México, Filipinas, Venezuela, Costa Rica, Cuba y Puerto Rico (MINAG, 2011). Para el año 2013, en Colombia el área sembrada correspondió a 23.900 ha y el rendimiento promedio fue de 11,5 t ha<sup>-1</sup> (FAO, 2013). Se cultiva en los departamentos de Santander (4.310 ha), Boyacá

(1.849 ha), Valle del Cauca (1.180 ha), Tolima (2.439 ha), Cundinamarca (460 ha), Antioquia (990 ha), Huila (107 ha), Meta (333 ha), Atlántico (338 ha) y Bolívar (238 ha) (MADR, 2007).

Las plantas en general requieren elementos esenciales que les permitan completar su ciclo vegetal de forma óptima, como lo son el C, H y O que provienen del aire y el agua, y a su vez conforman el 95% de la masa seca de los tejidos vegetales; además, requieren minerales esenciales los cuales deben ser proporcionados de forma exógena de acuerdo con el balance requerimiento – suministro, presentando demanda de macronutrientes (N, P, K, Mg, Ca y S) y micronutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Zn, Mo) y otros

elementos benéficos (Se, Co, Na, Ni, Si) para ciertos grupos de plantas (Malavolta, 2006). El suministro de nutrientes se realiza teniendo como base los niveles de nutrientes disponibles en el suelo y el estado nutricional de las plantas (Marschner, 2012).

El análisis de nutrientes en plantas es una técnica que determina el contenido de los nutrientes en tejidos vegetales de un cultivo muestreado en un momento o etapa de desarrollo determinados (Munson y Nelson, 1986; Campbell, 2000) y se refiere al análisis cuantitativo de laboratorio de los tejidos vegetales recolectados, siendo el más frecuente el análisis de tejido foliar. Otra técnica utilizada cuando no es factible el análisis de suelos o el tejido foliar es la técnica del elemento faltante, que se hace cultivando plantas utilizando contenedores pequeños en los cuales cada uno de los nutrientes evaluados se omite en un tratamiento, pero todos los demás nutrientes se aplican en niveles adecuados (Bruulsema *et al.*, 2012).

La producción de masa seca (MS) es el resultado del proceso de fotosíntesis; desde el punto de vista cuantitativo esta acumulación y el crecimiento dependen del exceso de carbohidratos sintetizados en relación con aquellos que son usados como sustratos de la respiración. Sin embargo, en el caso particular de las estructuras de la planta este concepto no es necesariamente estricto, ya que el mecanismo de redistribución de los fotosintatos puede incrementar o reducir la biomasa acumulada en cada una de las estructuras de la planta (Norero and Pilatti, 2002). Aproximadamente el 90% de la masa seca acumulada es producto de la actividad fotosintética, mientras que el porcentaje restante proviene de la absorción mineral (Benincasa, 2003). Cuando los nutrientes minerales son limitantes las plantas reducen su crecimiento y alteran aspectos de su morfología, como también la adquisición y el uso de estos minerales con el fin de maximizar la adquisición de estos recursos escasos (Schachtman y Shin, 2007). De igual manera, la visualización

de los síntomas es una herramienta invaluable para la caracterización morfológica (Lizarazo *et al.*, 2013a),

No se tienen estudios para Colombia sobre el efecto de los nutrientes en la fase vegetativa correspondiente al crecimiento en vivero. La fase vegetativa de la guayaba en fase inicial incluye el trasplante hasta los 12 meses de edad de las plantas y se caracteriza por la formación de estructuras vegetativas (tronco principal y las ramas primarias hasta formar la altura de la copa). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B mediante la técnica del elemento faltante sobre la acumulación y distribución de la masa seca de plantas jóvenes de guayaba (*Psidium guajava* L.) variedad ICA Palmira II cultivadas en un sustrato inerte y durante la fase de vivero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y material vegetal

Esta investigación se realizó en un invernadero de plástico de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, a una altitud de 2.556 msnm con temperatura y humedad promedio interior de 24°C y 65%, respectivamente. Se emplearon 152 árboles de Guayaba var. ICA Palmira II de tres meses de edad propagados a partir de semilla y dispuestas en sustrato de cascarilla de arroz quemada y suelo (relación 1:1), luego fueron trasplantados a bolsas de polietileno con capacidad de 3 kg; el sustrato consistió de una mezcla compuesta con arena de sílice y gravilla con una relación 2:1, con un tamaño de grano de 0,06 a 0,1 y 0,5 mm, respectivamente, el cual fue lavado con agua destilada con el fin de remover los minerales que pudieran estar disponibles posteriormente.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con ocho tratamientos, tres árboles por unidad experimental, con tres repeticiones

y para seis muestreos, para un total de 432 unidades experimentales. Los tratamientos evaluados fueron: T0: aplicación de agua sin adición de elementos minerales; T1: fertilización completa (testigo absoluto); T2: fertilización completa menos nitrógeno (-N); T3: fertilización completa menos fósforo (-P); T4: fertilización completa menos potasio (-K); T5: fertilización completa menos magnesio (-Mg); T6: fertilización completa menos calcio (-Ca) y T7: fertilización completa menos boro (-B). Las plantas fueron distribuidas en cuatro camas de 1,20 m separadas entre sí y distanciadas de 0,20 m entre plantas, puestas en hileras dobles.

Los tratamientos de fertilizantes fueron balanceados a partir de la solución Hoagland y Arnon (1950), empleando la técnica del elemento faltante para evaluar los requerimientos nutricionales propuestos por Natale *et al.* (1996), para los macronutrientes y Salvador *et al.* (2003) para los micronutrientes. Luego del trasplante de los árboles a las bolsas se les aplicó agua destilada durante dos semanas, pasado este tiempo se inició la aplicación de los tratamientos. Las soluciones concentradas fueron suministradas por Brenntag Colombia S.A. (Bogotá), las cuales se indican en la tabla 1. Cada solución se aplicó con una probeta graduada en una dosis de 500 mL día<sup>-1</sup> por bolsa de forma manual.

Como fuentes comunes se usaron Mn 1,8; Zn 0,2; Cu 0,08; Fe 0,5 y Mo 0,02 mg L<sup>-1</sup> para todos los tratamientos. Las fuentes utilizadas en

la preparación de las soluciones madre fueron: nitrato de amonio líquido, fosfato monopotásico, DAP, nitrato de potasio, sulfato de potasio, nitrato de calcio líquido, Mainstay calcio, sulfato de magnesio, EDTA-Fe 11%, cosmoquel B y molibdato de amonio.

### Muestreos de material vegetal

Los muestreos se realizaron cada 13 d, seleccionando tres árboles por cada tratamiento (24 por muestreo) por repetición para un total de seis muestreos destructivos realizados a los 33, 46, 59, 72, 85 y 98 ddt (días después de trasplante) para todas las variables.

### Variables evaluadas

Se determinó la altura de la planta, número de hojas, área foliar (empleando un medidor LI-3100 de LI-COR, Lincoln, NE) y peso seco (estufa a 75°C durante 48 h) de hojas, tallos y raíces.

### Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza Anova y se empleó la prueba de comparación de medias de Tukey con confiabilidad del 95%. Los cambios de magnitud de las plantas y variables de crecimiento se determinaron mediante el análisis funcional del modelo logístico como describen Flórez *et al.* (2006), para ello se usaron los programas Microsoft Excel® y *software* estadístico Statistic System Analysis (SAS) v. 9.1.3.

**Tabla 1. Niveles de nutrientes (mg L<sup>-1</sup>) calidad reactivo para cada tratamiento (Dussán *et al.*, 2015).**

Nutriente	Tratamiento							Agua destilada
	-N	-P	-K	-Mg	-Ca	-B	Completa	
N	0	43	43	43	43	43	43	0
P	12	0	12	12	12	12	12	0
K	40	40	0	40	40	40	40	0
Mg	7	7	7	0	7	7	7	0
Ca	7	7	7	7	0	7	7	0
B	7	7	7	7	7	0	7	0

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cambios de magnitud de las plantas

#### *Altura de la planta*

La altura de las plantas sometidas a todos los tratamientos únicamente presentó diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en el último muestreo (a los 98 ddt). Las plantas con mayor altura correspondieron a las plantas sometidas a deficiencia de magnesio y boro con valores de 59,67 y 58,83 cm, respectivamente (tabla 2). Las plantas que recibieron solo agua presentaron una disminución del 35,5% en tamaño. Las plantas con deficiencias (-N) presentaron una disminución del 12%. Las plantas de los demás tratamientos no presentaron diferencias en su altura por efecto de los tratamientos carenciales. La altura de planta es un cambio de magnitud similar a la tasa de alargamiento de los brotes (TAB) propuesta por Hunt (1990) que es producto del número de brotes por rama y su longitud tomada a diferentes intervalos de tiempo, que se considera una adaptación de la tasa de crecimiento. Esta tasa fue evaluada en guayaba por Nava *et al.* (2004), quienes encontraron que la TAB varió ampliamente a lo largo del año desde 0,04 hasta 0,32  $\text{cm d}^{-1}$  cuya variación estuvo asociada con la humedad del suelo que favorece la división y el alar-

gamiento celular, proceso que también depende de la acumulación de reservas por la planta en sus diferentes estructuras como lo determinaron Chadha y Pandey (1986). En guayabo, al igual que en otras especies, la composición foliar de nutrientes varía con la edad de la planta (como se observó en las plantas a los 98 ddt, donde se encontraron diferencias significativas en altura); con el estado fenológico del árbol, el número de brotes por planta (en este experimento fue evidente la reducción en la producción y crecimiento de brotes nuevos durante todo el desarrollo del experimento), similar a lo reportado por Salvador *et al.*, (1998; 1999) en plántulas de esta especie. Dependiendo también del tipo de rama, posición de hojas en la rama, de tal manera que los niveles de N, P, K, Zn y Cu en hojas de guayabo disminuyen a medida que aumenta la edad de la hoja, mientras que el Ca, Mg y Mn se incrementan (Singh y Rajput, 1978).

#### Número de hojas

A lo largo de la evaluación se observó que el número de hojas varió significativamente por efecto de los tratamientos. A partir del 59 ddt se evidenció en las plantas tratadas con solo agua y -N los menores valores en número de hojas, 33 y 34, respectivamente; en comparación con los demás tratamientos, los cuales presentaron valores en-

**Tabla 2. Altura de plantas de guayaba, sometidas a deficiencias de N, P, K, Mg, Ca y B, comparadas con fertilización completa o regadas solamente con agua.**

Tratam.	Altura de planta (cm)					
	33	46	59	72	85	98
Agua	45,33 a	31,01 a	41,83 a	43,67 a	47,00 a	39,67 b
Compl.	37,33 a	32,10 a	33,33 a	49,33 a	54,00 a	56,67 ab
(-N)	38,50 a	39,33 a	41,33 a	45,67 a	51,00 a	52,67 ab
(-P)	38,00 a	41,00 a	41,50 a	53,33 a	51,33 a	55,33 ab
(-K)	45,17 a	41,83 a	42,00 a	50,33 a	57,33 a	53,67 ab
(-Mg)	37,17 a	50,67 a	41,00 a	51,67 a	60,50 a	59,67 a
(-Ca)	50,17 a	37,17 a	48,33 a	56,50 a	60,00 a	54,33 ab
(-B)	44,50 a	28,50 a	40,67 a	52,50 a	54,33 a	58,83 a

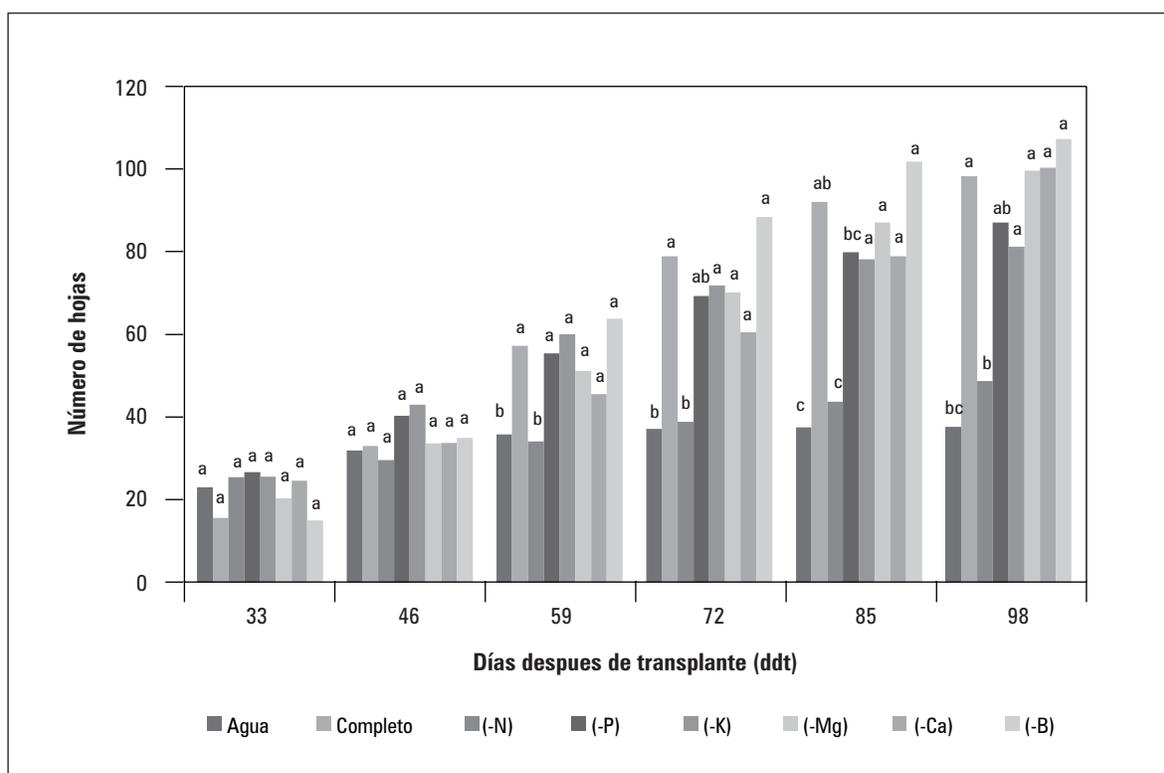
Promedios con letras distintas, entre columnas por día de muestreo, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

tre 45 y 63 hojas por planta (figura 1). La ausencia de nitrógeno limitó el desarrollo de las hojas en cuanto a su número, lo que generó menor tejido foliar para fotosíntesis y para la producción de fotoasimilados, los cuales son empleados para la generación de nuevos tejidos vegetativos en etapas iniciales; mayor producción de masa seca significa mayor productividad (Marschner, 2011). Se puede asegurar que las deficiencias de N alteran la nueva formación de hojas y su desarrollo, debido posiblemente a las bajas tasas de producción de aminoácidos y proteínas indispensables en la división y elongación de células (Cabezas y Sánchez, 2008). A los 98 ddt las plantas de menor número de hojas correspondió a aquellas tratadas con agua 28 hojas en promedio con diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ), seguido por las plantas con deficiencia de Mg (-Mg), siendo estos dos tratamientos los de mayor afectación. Las plantas con mayor número de hojas, 103 en promedio,

fueron las de plantas con el tratamiento (-Ca), seguidas por las plantas con el tratamiento con fertilización completa.

Según Havlin *et al.* (1999) y Kalaji *et al.* (2014), el nitrógeno, además de tener función estructural en la molécula de clorofila, participa también en la síntesis proteica, la inhibición de esta síntesis reduce el proceso de división celular, y como resultado afecta el crecimiento de la planta y emisión de nuevos órganos vegetativos (Marschner, 2012), resultados similares fueron encontrados por Fonseca de Souza *et al.* (2012) en plántulas de anón amazónico (*Rollinia mucosa* L.) y asaí (Viégas *et al.*, 2004).

Por otro lado, a partir del 59 ddt, las plantas del tratamiento -B presentaron el mayor número de hojas, sin embargo, no presentaron diferencias significativas con las plantas de -Mg y -Ca.



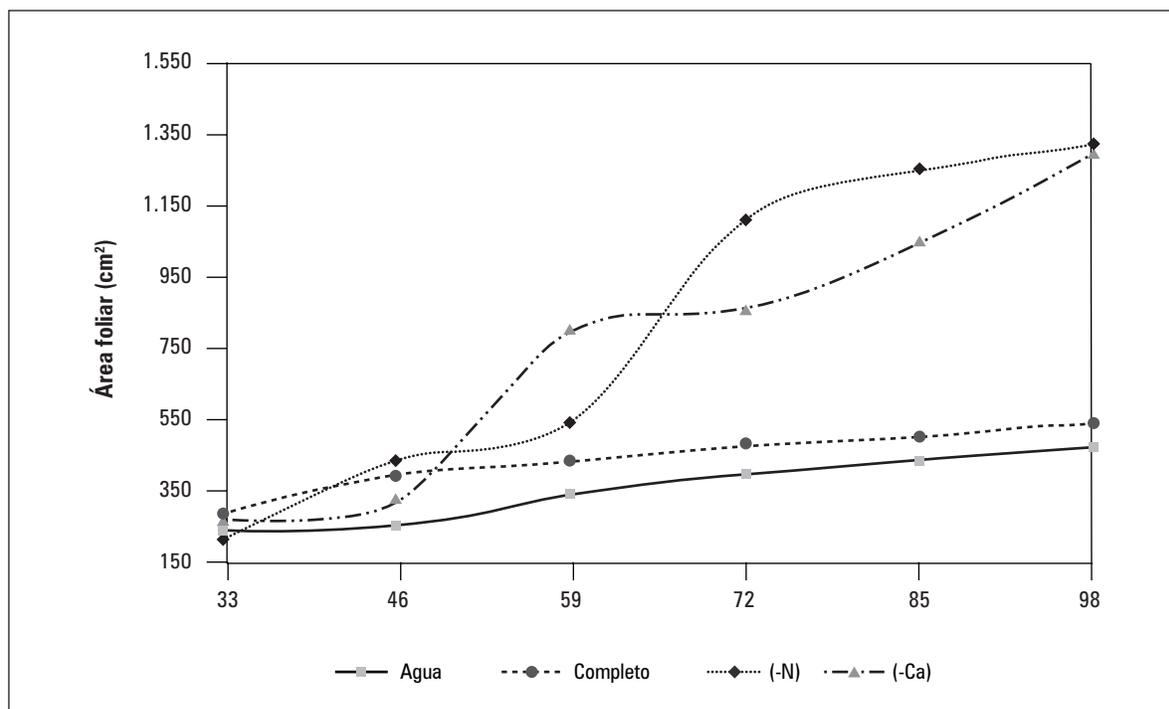
**Figura 1.** Número de hojas de plantas de guayaba sometidas a deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B, comparadas con fertilización completa o regadas solamente con agua. Promedios con letras distintas, por día de muestreo, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Mendoça *et al.* (2011) encontraron que plantas de maracuyá deficientes de boro presentaron superbrotación en las regiones apicales debido a la pérdida de dominancia apical, asociado con alteraciones morfológicas y cambio en la diferenciación de tejidos, que a su vez tiene efectos sobre el metabolismo de fenoles, los cuales se acumulan ante una deficiencia del elemento, teniendo efecto no solo en la inhibición de la elongación de la raíz, sino que también induce cambios morfológicos en el crecimiento de la planta (Alarcón, 2001).

### Área foliar

Las plantas sometidas a deficiencia de nitrógeno presentaron un comportamiento casi constante con tendencia a mantener valores bajos en su área foliar, de tal forma que, para el 33 ddt esta fue de 295,0 cm<sup>2</sup>, sin presentar ninguna variación con respecto a las plantas con fertilización completa; solo a partir del 46 ddt, las plantas del tratamiento de -N comenzaron a presentar

reducción de esta variable con 403,5 cm<sup>2</sup> con respecto a 443,7 cm<sup>2</sup> de las plantas sin carencia de nutrientes (figura 2), lo que representó un 9% menos ante la omisión de este macronutriente, la reducción aumentó a lo largo del periodo evaluado hasta alcanzar en el 98 ddt, 58,5%; esto, como resultado de los 547,6 cm<sup>2</sup> de área foliar de plantas del tratamiento -N, contra los 1.320,9 cm<sup>2</sup> de aquellas con fertilización completa. De igual manera se observó que aquellas plantas del tratamiento solo agua a los 46 ddt presentaron 41,2% menos de área foliar (246,6 cm<sup>2</sup>) mientras que a los 98 ddt se produjo incremento con lo que llegó hasta 63,9% que correspondió a 476,3 cm<sup>2</sup>. El comportamiento de esta variable pudo deberse principalmente a que, en la fase de desarrollo inicial, las plantas invierten más en la producción de biomasa de hojas, posiblemente para incrementar el área foliar y la tasa fotosintética y de esta forma la biomasa total de la planta (Dias *et al.*, 2008), lo cual tiene relación con una disminución en la emisión de hojas nuevas y un menor crecimiento de estas.



**Figura 2.** Área foliar de plantas de guayaba sometidas a deficiencia de N y Ca, comparadas con fertilización completa o regadas solamente con agua.

En contraste, aquellas plantas a las cuales no se les suministró calcio (-Ca) se destacaron por presentar la menor variación de área foliar con respecto al tratamiento de las plantas con fertilización completa, de tal forma que desde el 33 ddt hasta el 46 ddt mostraron valores bajos de área foliar partiendo de 277,0 cm<sup>2</sup> hasta alcanzar los 333,6 cm<sup>2</sup>, lo que correspondió a una disminución del 24,1%; posterior a ello, desde el 46 al 59 ddt se observó un incremento para finalmente entre el 72 al 98 ddt presentar aumento de la variable en todos los puntos muestrales, hasta llegar a los 1.297,9 cm<sup>2</sup> al final del experimento, en contraste con los 1320,9 cm<sup>2</sup> alcanzados en este mismo punto muestral por las plantas con fertilización completa, lo cual correspondió a tan solo 1,7% de reducción en este variable; la sintomatología de las plantas deficientes en calcio incluye la deformación de las hojas, reducción de tamaño, disminución en el número (Marschner, 2012).

Por otra parte, las plantas de los demás tratamientos presentaron menor reducción del área foliar al comparárseles con la presentada por las plantas de los tratamientos de solo agua y -N en comparación con los valores presentados por las pertenecientes al tratamiento de fertilización completa; -K (8%), -P (20%), -Mg (16%) y -B (5,4%). Este comportamiento pudo deberse al hecho de que estos elementos hacen parte de procesos y rutas metabólicas, en las cuales, la carencia de los mismos presenta efecto negativo sobre la generación y expansión del tejido foliar; pero no en la misma magnitud que la deficiencia de nitrógeno.

### Distribución de la masa seca por las plantas

En cuanto a la distribución de masa seca en las plantas, a los 98 ddt se observó que, aquellas plantas del tratamiento de -N tuvieron menor acumulación de materia seca en tallo y hojas con 22,34 y 12,58%, respectivamente, el restante (65%) correspondió a la acumulación por la raíz. De igual manera el tratamiento -P, las plantas acumularon un 50% en raíz, 30% en hojas y 20%

en tallo. Esta respuesta está posiblemente relacionada con bajas cantidades de fosfato inorgánico en el citosol que pueden disminuir la síntesis de ATP, afectación de la síntesis de la rubisco, generando disminución de las tasas de carboxilación y menor producción de carbohidratos en la hoja, y una mayor acumulación de materia seca en las raíces para favorecer la toma de P y así mitigar el efecto carencial de este nutriente (Wang *et al.*, 2002; Calderón y Moreno, 2009).

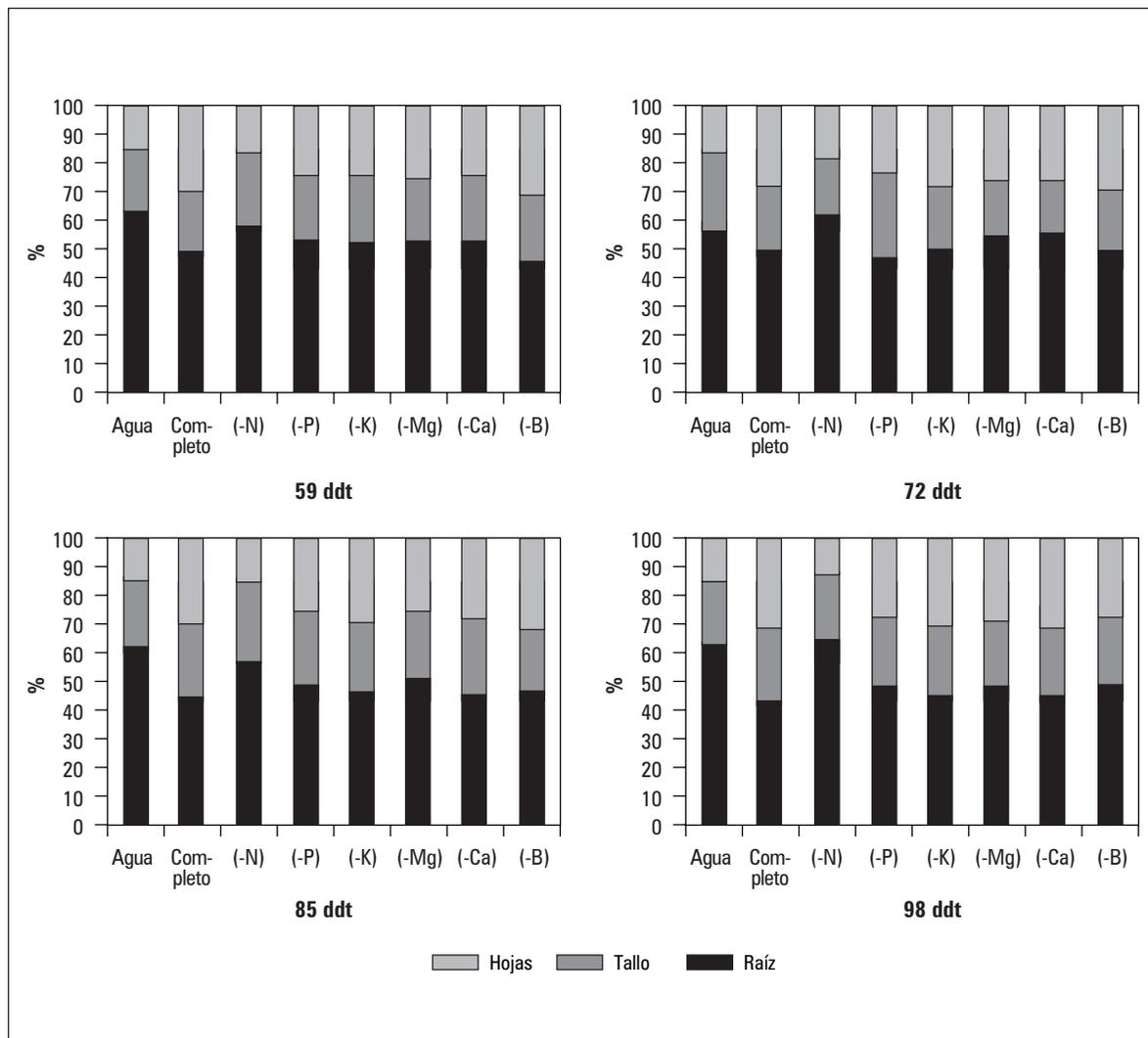
En plantas deficientes en N se produce una reducción de las tasas fotosintéticas como una consecuencia directa de la acumulación de azúcares, que supera la cantidad necesaria para lograr el equilibrio metabólico entre hojas y órganos demanda (Sinclair, 1990; Guo *et al.*, 2007). De forma general, las deficiencias de N y P inducen una acumulación de carbohidratos en las hojas, grandes cantidades de C distribuido a las raíces y un incremento en la relación alométrica raíz/parte aérea (Gutiérrez-Colomer *et al.*, 2006). Estas mismas deficiencias alteran varios eventos fisiológicos, especialmente la fotosíntesis, el metabolismo de azúcares y la asignación de fotoasimilados entre fuentes y demandas (Hermans *et al.*, 2006; Calderón y Moreno, 2009). La menor acumulación de masa seca en la raíz se presentó en el tratamiento -Ca, esto se debe posiblemente a que el Ca estimula la división celular en los ápices meristemáticos, facilitando la división celular, respuesta asociada con su papel en la síntesis de auxinas (Ridge, 1993; Marschner, 2012).

Las plantas a las que se les aplicó solo agua presentaron una distribución en tallo 21,12%, hojas 15,14% y en raíz 63,73%. Las plantas con fertilización completa fueron las que registraron una relación parte aérea: raíz más cercana, pues 25,13% fue distribuida hacia los tallos, 31,22% hacia las hojas y 43,64% hacia las raíces. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Fancinani *et al.* (2007), quienes encontraron en plántulas de guayaba cvs. Paluma y Século XXI, una distribución de materia seca de hojas (56%), tallo (29%) y raíces (15%), con lo que se podría

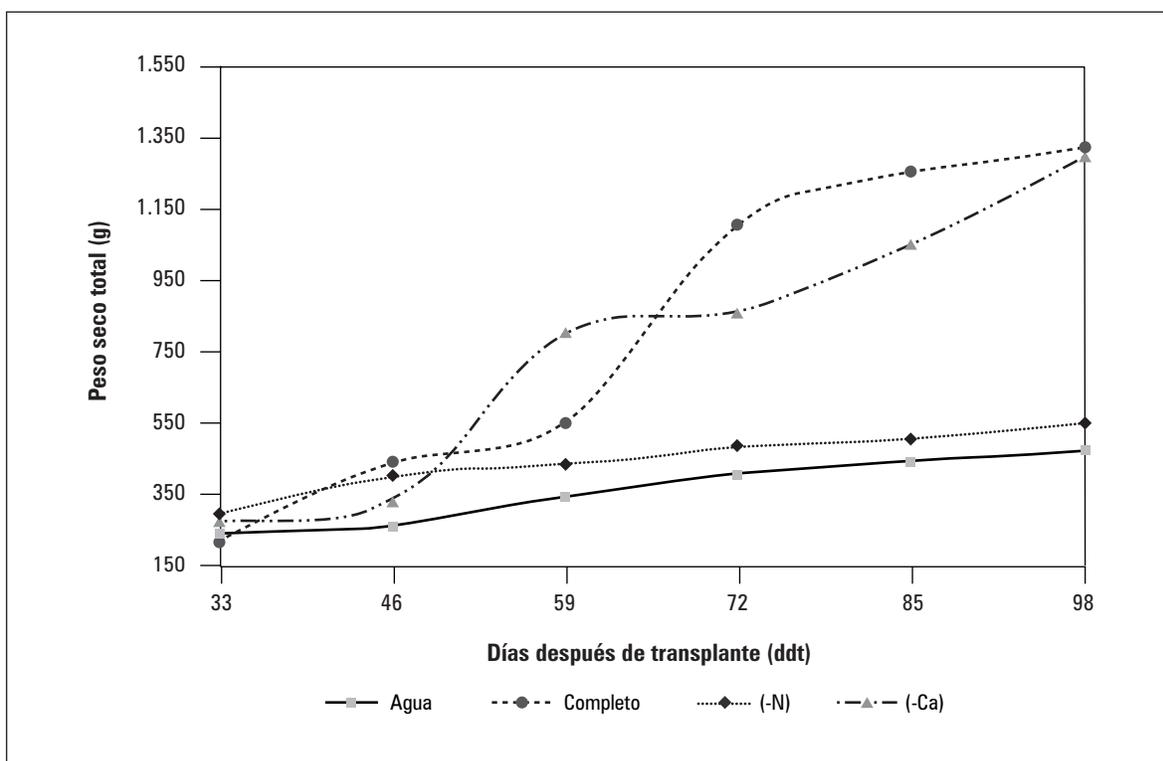
constatar que la mayor acumulación de materia seca en plántulas de guayaba en fase inicial bajo condiciones óptimas de fertilización; es decir, sin deficiencia de elementos esenciales para su crecimiento y desarrollo, se realiza en tejido foliar (figura 3). Uno de los mecanismos que utilizan las plantas para ajustar su metabolismo a la deficiencia de recursos exógenos es la modificación de los patrones de distribución de biomasa, en especial, almacenando reservas en los órganos requeridos para buscar y solventar los recursos limitantes (Marschner *et al.*, 1996; Yeh *et al.*, 2000).

### Masa seca total acumulada por la planta

La masa seca total acumulada por la plantas no presentó diferencias en respuesta a los tratamientos evaluados hasta los 59 ddt. En el periodo comprendido entre el 59 y 72 ddt, las plantas a las cuales solo se les aplicó agua y aquellas sometidas a deficiencia de nitrógeno (-N), presentaron una reducción de su masa seca acumulada del 25,8 y 16% respectivamente, mientras a los 98 ddt la reducción fue del 35 y 28,9% para estos mismos tratamientos (figura 4)



**Figura 3.** Distribución de masa seca, hojas, tallo y raíz en plantas de guayaba sometidas a deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B, comparadas con fertilización completa o regadas solamente con agua. ddt = días después de trasplante.



**Figura 4. Promedios de biomasa seca total acumulada en plantas de guayaba sometidas a deficiencia de N y Ca, comparadas con fertilización completa o regadas solamente con agua.**

Guo *et al.* (2007) y Lizarazo *et al.* (2013b) describen que cuando se presenta deficiencia en N en las plantas, estas pueden acumular azúcares y almidón en hojas y luego comenzar el transporte de sacarosa hacia las raíces, pudiéndose presentar disminución en la producción de fotoasimilados por efecto de la acumulación de carbohidratos de reserva en la hoja, además de un posible efecto negativo sobre la relación C/N, lo que generaría disminución del N utilizado para la regeneración de la rubisco, y como respuesta se generaría afectación en el proceso fotosintético; además de presentarse carencia de bases nitrogenadas las que impiden la activación de la división celular y acción de los genes (Hermans *et al.*, 2006; Guo *et al.*, 2007). Resultados similares fueron encontrados en plántulas de curuba (*Passiflora tripartita*) (Cabezas y Sánchez, 2008).

Así mismo, durante el periodo comprendido entre 33 a 59 ddt, las plantas sometidas a deficiencia de boro fueron las que registraron los

valores mayores, resultado que contradice lo encontrado por Lizarazo *et al.* (2013b), quienes encontraron que ante la deficiencia de boro las plantas de curuba presentaron menor acumulación de masa seca. Para el 72 ddt, no se evidenció reducción en la acumulación de masa seca total en la planta, pues presentaron 37,0 g/planta, en comparación de las plantas con fertilización completa (36,8 g/planta). De igual manera, a los 98 ddt, las plantas con carencia de boro presentaron una reducción del 1,6% con respecto a aquellas con fertilización completa que alcanzaron valores de 51,1 g/planta. Salvador *et al.* (2003), en un estudio realizado en plántulas de guayaba variedad nativa no especificada, corroboraron que el boro no se presenta como un nutriente que limite la producción en fase de vivero, debido a que no se presentó diferencias significativas en la acumulación de materia seca de la planta en función de la aplicación de seis diferentes dosis (0; 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5 y 3 mg L<sup>-1</sup>) de este nutriente.

Para las plantas de los tratamientos con deficiencia de los nutrientes P, K, Mg y Ca se presentó disminución en la acumulación de masa seca en comparación con las plantas del tratamiento de fertilización completa, sin embargo, la reducción no fue significativa comparada con la respuesta obtenida con el tratamiento (-N).

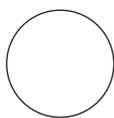
## CONCLUSIONES

El nutriente más limitante para el crecimiento y la acumulación de masa seca por las plantas de guayaba en fase de vivero (10 meses de edad) fue el N, ya que su carencia afectó negativamente el

número de hojas, el área foliar y la acumulación de masa seca por las plantas.

El efecto de la carencia total de nutrientes en plantas de guayaba en fase de vivero tuvo como efecto el retraso de crecimiento principalmente del número de hojas y del área foliar, pero no condujo a la muerte de estas.

En respuesta a los elementos carenciales, las plantas de guayaba respondieron con la redistribución diferencial de la masa seca hacia diferentes órganos, beneficiando la acumulación de la masa seca en raíces, seguida por las hojas y finalmente por el tallo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, A. 2001. El boro como nutriente esencial. Ediciones de horticultura. En: Horticom, <http://www.horticom.com/pd/imagenes/51/155/51155.pdf>; consulta: febrero de 2015.
- Bruulsema, T.W., P.E. Fixen y G.D. Sulewski (eds.). 2012. Plant nutrition manual: A manual for improving the management of plant nutrition, metric version. International Plant Nutrition Institute (IPNI), Norcross, GA.
- Benincasa, M.M.M. 2003. Análise de crescimento de plantas (Nociones básicas). 2º ed. FUNEP, Jaboticabal, Brasil.
- Cabezas, M. y C. Sánchez. 2008. Efecto de las deficiencias nutricionales en la distribución de la materia seca en plantas de vivero de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey). Agron. Colomb. 26, 197-204.
- Calderón, A. y E. Moreno. 2009. Producción de frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.) variedad Taiwan 1, utilizando diferentes programas de fertilización N-P-K. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Campbell, C.R. 2000. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services, Raleigh, NC.
- Chadha, L.K y M.R. Pandey. 1986. *Psidium guajava* L. pp. 287-293. En: Halevy, A.A. (ed.). Handbook of flowering. Vol. 5. CRC Press, New Delhi, India.
- Dias, L., R. Demello, D. Rozane y N. Freitas. 2008. Acúmulo de massa seca e marcha de absorção de nutrientes em mudas de goiabeira (Pedro sato). Bragantia 67(3), 577-587. Doi: 10.1590/S0006-87052008000300004
- Dussán C., S.L., D.A. Villegas y D. Miranda L. 2015. Análisis de crecimiento de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) var. ICA Palmira II sometidos a deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B en fase de vivero. Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 9(2), 209-221. Doi: 10.17584/rcch.2015v9i2.4176
- Facincani, C., R. Demello, L. Brachiroli y D. Rozane. 2007. Curva de crescimento e marcha de absorção de macronutrientes em mudas de goiabeira. R. Bras. Ci. Solo 31, 1429-1437. Doi: 10.1590/S0100-06832007000600020
- FAO. 2013. FAO statistics. FAO, Roma.
- Fischer, G., L.M. Melgarejo y D. Miranda. 2012. Guayaba. pp. 526-549. En: Fischer, G. (ed). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá.
- Flórez, V., D. Miranda, B. Chaves, L. Chaparro, C. Cárdenas y A. Farías. 2006. Parámetros considerados en el análisis del crecimiento en rosa y clavel en

- los sistemas de cultivo en suelo y en sustrato. pp. 43-51. En: Flórez, V., A. Fernández, D. Miranda, B. Chaves y M. Guzmán (eds.). Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Unibiblos, Bogotá.
- Fonseca de Souza, M., M. Queiroz, M. De Oliveira y R. Inácio. 2012. Omissão de macronutrientes em mudas de biribazeiro (*Rollinia mucosa* [Jacq.] Baill) cultivadas em solução nutritiva. Agron. Colomb. 30(1), 41-45.
- Guo, S., Y. Zhou, X. Gao, Y. Li y Q. Shen. 2007. New insights into the nitrogen form effect on photosynthesis and photorespiration. Pedosphere 17(5), 601-610. Doi: 10.1016/S1002-0160(07)60071-X
- Gutiérrez-Colomer, R.P., M.M. González-Real y A. Baille. 2006. Dry matter production and partitioning in rose (*Rosa hybrida*) flower shoots. Sci. Hortic. 107, 284-291. Doi: 10.1016/j.scienta.2005.08.003
- Havlin, J.L, J.D. Beaton, S.L. Tisdale y W.R. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers - An introduction to nutrient management. 6<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, New Jersey, NJ.
- Hermans, C., J. Hammond, P. White y N. Verbruggen. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation?. Trends Plant Sci. 11(12), 611-617. Doi: 10.1016/j.tplants.2006.10.007
- Hoagland, D.R. y D.I. Arnon. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, University of California, Berkeley, CA.61
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Unwin Hyman, London.
- IIFT (Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical). 2011. Instructivo técnico para el cultivo de la guayaba. La Habana.
- Kalaji, H., A. Oukarroum, V. Alexandrov, M. Kouzmannova, M. Brestic, M. Ziycak, IA. Samborska, MD. Cetner, SI. 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
- Lizarazo, M., C. Hernandez, G. Fischer y M. Gómez. 2013a. Response of the banana passion fruit (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) to different levels of nitrogen, potassium and magnesium. Agron. Colomb. 31, 44-54.
- Lizarazo, M., C. Hernández, G. Fischer y M. Gómez. 2013b. Biomasa, parámetros foliares y sintomatología en respuesta a diferentes niveles de manganeso, zinc y boro en curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*). Rev. Colomb. Cienc. Hort. 7, 31-45 . Doi: 10.17584/rcch.2013v7i1.2033
- Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição de plantas. Ceres, São Paulo, Brasil.
- Marschner, H.E., A. Kirkby e I. Cakmak. 1996. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. J. Exp. Bot. 47, 1255-1263 . Doi: 10.1093/jxb/47.Special\_Issue.1255
- Marschner, P. (ed.). 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3<sup>rd</sup> ed. Academic Press, London.
- Mendoça, M., P. Monnerat, A. Cordeiro y M. Da Silva. 2011. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro-doce. Rev. Bras. Frutic. 33(4), 1329-1349. Doi: 10.1590/S0100-29452011000400034
- MADR. 2007. Acuerdo nacional de competitividad cadena de la guayaba. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá.
- MINAG. 2011. Instructivo técnico del cultivo de la guayaba var. Enana Roja Cubana. Ministerio de la Agricultura. Ed. PALMA-PNUD, La Habana.
- Munson, R.D. y W.L. Nelson. 1986. Principles and practices in plant analysis. pp. 223-248. En: Walsh L.M. y J.D. Beaton (eds.). Soil testing and plant analysis. 6<sup>th</sup> Ed. SSSAJ, Madison, WI.
- Natale, W., E. Coutinho, A. Boaretto y F. Pereira. 1996. Goiabeira: Calagem e adubação. FUNEP, Jaboticabal, Brasil.
- Nava, A.D., V.A. González, P. Sánchez, C.B. Valdivia, M. Livera y T. Brito. 2004. Crecimiento y fenología del guayabo (*Psidium guajava* L.) cv. 'Media China' en Iguala. Rev. Fitotec. Mex. 27(4), 349-358.
- Norero, A.L. y M.A. Pilatti. 2002. Enfoque de sistemas y modelos agronómicos. Necesidades, métodos y objetos de estudio. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Prakash.D., P. Narayana-Swamy y S. Sondur. 2002. Analysis of molecular diversity in guava using RAPD markers. Hort. Sci. Biotech. 77, 287-293.
- Ridge, I. 1993. Plant physiology. Hodder & Stoughton and the Open University, Sevenoaks, UK.
- Salvador, J., A. Moreira, E. Malavolta y C. Cabral. 2003. Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. Ciênc. Agrotec. 27(2), 325-331. Doi: 10.1590/S1413-70542003000200011
- Salvador, J., A. Moreira y T. Muraoka. 1998. Deficiência nutricional em mudas de goiabeira decorrente da

- omissão simultânea de dois macronutrientes. *Pesq. Agropec. Bras.* 10(33), 1623-1631.
- Schachtman, D.P. y R. Shin. 2007. Nutrient sensing and signaling: NPKS. *Annu. Rev. Plant Biol.* 58, 47-69. Doi: 10.1146/annurev.arplant.58.032806.103750
- Sinclair, T.R. 1990. Nitrogen influence on the physiology of crops yield. pp. 41-55. En: Rabbinge, R., J. Goudriaan, H. van Keulen, F.W.T. Penning de Vries y H.H. van Laar (eds.). *Theoretical production ecology: reflections and prospects*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
- Singh, N. y C. Rajput. 1978. Effect of leaf age and position and fruiting status on guava leaf mineral composition. *J. Hort. Sci.* 53, 74-74. Doi: 10.1080/00221589.1978.11514797
- Viégas, I., M. Thomaz, J. Silva, E. Conceição y A. Naiff. M. 2004. Efeitos da omissão de macronutrientes e Boro no crescimento, nos sintomas de deficiência nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Rev. Bras. Frutic.* 26(2), 315-319. Doi: 10.1590/S0100-29452004000200032
- Wang, Y.-H., D.F. Garvin y L. Kochian. 2002. Rapid induction of regulatory and transporter genes in response to phosphorus, potassium, and iron deficiencies in tomato roots. Evidence for cross talk and root/rhizosphere-mediated signals. *Plant Physiol.* 130, 1361-1370. Doi: 10.1104/pp.008854
- Yeh, D.M., L. Lin y C.J. Wright. 2000. Effects of mineral nutrient deficiencies on leaf development, visual symptoms and shoot/root ratio of *Spathiphyllum*. *Sci. Hortic.* 86, 223-233. Doi: 10.1016/S0304-4238(00)00152-7

# Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) en respuesta al sombrío y anegamiento

## Biomass and root development response of lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) plants to shading and waterlogging



WILLIAM ANDRÉS CARDONA<sup>1, 5</sup>  
LUIS GABRIEL BAUTISTA-MONTEALEGRE<sup>2</sup>  
NIXON FLÓREZ-VELASCO<sup>3</sup>  
GERHARD FISCHER<sup>4</sup>

Plántula de lulo.  
Foto: G. Fischer

### RESUMEN

El cambio y la variabilidad climática incrementan los periodos de lluvias, generando inundaciones y/o anegamientos, los cuales impactan en el desarrollo fisiológico de las especies cultivadas. En lulo, aunque se recomienda su siembra bajo penumbra, se estudió el efecto del estrés por anegamiento en condiciones de sombrío bajo invernadero. Las plantas de lulo, de 10 semanas de edad, fueron sembradas en materas de plástico de 5 L con un sustrato suelo y arena cuarcítica en proporción 1:1 v/v, se determinó el efecto de 65% sombrío en los cuatro periodos del anegamiento de 0, 3, 6 y 9 días, más 9 días de recuperación c/u, sobre el desarrollo de la biomasa de planta y las raíces. El sombrío disminuyó la acumulación de biomasa en todos los órganos vegetativos, especialmente en las hojas (-22,7%). No se presentaron interacciones entre el sombrío y el anegamiento. La raíz resultó ser el órgano más afectado por los periodos de mayor anegamiento (6 y 9 días), con reducciones del diámetro del cuello radical, longitud de raíz pivotante y del volumen y peso seco de raíz, mientras que, en consecuencia, la relación de biomasa entre la parte aérea y la raíz se aumentó. Durante el periodo de recuperación de 9 días persistió el efecto negativo de la privación del oxígeno en la rizósfera y, más bien, se agravó todavía más para los variables volumen y longitud de la raíz.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Maestría en Ciencias Agrarias, Línea de Investigación en Suelos y Aguas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Maestría en Ciencias Agrarias, Línea de Investigación en Fitopatología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Maestría en Ciencias Agrarias, Línea de Investigación en Fisiología de Cultivos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

<sup>5</sup> Autor para correspondencia. [wacardona@unal.edu.co](mailto:wacardona@unal.edu.co)

**Palabras clave adicionales:** peso seco, cuello raíz, longitud raíz, relación parte aérea/raíz.

## ABSTRACT

Climate change and its variability increase rainy periods, generating flooding and waterlogging, which affect the physiological development of cultivated species. In lulo, although growth under shade is recommended, the effect of stress due to waterlogging was studied under conditions of partial shading in greenhouse. Young lulo plants were planted in 5 L plastic pots with soil and sand quartzite at a ratio of 1: 1 v/v as substrate. The effect of 65% shading and no shading during four periods of waterlogging, 0, 3, 6 and 9 days, and a recovery period of 9 days each on the development of plant biomass and roots was determined. The shading decreased biomass accumulation in all of the vegetative organs, especially the leaves (-22.7%). No interactions between the shading and waterlogging were measured. The root system proved to be the organ most affected by the periods of increased waterlogging (over 6 and 9 days), with reductions in the diameter of the root collar, length of taproot, volume and dry weight of roots, while; as a consequence, the shoot/root ratio of the biomass increased due to rhizosphere oxygen deprivation. During the recovery period of 9 days, the negative effect of the waterlogging persisted and was further aggravated for the volume and root length variables.

**Additional keywords:** dry weight, root collar, root length, shoot/root ratio.

Fecha de recepción: 08-03-2016

Aprobado para publicación: 14-05-2016

## INTRODUCCIÓN

El lulo (*Solanum quitoense* Lam.) es un arbusto tropical originario de los bosques húmedos de los Andes de Suramérica (Messinger y Lauerer, 2015), incluyendo a Colombia, Ecuador y Perú dentro del centro primario de su diversidad genética (Bonet y Cárdenas, 2012). Las dos variedades botánicas de lulo más importantes en Colombia son la *septentrionale* y la *quitoense*. La primera se caracteriza por la presencia de espinas en el tallo y en las hojas y por una mayor acidez de sus frutos, mientras la segunda variedad no presenta espinas y sus frutos son más dulces (Morton, 1987).

En Colombia y Ecuador es considerado como un producto importante en la canasta familiar y cuenta con un alto potencial agroindustrial en la obtención de pulpa, jugos, néctares y con-

centrados (González *et al.*, 2014; Flórez *et al.*, 2008). En 2014, la superficie sembrada en Colombia con este frutal fue de 9.829 ha, de las cuales se obtuvieron 80.313 t y un rendimiento promedio de 9,54 t ha<sup>-1</sup>, a partir de 8.418 ha cosechadas y los departamentos de Huila, Valle del Cauca, Antioquia, Santander, Boyacá y Caldas son los de mayor participación a nivel nacional (MADR, 2014).

Por ser una planta originaria de los bosques húmedos, presenta buena adaptación a regiones frescas y sombreadas, se presume que es una planta de semipenumbra, con ruta fotosintética C3 (Medina *et al.*, 2006). Por ello, se recomienda su siembra bajo penumbra natural o artificial (Bonet y Cárdenas, 2012). Sin embargo, como producto de la domesticación, se han establecido

cultivos comerciales en ambientes de alta iluminación y libre exposición, en especial en los materiales sin espinas (Medina *et al.*, 2006).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático reporta que el incremento en las precipitaciones, causadas principalmente por el calentamiento global resultado de las actividades humanas, tendrá un mayor impacto en las regiones tropicales como consecuencia del aumento del ciclo hidrológico mundial (Bailey-Serres y Voese-neck, 2008). En Colombia durante los años 2010 y 2011, el incremento de las precipitaciones, causadas por el fenómeno de La Niña, afectó seriamente las regiones Caribe y Andina del territorio; en dicha temporada, se registró la afectación del 87,5% de los departamentos del país (DANE, 2011).

Los periodos de anegamiento en periodos de alta pluviosidad o riego excesivo, unidos a un pobre drenaje del suelo (Pardos, 2004; Torres y Fischer, 2016) dificultan el desarrollo radical y la fisiología de las especies cultivadas, generando grandes pérdidas de producción agrícola en todo el mundo (Bailey-Serres *et al.*, 2012). Anegamiento e inundación conllevan a una saturación de los poros en el suelo con agua que normalmente están ocupados con aire (Lambers *et al.*, 2008). En consecuencia, en el suelo se presenta la reducción del oxígeno ( $O_2$ ) libre a cambio de la acumulación de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), que afecta el potencial redox del suelo, cambiando la disponibilidad de nutrientes como manganeso ( $Mn^{4+}$ ), hierro ( $Fe^{3+}$ ) y sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) e incrementando la solubilidad de metales tóxicos (Zeng *et al.*, 2013). Adicionalmente aumenta la producción de sustancias tóxicas como etanol, acetaldehído, compuestos cianógenos y etileno (Kozłowski, 1997). Por el lavado de las raíces se presenta una pérdida de nutrientes minerales como compuestos solubles de nitrógeno originando un desequilibrio nutricional debido a la actividad anaeróbica microbiana (Pardos, 2004).

La poca disponibilidad de  $O_2$  en el suelo anegado reduce la difusión del oxígeno disuelto el cual

solo queda disponible en una capa delgada ubicada cerca de la superficie (Taiz y Zeiger, 2010). Esta condición de hipoxia se ha convertido en un estrés abiótico importante que afecta el crecimiento, desarrollo, productividad e incluso la distribución de las especies (Kozłowski, 1997) y que muestra un fuerte efecto negativo sobre el crecimiento y la actividad fisiológica de las raíces (Pallardy, 2007).

La mayoría de las especies vegetales son susceptibles, a un mayor o menor grado, a esta adversidad y han desarrollado adaptaciones a estas condiciones anaeróbicas (Bailey-Serres y Voese-neck, 2008). Las plantas pueden llegar a tolerar el encharcamiento mediante mecanismos que implican el transporte y suministro de oxígeno a los órganos sumergidos, dentro de estos la formación de aerénquima y la inserción de raíces adventicias, cerca de la superficie del agua, son los más importantes (Moreno y Fischer, 2014). El aerénquima es un conjunto de canales que admite la difusión interna del oxígeno atmosférico y el proveniente de la fotosíntesis de las partes aéreas hacia las raíces anegadas favoreciendo la respiración aeróbica de este órgano vital para la planta (Yamauchi *et al.*, 2013).

La radiación solar es la fuente energética más importante para la asimilación del carbono y el crecimiento de la planta (Valladares y Niinemets, 2008), por lo cual cualquier reducción en esta causará efectos sobre la fotosíntesis y la tasa de crecimiento (Mielke y Schaffer, 2010).

Las plantas están frecuentemente limitadas por múltiples factores de estrés que operan de forma simultánea, en este sentido, las respuestas fisiológicas a efectos separados de anegamiento y sombrío sugieren que ambos factores interactúan de tal forma, que el efecto adverso del sombrío se amplificará en suelos anegados (Laan *et al.*, 1990). La interacción de estas dos condiciones puede afectar el crecimiento de plantas de forma independiente o interactuar haciendo que un factor reduzca y/o incremente el impac-

to de factores adicionales (Baracaldo *et al.*, 2014). Mommer *et al.* (2005) constataron que existen fuertes similitudes entre las respuestas de aclimatización a sombrío e inmersión en agua de las plantas.

Dada la importancia del cultivo de lulo para el sector frutícola colombiano y el poco conocimiento que existe en el estudio de la fisiología de esta especie en condiciones de variabilidad climática, así como la falta del entendimiento sobre los mecanismos como las plantas reaccionan a un suelo saturado de agua (Voesenek *et al.*, 2014), el presente estudio tuvo como objetivo determinar los efectos que causan el sombrío y el anegamiento sobre la formación de biomasa de los órganos de la planta y los componentes del desarrollo radical.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal y condiciones del experimento

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de cubierta plástica de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, localizado a 4°35'56"N y 74°04'51"W, con altitud de 2.556 m. El material vegetal utilizado consistió en plantas de lulo de 10 semanas de edad, propagadas por semilla. Cada planta fue trasplantada en una matera de plástico de 5 L de capacidad, que contenía como sustrato suelo tamizado y arena cuarcítica en proporción 1:1 v/v. Las propiedades físicas y químicas del sustrato empleado fueron: pH 5,2; CO 6,33%; N 0,55%; Ca 6,21; K 1,79; Mg 1,42 y Na 0,29 meq 100 g<sup>-1</sup>; P 37,2; Cu 0,20; Fe 47; Mn 4,57; Zn 1,45 y B 0,34 mg kg<sup>-1</sup>; Al 0,23 meq 100 g<sup>-1</sup>; CICE 9,94 meq 100 g<sup>-1</sup>; con textura franco arenosa.

Para el primer factor de estrés, el sombrío, los dos niveles fueron: (1) sin sombrío (SS) adicional, exponiendo las plantas a la radiación solar bajo la cubierta plástica del invernadero (66.69±1.1 lx)

y (2) con sombrío (CS), colocando las plantas en una cámara cubierta por todos los lados con polisombra negra, instalada a 1,5 m por encima de las plantas, que brindó un porcentaje de sombra del 65±4%, con una radiación de 29.94±3.4 lx.

Para el factor de anegamiento se probaron cuatro niveles correspondientes a diferentes tiempos de duración así: 0, 3, 6 y 9 d, con un tiempo de recuperación de 9 d. Para ello se cerraron herméticamente las aberturas de drenaje de las materas y mediante la adición de agua de riego se mantuvo permanentemente una lámina de 3 cm por encima del nivel del sustrato, durante los días de duración de cada tratamiento. El estrés por anegamiento se suspendió destapando los orificios de drenaje de las materas en los días antes mencionados.

Las condiciones de temperatura del aire fueron similares para las dos condiciones de sombrío, CS y SS; con 25,3 y 25,6°C, respectivamente, y la humedad relativa al interior de la cámara de polisombra fue superior con respecto al área sin sombrío, registrando valores de 61,2% y 25,7%, respectivamente.

### Parámetros del desarrollo radical

Se registró el diámetro del cuello de raíz empleando un calibrador Vernier digital 8 in, referencia 3416. Para determinar la longitud de la raíz pivotante se midió la longitud de estas mediante una cinta métrica, mientras que el volumen se calculó mediante un cilindro graduado (probeta) que contenía un volumen conocido de agua (250 mL), del cual se registró el volumen desplazado al sumergir las raíces evaluadas.

### Biomasa seca de los órganos

Se separaron las plantas en hojas, tallo y raíz, secando las muestras en un horno universal a 80°C durante 48 h, hasta peso constante, y posteriormente se registró el peso seco de las biomásas empleando una balanza de precisión.

## Relación entre la biomasa aérea/radical

Con los pesos obtenidos a partir de las estructuras separadas, se calculó la relación parte aérea/radical, esto mediante el cociente entre el peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz.

## Diseño experimental y análisis estadístico de los datos

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial. El primer factor corresponde a los periodos de anegamiento y recuperación y el segundo factor a sombrío, con tres repeticiones por tratamiento, donde cada una consistió de una planta individual en matera. Se comprobaron los supuestos mediante test de Levene y Shapiro-Wilk. Posteriormente, los datos se analizaron mediante ANAVA de dos vías. La prueba Tukey se utilizó para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables. Los datos fueron analizados usando Statistix v 9.0 (Analytical Software, Tallahassee, FL).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Sombrío

El análisis de varianza arrojó diferencias significativas en la reducción de la biomasa seca total

y de los órganos de la planta, así mismo como el diámetro del tallo basal, debido al 65% sombrío, mientras las otras variables no fueron afectadas por el factor luz (tablas 1 y 2). Este resultado refleja la importancia de la luz en la producción de biomasa a través de la fotosíntesis y la posterior translocación de los fotoasimilados (Taiz y Zeiger, 2010; Fischer *et al.*, 2012), lo que también concuerda con lo encontrado por Casierra-Posada *et al.* (2013) en plantas de lulo sombreados que redujeron en un 27,5% la tasa de asimilación neta (TAN).

Resultados similares observaron Mielke y Schaffer (2010) en el arbusto suramericano *Eugenia uniflora* que desarrolló mayores pesos secos de la parte aérea, raíz y peso seco total de 30%, 50% y 33% en plantas que recibieron plena luz, comparado con plantas bajo luz parcial (40,5 y 10,7 mol m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> de densidad del flujo fotosintético, respectivamente). Del mismo modo, Casierra-Posada *et al.* (2013) registraron en lulo una reducción del 27,3% en el peso seco total acumulado por las plantas que estuvieron cubiertas con una polisombra.

Es para considerar que aunque el sombrío fue del 65%, la biomasa total se redujo solamente en un 21%, mostrando la adaptación del lulo a ambientes de penumbra (Bonet y Cárdenas, 2012), pero, al mismo tiempo, confirmando sus altos rendi-

**Tabla 1. Resumen de análisis de varianza del efecto de los tratamientos de sombrío y anegamiento sobre variables de crecimiento en plantas de lulo.**

	Abrev.	Fuente de variación		
		Sombrío	Anegamiento	Sombrío x Anegamiento
Peso seco hoja	PSH	**	ns	ns
Peso seco tallo	PST	*	***	ns
Peso seco raíz	PSR	*	***	ns
Peso seco total	PSTL	**	ns	ns
Relación parte aérea raíz	A/R	ns	***	ns
Volumen raíz	VR	ns	***	ns
Longitud raíz	LR	ns	***	ns
Diámetro tallo	DT	**	***	ns

\*, \*\* y \*\*\* diferencias significativas en el nivel de probabilidad de 0,05; 0,01 y 0,001, respectivamente. NS, no significativo en  $\alpha=0,05$ .

mientos en ambientes de elevada luminosidad (Medina, 2006), lo que expresa la buena plasticidad fisiológica de esta planta a la disponibilidad de luz (Lavinski *et al.*, 2007) y, además, no se pudo confirmar lo reportado por Morton (1987) que el lulo no es adaptado a una plena luz solar. Sin embargo, en este contexto, vale mencionar que expresó Lobo (2000) que la plena exposición solar redujera el periodo productivo de la planta de lulo debido a una acelerada actividad metabólica.

La reducción del diámetro del tallo basal por la sombra está directamente relacionada con la menor acumulación de biomasa en este órgano (tabla 2), además, podría ser una consecuencia de menores tasas de translocación de carbohidratos hacia las raíces, necesitando un sistema vascular de menor diámetro, mientras en plantas no estresadas lumínicamente el tallo y las raíces reciben cantidades suficientes de carbohidratos, especialmente en la fase inicial del crecimiento de la planta (Fischer *et al.*, 2012). Hansen (1978) reporta tasas de flujo de fotoasimilados más altas en doseles de plantas de manzano a plena luz comparado con plantas sometidas a deficiente luz. También Dwivedi y Dwivedi (2012) resaltan que los cambios inducidos por baja intensidad lumínica pueden conllevar a un reducido flujo de carbohidratos hacia las raíces, interviniendo negativamente en la respiración y la actividad enzimática de este órgano y, así disturbando, por lo menos en parte, el metabolismo de toda la planta.

Como indica la tabla 1, entre sombrero y anegamiento no se registraron interacciones significa-

tivas ( $P > 0,05$ ). Tampoco Baracaldo *et al.* (2014) encontraron interacciones entre el sombrero de 56% y el anegamiento en tomates chonto durante 4, 8 y 12 d, sin embargo, con un enfoque funcional (usando el modelo de Gompertz), estos autores vieron una reducción de la biomasa seca total de las plantas sombreadas y anegadas durante 12 d, a partir del día 20 del inicio del anegamiento, comparado con los demás tratamientos.

### Anegamiento

El factor anegamiento mostró diferencias significativas ( $P \leq 0,001$ ) en seis de las ocho variables evaluadas (tabla 1), pero en el peso seco foliar que representa la mayor parte de la biomasa de la planta en la fase vegetativa (Medina *et al.*, 2006) y así, consecuentemente, en la biomasa total, la falta de oxígeno en la rizósfera no produjo efectos marcados (tabla 1).

### Diámetro del tallo basal

Con respecto al diámetro del cuello radical no hubo diferencias estadísticas en el desarrollo del grosor de este en las plantas no anegadas (control) durante los 9 d del estudio, sin embargo, las anegadas durante 6 y 9 d formaron tallos basales más gruesos ( $P \leq 0,05$ ) comparado con las del control o solamente anegadas por 3 d (figura 1A). También Flórez-Velasco *et al.* (2015) observaron en plantas de lulo anegadas un diámetro de tallo más grande que en las no anegadas, argumentando que esta respuesta se debe a la formación de tejido esponjoso (el aerénquima), el cual permite la difusión de gases, como el  $O_2$ , del

**Tabla 2. Efecto del sombrero sobre peso seco de la hoja (PSH), peso seco del tallo (PST), peso seco de la raíz (PSR), peso seco total (PSTL) y diámetro del tallo (DT) en plantas de lulo.**

Tratamiento	PSH (g)	PST (g)	PSR (g)	PSTL (g)	DT (mm)
Sin sombra	3,00 ± 0,16 a	2,18 ± 0,13 a	1,39 ± 0,12 a	6,60 ± 0,33 a	8,78 ± 0,31 a
Con sombra	2,32 ± 0,12 b	1,81 ± 0,10 b	1,08 ± 0,09 b	5,24 ± 0,26 b	7,56 ± 0,29 b
CV (%)	30,12	45,45	46,56	29,35	20,32

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Valores son promedios de tres repeticiones ± error estándar.

tallo aeróbico hacía las raíces hipóxicas/anóxicas en plantas anegadas e inundadas (Striker, 2012; Sairam *et al.*, 2008).

Estos mismos resultados los obtuvieron Núñez-Elisea *et al.* (1999) y Mielke *et al.* (2005) en plantas de *Annona glabra*, sometidas a más de 10 d de anegamiento, en contrario a Aldana *et al.* (2014) quienes observaron a 50 d una reducción de 2/3 del grosor del cuello radical en uchuva, anegadas durante 8 d, en comparación con las plantas no estresadas. Del mismo modo, Fernández *et al.* (1997) observaron en la variedad de manzano 'Jonnee', injertadas sobre tres diferentes portainjertos, una reducción del aumento del área transversal del tronco, 5 cm por encima del injerto en plantas anegadas durante 32 d, comparado con anegamientos más cortos.

Estos resultados, observados en las diferentes plantas estudiadas, confirman que la tolerancia al anegamiento depende mucho de la especie, además varía según la edad y fenología de la planta y la duración de las condiciones apóxicas/anóxicas (Kozlowski, 1997).

El mayor crecimiento en grosor del tallo, debido al estrés por 9 d de anegamiento, se perdió significativamente ( $P \leq 0,05$ ) en la recuperación de las plantas en los 9 d siguientes (figura 1A), posiblemente porque la planta ya no requería continuar con el desarrollo del tejido esponjoso (Flórez-Velasco *et al.*, 2015).

### Peso seco del tallo

Esta variable no mostró diferencias estadísticas entre el control y las plantas anegadas en las tres fechas de evaluación (figura 1B). Se presentó una tendencia de aumento de biomasa entre los 3 y 6 d del ensayo, con una ligera reducción en su acumulación hacía los 9 d. En las plantas de 3 d anegadas, su recuperación en los posteriores 9 d favoreció una mayor acumulación de masa seca ( $P \leq 0,05$ ) en el tallo, comparado con las plantas control (figura 1B). El efecto de la reducción de la

biomasa del tallo, como lo registraron Baracaldo *et al.* (2014) en tomate, anegados 8 y 12 d y Aldana *et al.* (2014) en uchuva, anegadas 6 y 8 d, no pudo ser observado en las plantas de lulo.

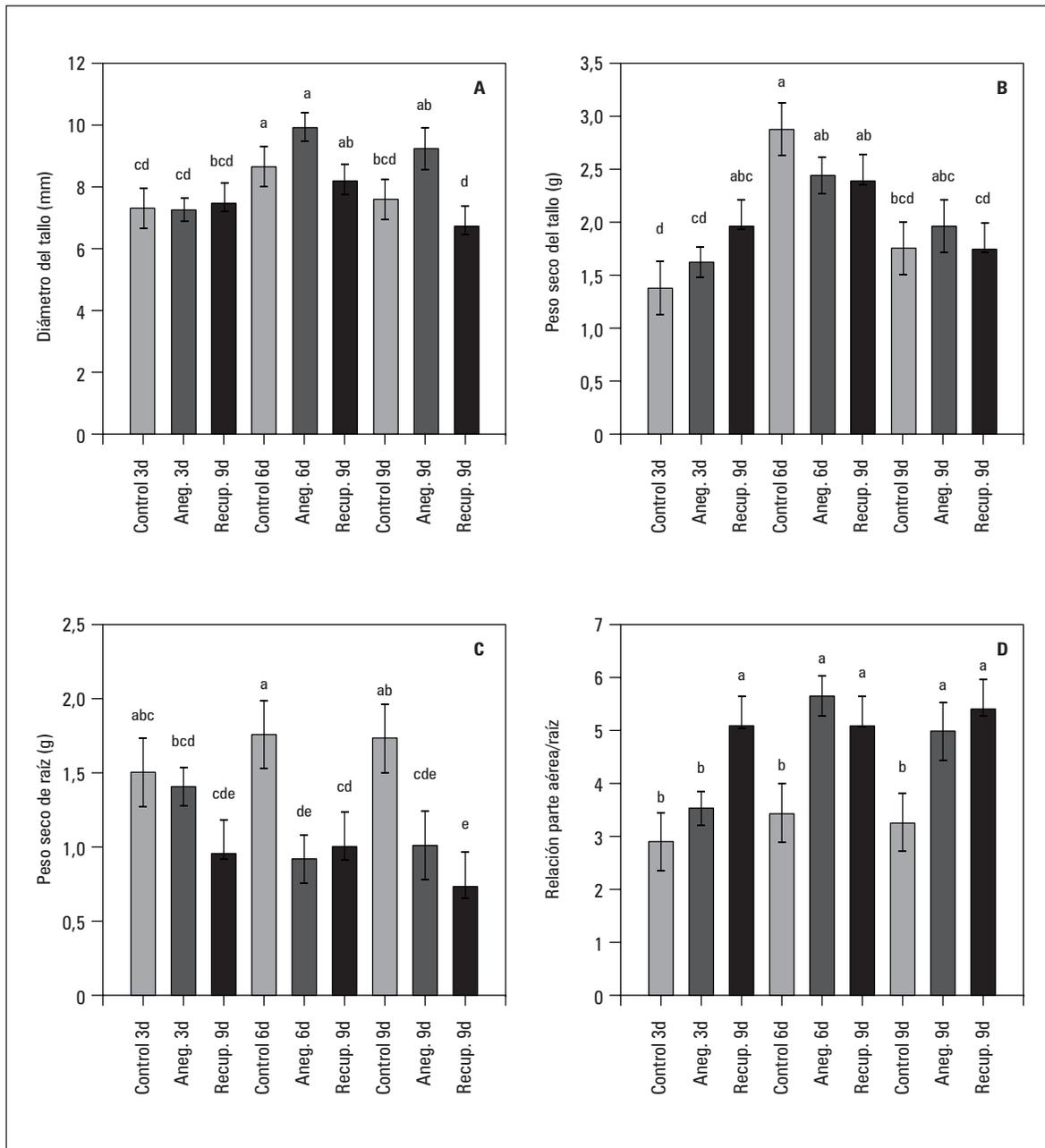
### Peso seco de la raíz

En la figura 3C se aprecia que las plantas sometidas a los periodos más largos de inundación (6 y 9 d) acumularon significativamente menor biomasa ( $P \leq 0,05$ ) en el sistema radical, en comparación con las plantas control. El efecto sobre la reducción de la biomasa radical fue tan grande, que las plantas no recuperaron en los 9 d posteriores (no anegadas) esta biomasa perdida (figura 3C).

Este resultado confirma que los daños más grandes en suelos anegados corresponden al sistema radical, debido a un suministro insuficiente de oxígeno (Yamauchi *et al.*, 2013; Khondaker y Ozawa, 2007). La hipoxia o incluso la anoxia en la rizósfera es la consecuencia inmediata del anegamiento (Sauter, 2013), teniendo en cuenta que la resistencia a la difusión de oxígeno es hasta 10.000 veces mayor en soluciones del agua que en el aire (Vartapedian y Jackson, 1997).

Por otro lado, las concentraciones mínimas de oxígeno en el suelo pueden causar efectos tóxicos debido a la síntesis de sustancias como etanol y acetaldehído en la ruta de la respiración anaeróbica (Kozlowski, 1997). Como reportan Jiménez *et al.* (2012), en este proceso de la acidificación citosólica, se produce ácido láctico que disminuye el pH de las células induciendo la síntesis del acetaldehído.

Debido a la respiración anaeróbica de las raíces que produce solamente 2 ATP, en comparación con los 36 ATP en condiciones aeróbicas, la falta de energía afecta gravemente el metabolismo de las células radicales (Dwivedi y Dwivedi, 2012). López y Del Rosario (1983) observaron una disminución de la respiración radical del 72% en



**Figura 1.** Efecto de tres periodos de anegamiento (3, 6 y 9 días con 9 días de recuperación c/u) sobre A) diámetro del tallo (corresponde al cuello radical), B) peso seco del tallo, C) peso seco de raíz y D) relación parte aérea/raíz en plantas de lulo. Valores son promedios de tres repeticiones  $\pm$  error estándar. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

plantas de tomate anegadas por 10 d. Steffens *et al.* (2005) concluyeron que la deficiencia de oxígeno en la rizósfera impide la síntesis de ATP, lo que conlleva a una muy baja toma de nutrientes, observado en el caso de trigo y avena.

Esta gran afectación del crecimiento radical por la hipoxia en la rizósfera coincide completamente con lo reportado por Larcher (2003) y lo encontrado por Fernández *et al.* (1997) en manzano por una disminución de la producción de nuevas

raíces y por Baracaldo *et al.* (2014) en tomate y Aldana *et al.* (2015) en uchuva, en estas dos especies el anegamiento disminuyó ampliamente la acumulación de biomasa seca de las raíces comparado con los otros órganos vegetativos de la planta.

En todas las variables medidas en el presente estudio, la recuperación de las plantas, finalizando los 9 d del anegamiento, no obtuvo resultados positivos, lo que concuerda con lo observado por Mielke y Schaffer (2010) en *Eugenia uniflora*, en la cual persistieron los efectos negativos de la hipoxia radical sobre la fotosíntesis y la acumulación de la biomasa.

### Peso seco total de la planta

No se presentaron diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ) por los tratamientos de anegamiento (5,49 g y 5,58 g en plantas anegadas y no anegadas, respectivamente), debido a que, sobre todo, la biomasa foliar (2,78 g y 2,69 g), la más abundante de la planta, tampoco fue influenciada significativamente ( $P > 0,05$ ) por la hipoxia en el sistema radical (tabla 1).

Resultados similares encontraron Flórez-Velasco *et al.* (2015) en plantas de lulo anegadas, que tuvieron una nutrición nitrogenada baja (10 mg L<sup>-1</sup>), mientras con una alta (110 mg L<sup>-1</sup>), estas plantas presentaron mayor tolerancia a la inundación y produjeron una biomasa total tres veces mayor que las con baja nutrición. Estos autores se refirieron por un lado, a una menor absorción de nitrógeno por las raíces y, por otro, midieron una menor eficiencia del fotosistema II (PSII) en las plantas anegadas con baja nutrición de N. También Mielke y Schaffer (2010) registraron una reducción de biomasa total en *Eugenia uniflora* anegada en “solamente” 27%, comparado con una masa seca menor de 58% en las raíces.

### Relación biomasa parte aérea/raíz

Debido al mayor crecimiento de la raíz al inicio del experimento, comparado con la parte aérea de la planta, las plantas anegadas mostraron a

los 3 d, una relación significativamente menor que las estresadas durante 6 y 9 d y esta relación fue también menor que en las plantas de recuperación después de los 3 d (figura 1D). También, por la afectación más grande de las raíces anegadas durante 6 y 9 d (figuras 1C y 2B), se presentó una alta relación parte aérea/raíz que superó significativamente la de las plantas control en estas dos evaluaciones (figura 1D).

Estos resultados coinciden con los encontrados en tomate (Baracaldo *et al.*, 2014) y uchuva (Aldana *et al.*, 2014) en los cuales se evidenció un fuerte aumento en la relación parte aérea/raíz cuando se incrementó la duración del anegamiento a partir de 8 y 6 d, respectivamente, sin embargo, Flórez-Velasco *et al.* (2015) observaron en plantas de lulo que la relación de peso seco entre la parte aérea y raíz no varió por efecto del estrés por anegamiento.

La alta proporción de la parte aérea/raíz en las plantas anegadas durante 6 y 9 d, que tampoco se disminuyó en los 9 d de recuperación, podría obedecer a la muerte del tejido radical por las condiciones de anoxia (Larcher, 2003) y del deficiente crecimiento de raíces nuevas (Moreno y Fischer, 2014), comparado con las plantas no anegadas. También Fischer y Orduz-Rodríguez (2012) afirman que en un suelo saturado de agua se mueren primero las raíces finas y fibrosas.

En los tejidos que sufren por las condiciones de hipoxia y todavía más por anoxia, Vartapetian y Jackson (1997), en su artículo de revisión, resumieron que las relaciones funcionales entre raíces y tallos están altamente disturbadas, y esto afecta gravemente la asimilación de carbohidratos y la utilización de los fotoasimilados de la planta.

### Longitud de raíz pivotante

Esta variable no fue influenciada significativamente por los tratamientos del anegamiento, sin embargo el efecto negativo y significativo

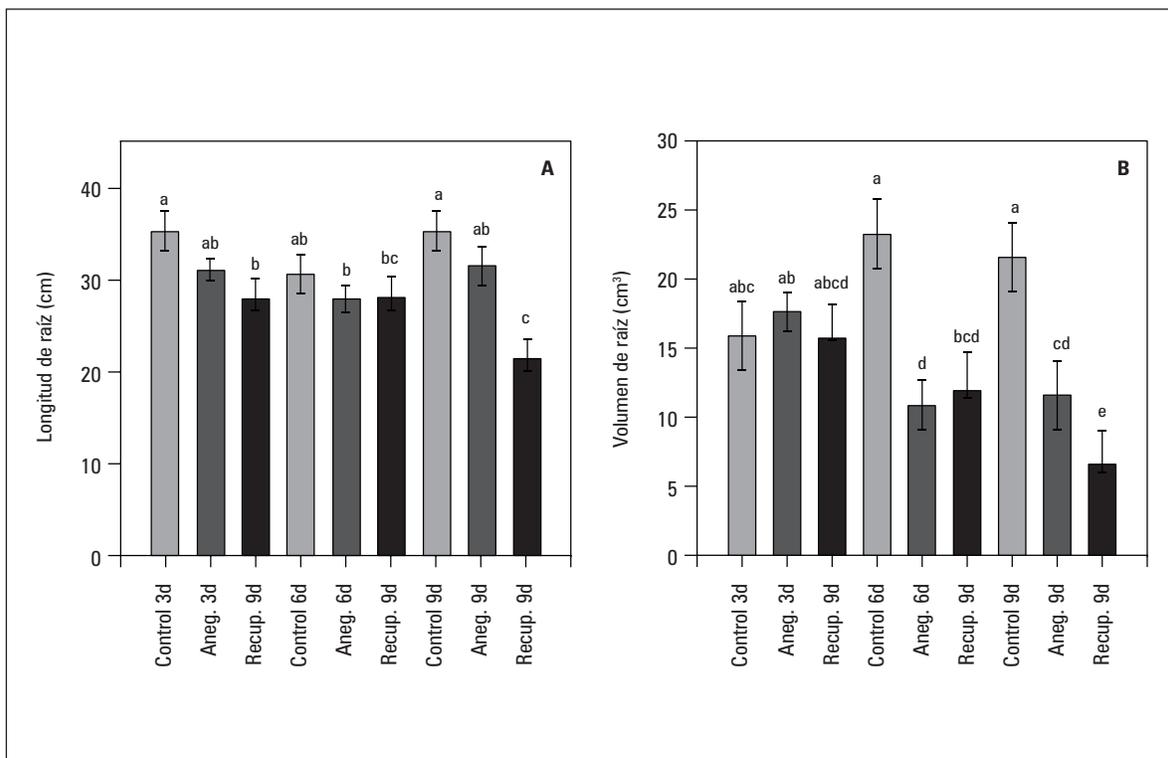
se presentó después de los 9 d de recuperación, sobre todo, en las plantas de 9 d anegadas (figura 2A). También Mielke y Schaffer (2010) encontraron en *Eugenia uniflora* reducciones de crecimiento que se acentuaron en el periodo de recuperación del anegamiento, especialmente causado, en primer lugar, por una disminución de la fotosíntesis.

El exceso de agua en el suelo crea deficiencias de oxígeno en la zona de raíz, pudiéndose disminuir su crecimiento normal (Khondaker y Ozawa, 2007) y, además, la mayor producción de etileno en las condiciones hipóxicas disminuye la elongación de este órgano (Lambers *et al.*, 2008). No se encontraron efectos más contundentes en esta variable, debido principalmente al hecho de que por tratarse de un muestreo destructivo, las raíces podrían haber sufrido un daño severo mecánico por la eliminación del suelo.

## Volumen de raíces

Como muestran las figuras 2B y 3, el volumen de raíz fue altamente afectado en los periodos de anegamiento de 6 y 9 d, con reducciones significativas ( $P \leq 0,05$ ) frente al control (53% y 46%, respectivamente). Este efecto negativo se aumentó ( $P \leq 0,05$ ) todavía más en el periodo de recuperación después de los 9 d (69%), posiblemente por el afectado mecanismo de apertura de estomas en plantas sensibles a la hipoxia (Pallardy, 2007).

Se supone que la severa afectación del volumen radical podría haber sido causado, sobre todo, por una muy baja absorción de agua y nutrientes, generado por una reducida concentración del oxígeno libre en la rizósfera (Kozłowski, 1997) y un cierre estomático que, en consecuencia, generó una menor fotosíntesis y translocación de



**Figura 2. Efecto de tres periodos de anegamiento (3, 6 y 9 días con 9 días de recuperación c/u) sobre A) longitud de raíz y B) volumen de raíz en plantas de lulo.** Valores son promedios de tres repeticiones  $\pm$  error estándar. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

carbohidratos (Najeeb *et al.*, 2015; Taiz y Zeiger, 2010) afectando la formación de biomasa en las raíces (figura 3). Además, en raíces de un suelo anegado o inundado, la falta de oxígeno inhibe el transporte electrónico mitocondrial, la oxidación de NADH y la mayoría de las síntesis de ATP (Mielke y Schaffer, 2010) afectando el desarrollo de este órgano. También, Sauter (2013) reporta que en condiciones anaeróbicas o anóxicas las reservas de almidón en las raíces son gastadas en poco tiempo, haciendo difícil hasta imposible para la planta mantener el crecimiento y las funciones radicales.

Para especies y variedades que no están suficientemente adaptadas al estrés por anegamiento, autores como Yetisir *et al.* (2005) en sandía y Fernández *et al.* (1997) en manzano recomiendan el uso de patrones cuyo sistema radical tolere mejor las condiciones de hipoxia.

## CONCLUSIONES

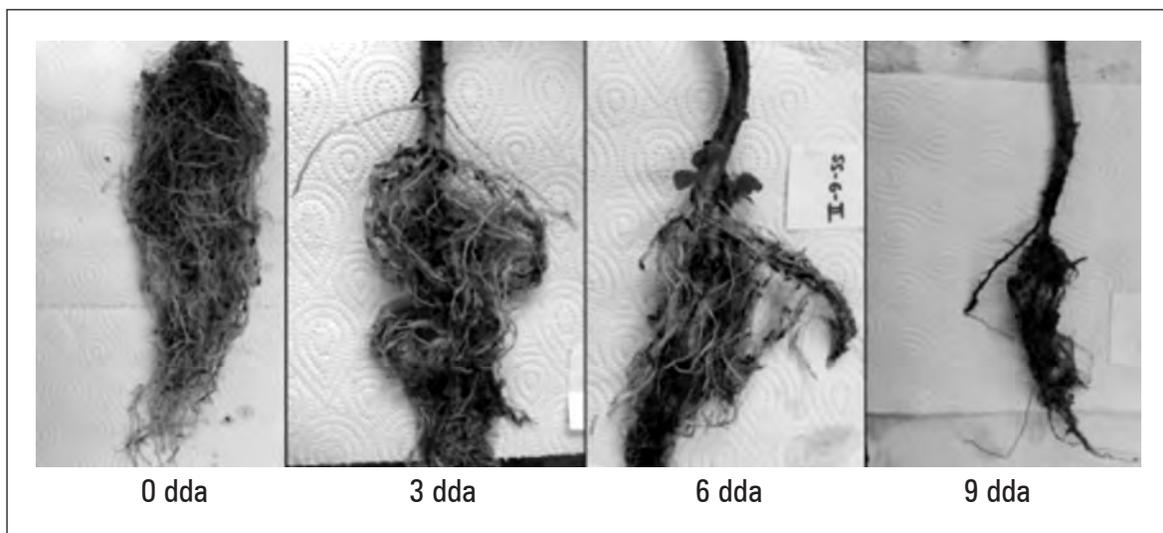
El sombrío del 65% de la luz incidente afectó la producción de biomasa en todos los órganos ve-

getativos de la planta, especialmente en las hojas que son por naturaleza muy grandes en el lulo.

No se presentaron interacciones entre el sombrío y el anegamiento. El factor sombrío posiblemente no modifica los efectos de estrés por anegamiento en plantas de lulo en las condiciones de este experimento

El anegamiento tuvo grandes afectaciones sobre las raíces, siendo el órgano directamente perturbado por la falta de oxígeno en la rizósfera, disminuyendo la biomasa seca y el volumen drásticamente con el aumento de la duración del estrés y, este efecto, por consiguiente, aumentó considerablemente la relación parte aérea/raíz.

El periodo de 9 d de anegamiento ocasionó un aumento en el efecto negativo del estrés en el crecimiento de plantas de lulo, como lo corrobora el periodo posterior de recuperación de 9 d que tuvo poco efecto positivo sobre las variables de crecimiento. Así mismo, este periodo de recuperación aumentó el efecto negativo del anegamiento en las variables volumen de raíz y longitud de la raíz en plantas de lulo.



**Figura 3. Apariencia de las raíces de plantas de lulo sometidas a cuatro períodos de anegamiento de 0, 3, 6 y 9 dda (días de anegamiento) y sin efecto de sombrío (0 dda).**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldana, F., P. García y G. Fischer. 2014. Effect of waterlogging stress on the growth, development and symptomatology of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 38(149), 393-400. Doi: 10.18257/raccefyn.114.
- Bailey-Serres, J., S.C. Lee y E. Brinton. 2012. Waterproofing crops: effective flooding survival strategies. *Plant Physiol.* 160, 1698-1709. Doi: 10.1104/pp.112.208173
- Bailey-Serres, J. y L. Voisenek. 2008. Flooding stress: Acclimations and genetic diversity. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 313-39. Doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092752
- Baracaldo, A., R. Carvajal, A. Romero, A. Prieto, F. García, G. Fischer y D. Miranda. 2014. El anegamiento afecta el crecimiento y producción de biomasa en tomate chonto (*Solanum lycopersicum* L.), cultivado bajo sombrío. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 8(1), 92-102. Doi: 10.17584/rcch.2014v8i1.2803
- Bonet, J. G. y J. F. Cárdenas. 2012. Lulo (*Solanum quitoense* Lam.). pp. 604-621. En: Fischer, G. (ed.) Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá.
- Casierra-Posada, F., K. Pe-a-Olmos, J. Pe-alozza y G. Roveda. 2013. Influencia de la sombra y de micorrizas sobre el crecimiento de plantas de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Rev. UDCA Act. & Div. Cient.* 16(1), 61-70.
- DANE. 2011. Reporte final de áreas afectadas por inundaciones 2010-2011. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. Bogotá.
- Dwivedi, P. y R.S. Dwivedi. 2012. Physiology of abiotic stress in plants. Agrobios, Jodhpur, India.
- Fernández, R., R. Perry, J. Flore y R. McLean. 1997. Photosynthesis, C-photosynthate distribution and shoot and root growth of young apple trees on 3 rootstocks exposed to flooding. *Acta Hort.* 451, 351-359. Doi: 10.17660/ActaHortic.1997.451.41
- Fischer, G., P.J. Almanza-Merchán y F. Ramírez. 2012. Source-sink relationships in fruit species. A review. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 6(2), 238-253. Doi: 10.17584/rcch.2012v6i2.1980
- Fischer, G. y J. Orduz-Rodríguez. 2012. Ecofisiología en frutales. pp. 54-72. En: Fischer, G. (ed.) Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá.
- Flórez, S.L., D. Miranda Lasprilla, B. Chaves, G. Fischer y S. Magnitskiy. 2008. Growth of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) plants affected by salinity an substrate. *Rev. Bras. Frutic.* 30(2), 402-408. Doi: 10.1590/S0100-29452008000200023
- Flórez-Velasco, N., H.E. Balaguera-López y H. Restrepo-Díaz. 2015. Effects of foliar urea application on lulo (*Solanum quitoense* cv. *septentrionale*) plants grown under different waterlogging and nitrogen conditions. *Sci. Hortic.* 186, 154-162. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.02.021
- González, D., L. Ordóñez, P. Vanegas y H. Vásquez. 2014. Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta Agron.* 63(1), 11-17. Doi: 10.15446/acag.v63n1.31717
- Hansen, P. 1978. Blatt/Frucht-Verhältnisse, Assimilatverteilung und Fruchtentwicklung. *Erwerbsobstbau* 20, 228-231.
- Khondaker, N.A. y K. Ozawa. 2007. Papaya plant growth as affected by soil air oxygen deficiency. *Acta Hort.* 740, 225-232. Doi: 10.17660/ActaHortic.2007.740.27
- Kozłowski, T.T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiol. Monogr.* 1, 1-29. Doi: 10.1093/treephys/17.7.490
- Laan, P., M. Tosserams, C.W.P.M. Blom y B.W. Veen. 1990. Internal oxygen transport in *Rumex* species and its significance for respiration under hypoxic conditions. *Plant Soil* 122, 39-46. Doi: 10.1007/BF02851908
- Lambers, H., F.S. Chapin III y T.L. Pons. 2008. Plant physiological ecology. 2<sup>nd</sup> ed. Springer, New York, NY. Doi: 10.1007/978-0-387-78341-3
- Larcher, W. 2003. Physiological plant ecology. Springer-Verlag, Berlin. Doi: 10.1007/978-3-662-05214-3
- Lavinsky, A.O., C.d.S. Sant'Ana, M.S. Mielke, A.A.F. de Almeida, F.P. Gomes, S. Franca y D.d.C. Silva. 2007. Effects of light availability and soil flooding on growth and photosynthetic characteristics of *Genipa americana* L. seedlings. *New Forests* 34, 41-50.
- Lobo, M. 2000. Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. pp. 27-36. En: Memorias 3er Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Corpoica, Manizales, Colombia.
- López, M.V. y D.A. del Rosario. 1983. Performance of tomatoes (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karsten) un-

- der waterlogged conditions. *Philippine J. Crop Sci.* 8(2), 75-80.
- MADR. 2014. Estadística agropecuaria 2007-2014. Grupo de Estadísticas e Información Sectorial. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá.
- Medina, C.I., E. Martínez, M. Lobo, J.C. López y N. Riano. 2006. Comportamiento bioquímico y del intercambio gaseoso del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) a plena exposición solar en el bosque húmedo montano bajo del oriente antioqueño colombiano. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 59(1), 3123-3146.
- Messinger, J. y M. Lauerer. 2015. *Solanum quitoense*, a new greenhouse crop for Central Europe: Flowering and fruiting respond to photoperiod. *Sci. Hortic.* 183, 23-30. Doi: 10.1016/j.scienta.2014.11.015
- Mielke, M.S., E.M. Matos, V.B. Couto, A.-A.F. de Almeida, F.P. Gomes y P.A.O. Mangabeira. 2005. Some photosynthetic and growth responses of *Annona glabra* L. seedlings to soil flooding. *Acta Bot. Bras.* 19, 905-911. Doi: 10.1590/S0102-33062005000400025
- Mielke, M.S. y B. Schaffer. 2010. Photosynthetic and growth responses of *Eugenia uniflora* L. seedlings to soil flooding and light intensity. *Environ. Exp. Bot.* 68,113-121. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2009.11.007
- Mommer, L., H. de Kroon, R. Pierik, G.M. Bögemann y E.J.W. Visser. 2005. A functional comparison of acclimation to shade and submergence in two terrestrial plant species. *New Phytologist* 167, 197-206. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01404.x
- Moreno, A. y G. Fischer. 2014. Efectos del anegamiento en los frutales. Una revisión. *Temas Agrarios* 19(1), 108-125.
- Morton, J. 1987. Naranja (*Solanum quitoense* Lam., *Solanum angulatum* Lam.). pp. 425-428. En: Dowling, C.F. (ed.). *Fruits of warm climates*. Creative Resources Systems, Inc., Miama, FL.
- Najeeb, U., M.B. Bange, D.K.Y. Tan y B.J. Atwell. 2015. Consequences of waterlogging in cotton and opportunities for mitigation of yield losses. *AoB Plants* 7. Doi: 10.1093/aobpla/plv080
- Núñez-Elisea, R., B. Schaffer, J.B. Fisher, A.M. Colls y J.H. Crane. 1999. Influence of flooding on net CO<sub>2</sub> assimilation, growth and stem anatomy of *Annona* species. *Ann. Bot.* 84, 771-780. Doi: 10.1006/anbo.1999.0977
- Pallardy, S.G. 2007. *Physiology of woody plants*. 3ª ed. Academic Press, San Diego, CA.
- Pardos, J. 2004. Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo. *Invest. Agrar: Sist. Recur. For.* (Fuera de serie), 101-107.
- Sairam, R.K., D. Kumutha, K. Ezhilmathi, P.S. Deshmukh y G.C. Srivastava. 2008. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. *Biol. Plant.* 52(3), 401-412. Doi: 10.1007/s10535-008-0084-6
- Sauter, M. 2013. Root response to flooding. *Curr. Opin. Plant Biol.* 16, 282-286. Doi: 10.1016/j.pbi.2013.03.013
- Steffens, D., B.W. Hütsch, T. Eschholz, T. Lošák y S. Schubert. 2005. Water logging may inhibit plant growth primarily by nutrient deficiency rather than nutrient toxicity. *Plant Soil Environ.* 51(12), 545-552.
- Striker, G.G. 2012. Flooding stress on plants: anatomical, morphological and physiological responses. pp. 3-28. In: *Botany*. InTech, Rijeka, Croacia.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2010. *Plant physiology*. 3ª ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Torres, C., G. Fischer y D. Miranda. 2016. Principales fisiopatías del cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). pp. 139-146. En: Miranda, D., C. Carranza y G. Fischer (eds.). *Problemas de campo asociados al cultivo de uchuva (Physalis peruviana L.)*. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Valladares, F. y U. Niinemets. 2008. Partial sunlight tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 39, 237-257. Doi: 10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506
- Vartapetian, B.B. y M.B. Jackson. 1997. Plant adaptations to anaerobic stress. *Ann. Bot.* 79, 3-20. Doi: 10.1093/oxfordjournals.aob.a010303
- Vidoz, M.L., F. Mignolli, H.T. Aispuru, L.A. Mroginski. 2016. Rapid formation of adventitious roots and partial ethylene sensitivity result in faster adaptation to flooding in the aerial roots (aer) mutant of tomato. *Sci. Hortic.* 201, 130-139. Doi: 10.1016/j.scienta.2016.01.032
- Zeng, F., L. Shabala, M. Zhou, G. Zhang y S. Shabala. 2013. Barley responses to combined waterlogging and salinity stress: separating effects of oxygen deprivation and elemental toxicity. *Frontiers Plant Sci.* 4(313). Doi: 10.1093/treephys/tpv089
- Yamauchi, T., S. Shimamura, M. Nakazono y T. Mochizuki. 2013. Aerenchyma formation in crop species: A review. *Field Crops Res.* 152, 8-16. Doi: 10.1016/j.fcr.2012.12.008
- Yetisir, H., M.E. Caliskan, S. Soylu y M. Saka. 2006. Some physiological and growth responses of watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai] grafted onto *Lagenaria siceraria* to flooding. *Environ. Exp. Bot.* 58, 1-8. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2005.06.010

# Efecto de ácidos hidroxicarboxílicos en la biorregulación del estrés causado por herbicidas en el cultivo de tomate

Effect of hydroxy-carboxylic acids on the bio-regulation of stress caused by herbicides in tomato crops

JORGE A. RODRÍGUEZ<sup>1</sup>  
GUIDO PLAZA<sup>2, 3</sup>

**Establecimiento de plantas de tomate.**

Foto: Jorge A. Rodríguez



## RESUMEN

La pérdida de selectividad de los herbicidas es un riesgo permanente y relevante en cultivos de alto valor; motivo por el cual es importante contar con alternativas que permitan mitigar su efecto en la fisiología del estrés en estos cultivos. Se llevó a cabo un experimento en invernadero y otro en condiciones de campo, evaluando el comportamiento de ácidos hidroxicarboxílicos, como biorreguladores orgánicos en plantas de tomate tratadas con aplicación foliar de Metsulfuron-metil y Metribuzina a dosis comercial y sobredosis. En la etapa de invernadero, se evaluó la eficiencia cuántica, contenido de clorofilas, conductancia estomática e intercambio de CO<sub>2</sub>; en campo, se caracterizó el desarrollo foliar, crecimiento de raíces, tasa de asimilación neta (TAN), tasa relativa de crecimiento (TRC) y rendimiento del cultivo bajo un sistema de producción convencional. La aplicación de Metsulfuron-metil (comercial y sobredosis) no alteró significativamente el contenido de clorofilas ni la conductancia estomática; sin embargo, disminuyó en 80% y 100% la eficiencia cuántica e intercambio de CO<sub>2</sub> respectivamente, lo cual fue mitigado por la aplicación del biorregulador. Los ácidos hidroxicarboxílicos también evitaron la disminución del crecimiento de raíces y recuperaron la TAN y TRC durante el primer mes de evaluación, propiciando mayor llenado de fruto. Metribuzina afectó significativamente el intercambio de CO<sub>2</sub> durante los primeros 15 días después de aplicación de los tratamientos (dda); la aplicación en sobredosis afectó la eficiencia cuántica a partir de 7 dda y causó defoliación a partir de 30 dda, lo que estuvo ligado con un descenso del 20% en producción. Los biorreguladores disminuyeron el estrés causado por sobredosis de Metribuzina y con el uso se alcanzaron valores similares a las plantas testigo en todas las variables analizadas.

<sup>1</sup> Comercial Agroorient S.A.S., Bogotá (Colombia).

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

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

**Palabras clave adicionales:** Metsulfuron-Metil, Metribuzina, flujo de electrones, ALS, ciclo de Krebs, ciclo de Calvin.

## ABSTRACT

Losing herbicide selectivity is a permanent risk in high-value crops, which is why it is important to have alternatives that mitigate the effect on the physiology of stressed crops. A greenhouse and a field experiment were performed to evaluate the behavior of hidroxy-carboxylic acids (HCA) as an organic bio-regulator in tomato plants that were treated with Metsulfuron-Metil and Metribuzine at regular and excessive doses. In the greenhouse experiment, the quantum efficiency (Fv/Fm), chlorophyll content, stomatal conductance and CO<sub>2</sub> exchange were evaluated; in the field experiment, we evaluated the foliar area, root growth, net assimilation rate (NAR), relative growth rate (RGR) and yield. Statistically, the Metsulfuron-metil (regular and excessive rates) did not affect the chlorophyll content, but it decreased the quantum efficiency and CO<sub>2</sub> exchange in 80% and 100% of the plants, which was alleviated by the bio-regulator application. During the first month after the application, the hidroxy-carboxylic acids did not have the decreased root growth that was seen after the Metsulfuron application, and aided in the recovery of the NAR and RGR, resulting in a better fruit set. The Metribuzine affected the CO<sub>2</sub> exchange significantly during 15 days after the application (daa) of treatments whereas the excessive dose application impacted the quantum efficiency for 7 daa and was responsible for leaf fall at 30 daa and 20% less production. All of the excessive Metribuzin dose injuries were mitigated by the bio-regulator application, reaching similar values as the control plants.

**Additional keywords:** Metsulfuron-Metil, Metribuzine, electron flux, ALS, Krebs cycle, Calvin cycle.

Fecha de recepción: 18-12-2015

Aprobado para publicación: 14-05-2016

## INTRODUCCIÓN

La FAO clasifica al tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como la hortaliza más importante en el mundo, ocupando cerca de 4 millones de hectáreas al igual que estima para 2013 una producción anual de 683.538 t en aproximadamente 16.700 ha, convirtiendo a esta hortaliza en el producto más importante en volumen (Faostat, 2013).

La fitoprotección del cultivo incluye el manejo de artrópodos, hongos y plantas no deseadas. La presencia de malezas durante los primeros 45 días (d) después de trasplante afecta la calidad y el rendimiento hasta en un 90% (Adigun, 2005) por lo cual es necesario un plan de manejo integrado.

Las solanáceas, incluyendo el tomate, son plantas susceptibles a los herbicidas, por lo cual las

posibilidades de daño al cultivo son permanentes, debido tanto a la baja selectividad como al manejo y la aplicación del producto (Ormeño *et al.*, 2002).

En Colombia, el manejo de malezas en el sistema de producción de tomate comprende el uso de prácticas culturales como desyerbas, aporques y aplicación de Metribuzina como la única molécula selectiva registrada en el país ante el ICA para el control de especies latifoliadas en pos-trasplante del cultivo (ICA, 2016)

De otro lado, la investigación para el uso de otros herbicidas ha sido extensa en países de mayor producción de tomate. En Chile, buscando alternativas para la rotación de Metribuzina, se

ha evaluado el uso de halosulfuron-metil, el cual causa daños temporales en follaje, con posterior recuperación a los 21 días después de aplicación (Ormeño *et al.*, 2002). Jennings (2010) evaluó sulfonilureas en Carolina del Norte, encontrando que imzasulfuron, halosulfuron y trifloxisulfuron no presentaban efectos negativos sobre la producción, a diferencia de lo comentado por Dittmar *et al.* (2012) quienes evaluando los mismos herbicidas en postrasplante reportan daños en las plantas de cultivo entre 20% y 50% afectando el crecimiento, tras la aplicación en postrasplante de estas moléculas.

Halosulfuron, imzasulfuron y trifloxiulfuron son herbicidas del grupo de las sulfonilureas que inhiben la ALS (acetato-lactato sintetasa), la cual es la primera enzima que cataliza la biosíntesis de los aminoácidos valina, leucina e isoleucina, esenciales en el desarrollo vegetal y cuya biosíntesis ocurre principalmente en meristemos, razón por la cual, inicialmente se observan síntomas de daño en tejidos nuevos como la disminución en crecimiento y clorosis (Zhou *et al.*, 2007).

Metribuzina, por su parte, es un herbicida del grupo de las triazinas que afecta la actividad del fotosistema II (PSII), inhibiendo la proteína D1, lo que causa disminución del flujo de electrones y daño oxidativo en el fotosistema, generando estrés de tipo fotoquímico (Idedan *et al.*, 2011).

Este daño puede ser causado en plantas de tomate, bien sea porque se pierde la selectividad por mecanismo de acción en el caso de Sulfonilureas o por sobredosis en el caso de Metribuzina, y para contrarrestarlo existe la alternativa de utilizar ácidos orgánicos, los cuales han demostrado mitigar el efecto negativo del estrés causado por condiciones adversas sobre la producción (El-Ghamry *et al.*, 2009).

Slapakauskas *et al.* (2006) comentaron que los ácidos carboxílicos son una alternativa utilizada para mejorar las características fisiológicas de plantas, optimizando la fotosíntesis e incre-

mentando la formación de raíces adventicias, propiciando plantas menos susceptibles y con mayores rendimientos. De igual manera, se reporta que la aplicación de estos ácidos ha aumentado la concentración de clorofilas, logrando incrementar la fotosíntesis en plantas de trigo estresadas (Bahari *et al.*, 2013).

Recientemente se ha investigado el uso de ácidos hidroxicarboxílicos de origen bacteriano. Meike (2008) describe el proceso de producción mediante fermentación bacteriana como potencial activador del metabolismo vegetal a través de diferentes vías: como reguladores del pH celular, lo que protege la actividad enzimática (Mackowiak *et al.*, 2001); como inductores de la síntesis de polioles que hidratan las células y actúan como precursores de azúcares neutros (Kudrev y Petrova, 1975); como reguladores de los canales de  $Ca^{2+}$  y transporte de ADN en la célula (Dawes y Senior, 1973) y como precursores de la translocación de asimilados, propiciando mejor formación de raíces y mayores rendimientos (Slapakauskas *et al.*, 2006; Higa y Kinjo, 1991).

En este trabajo se evaluó el efecto de ácidos hidroxicarboxílicos, producidos a partir de la fermentación de cascarillas agrícolas, como biorreguladores del estrés causado por Metsulfuron-metil (Sulfonilurea) y Metribuzina (Triazina) aplicados en postrasplante del cultivo de tomate.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Intercambio gaseoso y fluorescencia de clorofilas en condiciones de invernadero

Este ensayo se llevó a cabo en el invernadero de Malherbología en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (4°38'10.96"N-74°05'14.92"O), durante 45 d. De estos, los primeros 17 d corresponden al establecimiento, y los siguientes 28, al tiempo de evaluación. La temperatura y humedad relativa (HR) fueron controlados en el invernadero mediante sistemas

de ventilación y calefacción (temperatura: máx. 32 y mín. 22°C; HR 85%).

Se evaluaron plantas de tomate híbrido Calima tipo santa Clara, las cuales fueron trasplantadas con cuatro hojas verdaderas, en materas de 2 kg de capacidad, en suelos FA pasteurizado. Posteriormente, las materas se ubicaron según un diseño completamente al azar (DCA) con nueve tratamientos y cuatro repeticiones, llevándose a cabo cinco muestreos destructivos (24 horas (h); 7, 15, 21 y 28 d después de aplicación de los tratamientos, dda).

Los tratamientos del uno al cuatro consistieron en dos herbicidas (metribuzina y metsulfuron) a dosis comercial ( $X = 336 \text{ g ha}^{-1}$  y  $9 \text{ g ha}^{-1}$  del i.a., respectivamente) y sobredosis ( $2X = 672 \text{ g ha}^{-1}$  y  $18 \text{ g ha}^{-1}$  del i.a., respectivamente). Los tratamientos del cinco al ocho correspondieron a los tratamientos anteriores más la adición de ácidos hidroxicarboxílicos AHC (a dosis comercial,  $2 \text{ L ha}^{-1}$  ATPup®) y finalmente un tratamiento nueve, considerado control (sin adición alguna).

A los 20 d después de trasplante, se realizó la aplicación de herbicidas mediante el uso de pulverizadora automática con boquilla 0,5 T-jeet de abanico plano. Posteriormente y con el ánimo de evitar alteración química de los herbicidas con los biorreguladores, 2 h después de la aplicación de los mencionados primero, se realizó la aplicación de AHC con boquilla 0,4 T-jeet de cono lleno.

Las mediciones de intercambio de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y conductancia estomática ( $\text{cm s}^{-1}$ ) se realizaron con el equipo LI-COR 6.200 (Licor, Lincoln, NE); y eficiencia cuántica máxima ( $F_v/F_m$ ) con el fluorómetro Handy Pea (Hansatech Instruments, Norfolk, UK). Estas variables se evaluaron a las 24 h; 7, 15, 21 y 28 dda entre las 9:00 y 10:00 a.m.; tomando como muestra la cuarta completamente desarrollada. El contenido de clorofilas ( $\text{mg g}^{-1}$  de peso fresco) se midió con espectrofotómetro de absorción BioMate™

(Thermo Electron Corporation, Waltham, MA) a los 7, 15, 21 y 28 dda mediante el método de espectrofotometría descrito por MacKinney (1941).

Cada variable fue analizada en el *software* estadístico R. 3.01 como un DCA y posteriormente se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey para obtener el resultado de diferencias significativas de los datos ( $P \leq 0,05$ ).

### Evaluación de crecimiento y producción en campo

El segundo ensayo se desarrolló en el municipio de Cáqueza-Cundinamarca, vereda Pantano de Carlos, finca El Riego ( $4^{\circ}24'1,21''\text{N}$  y  $73^{\circ}57'4,78''\text{W}$ ) a 1.750 msnm, bajo condición de bosque seco premontano (bs-PM) en suelo FA, predominante inceptisol –según la unidad cartográfica: Estudio de suelos y zonificación de tierras de Cundinamarca IGAC (2000), durante 4 meses, tiempo para obtener la primera cosecha completa del primer racimo productivo.

El ensayo se elaboró a campo abierto, bajo las mismas condiciones de un cultivo comercial de la región (30.000 plantas/ha), utilizando plántulas con cuatro hojas verdaderas de tomate híbrido Calima tipo Santa Clara.

Se realizó un diseño en parcelas divididas con bloques completos al azar en tres repeticiones. Las parcelas principales con una población de 100 plantas correspondieron a la aplicación de los dos herbicidas a dosis comercial (la cual se definirá en este artículo como X), sobre dosis (la cual será denotada como 2X y corresponde al doble de la dosis comercial) y un control (sin aplicación de herbicidas); las subparcelas por su parte representaron la aplicación o no de AHC ( $2$  y  $0 \text{ L ha}^{-1}$ ). Por su parte el bloque se realizó teniendo en cuenta la irregularidad topográfica del lote, dividiendo en tres bloques.

Los herbicidas se aplicaron sobre plantas con 30 días de trasplante, realizando la actividad de ma-

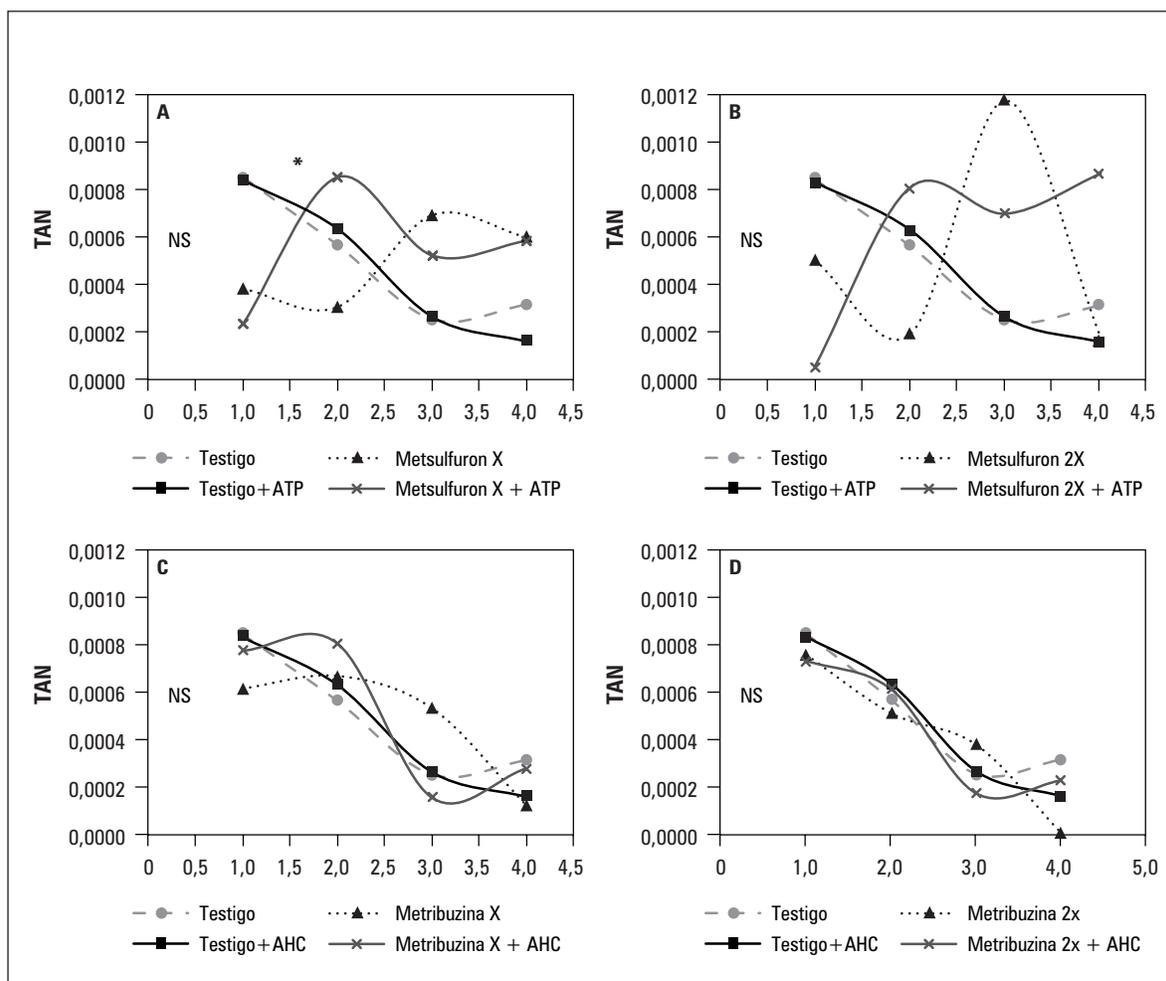
nera localizada a la base de las plantas de tomate, con boquilla de abanico plano 0,5 T-jeet.

Los AHC fueron aplicados en dos momentos y de manera foliar sobre las plantas de tomate: 25 días de trasplante (5 d antes de la aplicación de herbicidas) y 35 ddt (5 d después de la aplicación de herbicidas). La dosis utilizada fue 2 L ha<sup>-1</sup> según recomendación del producto y la actividad se desarrolló con boquilla de cono lleno 0,4 T-jeet.

El primer muestreo se realizó el día de aplicación de herbicidas, y posteriormente cuatro muestreos con intervalo 15 d hasta alcanzar los 60

dda, momento en que ocurrió la madurez del primer racimo productivo. Las medidas fueron: área foliar, peso seco de raíz y peso seco de parte aérea, variables con las que se calcularon índices de crecimiento como tasa relativa de crecimiento (TRC) y tasa de asimilación neta (TAN). A los 60 dda se realizó cosecha del primer racimo, evaluando el peso fresco del mismo.

El análisis estadístico para cada una de las variables se realizó en el *software* estadístico R, con prueba de comparación entre parcelas principales, prueba de Tukey y análisis del efecto de la subparcela ( $P \leq 0,05$ ) según un modelo de regre-



**Figura 1.** Tasa de asimilación neta (TAN, g cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) en plantas de tomate, en cuatro épocas (1 = 0-15 d, 2 = 15-30 d, 3 = 30-45 d y 4 = 45-60 d), tratadas con A) Metsulfuron a dosis comercial, B) Metsulfuron en sobredosis, C) Metribuzina en dosis comercial, D) Metribuzina en sobredosis. Todas las subfiguras están relacionadas con el testigo, con y sin aplicación de AHC. NS representa la no significancia entre parcelas y \* indica efecto significativo de la subparcela ( $P \leq 0,05$ ).

sión lineal con prueba T, el cual permite analizar con una ecuación de primer grado, la correlación entre dos variables y/o parcelas (Pardoe, 2012).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Intercambio gaseoso y fluorescencia de clorofilas en condiciones de invernadero

De acuerdo a los resultados obtenidos, el mayor nivel de estrés lo presentaron las plantas tratadas con Metsulfuron (en dosis comercial y sobredosis) presentando valores Fv/Fm de 0,2 a los 21 y 28 dda (tabla 1). Esto podría estar relacionado con el efecto de Metsulfuron en la inhibición de ALS, lo que según Preston *et al.* (2006) al presentarse mutaciones en la biosíntesis de serina y prolina, componentes de la proteína D1, se ve afectado el flujo de electrones del PSII. Menegat *et al.* (2012) reportan disminución en la eficiencia cuántica (<0,2) sobre especies sensibles a sulfonilureas, lo cual podría relacionar al tomate híbrido Calima como un cultivar sensible a este grupo de herbicidas.

La aplicación de AHC sobre las plantas tratadas con Metsulfuron (dosis comercial y sobredosis) presenta valores de Fv/Fm significativamente mayores a los 21 dda, aunque inferior al valor ideal (tabla 1). Lo anterior permite suponer disminución de los daños causados por el herbicida en el PSII. Esta recuperación estaría relacionada con un aumento en la actividad del ciclo de Calvin que genera la aplicación de los AHC, lo cual aumenta la eficiencia de la energía en el metabolismo, y por ende recuperación más rápida ante condiciones de estrés (Slapakauskas *et al.*, 2006).

Los valores encontrados en el tratamiento de Metribuzina a dosis comercial no afectó la eficiencia cuántica, lo que corrobora la selectividad del herbicida al cultivo. Sin embargo, este mismo herbicida en sobredosis disminuye los valores de Fv/Fm entre 0,2 y 0,6 (tabla 2). Lo anterior, producto de la afectación en el flujo de electrones en el PSII a nivel de la proteína D1 y la disminución

**Tabla 1. Valores de variables fotosintéticas en plantas tratadas con metsulfuron; con y sin la aplicación de AHC. Promedios con letras diferentes indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). (-) Tiempo no evaluado.**

Variable	Tiempo de evaluación (días después de aplicación)															
	24 horas			7			14			21			28			
	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	
Fv/Fm	Sin AHC	0,82a	0,82a	0,82a	0,83a	0,69a	0,43b	0,80a	0,48ba	0,50ab	0,71a	0,13b	0,22b	0,75a	0,4b	0,13b
	Con AHC	-	0,82a	0,82a	-	0,71a	0,53ab	-	0,39b	0,29b	-	0,31ab	0,36ab	-	0,54ab	0,33b
Contenido de clorofilas	Sin AHC	1,63a	1,63a	1,63a	2,04a	1,23b	1,64b	2,46a	1,95ab	2,56a	2,48a	1,99a	2,4a	-	-	-
	Con AHC	-	1,63a	1,63a	-	1,18b	1,21b	-	1,50b	2,30a	-	2,55a	2,52a	-	-	-
Intercambio CO <sub>2</sub> (µmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Sin AHC	4,54a	3,00a	3,25a	2,71a	0,69b	1,42b	1,78a	0,04a	0,60ba	2,85a	0,65b	0,45b	1,63a	-0,11b	-0,73b
	Con AHC	-	3,71a	3,87a	-	1,37b	1,58b	-	0,62a	0,08b	-	0,24b	0,98b	-	0,311b	-0,39b
Conductancia estomática (cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Sin AHC	0,1a	0,10a	0,07a	0,28a	0,19b	0,18b	0,29a	0,26a	0,28a	0,65a	0,48a	0,47a	0,29a	0,19a	0,21a
	Con AHC	-	0,08a	0,09a	-	0,20b	0,19b	-	0,25a	0,26a	-	0,38b	0,42a	-	0,20a	0,12a

Test. = testigo; X = dosis comercial del herbicida; 2X = sobredosis del herbicida.

en la eficiencia de la captación de luz (Idedan *et al.*, 2011). Aunque la planta tiende a recuperarse gradualmente a partir de 21 dda, los valores se mantuvieron por debajo de 0,8. Contrarrestando el daño causado por la sobredosis de la triazina a nivel del PSII, la aplicación de AHC logró mantener Fv/Fm cercana a 0,8 con valores incluso mayores a los obtenidos por las plantas testigo (tabla 2); lo anterior significa que la detención del flujo de electrones que generan los herbicidas inhibidores de D1 puede ser mitigada completamente con el uso de AHC en plantas de tomate.

La afectación del Metsulfuron es apreciable a partir de los 7 ddt (disminución con respecto al valor de referencia de 0,89) a diferencia de la Metribuzina, en el cual solo se presenta una leve disminución de 0,26 en esta misma evaluación. Con el uso de los AHC esa tendencia se incrementa en Metsulfuron pero decrece para Metribuzina, inclusive en sobredosis, presentando la mayor disminución con valor de 0,6 a los 21 ddt (tablas 1 y 2).

Los resultados en el contenido de clorofila muestran que a pesar de existir diferencias en cuanto el modo y mecanismo de acción entre Metribuzina y Metsulfuron, los dos herbicidas presentan tendencias similares en la disminución del contenido de clorofilas para las dos dosis, causando disminución significativa desde 15 hasta 28 dda. Lo anterior indica que a través de diferentes rutas, Metribuzina y Metsulfuron afectan el contenido de clorofila en magnitudes similares (tablas 1 y 2).

Para el caso de Metsulfuron, Keutgen *et al.* (1999) descubrieron que la aplicación de este herbicida disminuye la asimilación y contenido de nitrato en plantas. Esto podría explicar una disminución en la formación de clorofilas, cuya molécula contiene N como elemento estructural (Taiz y Zeiger, 2010). De otro lado, la disminución en el contenido de clorofilas por parte de Metribuzina podría estar relacionada con especies reactivas de oxígeno (ROS), que se forman al interrumpirse el flujo de electrones en el PSII, generando peroxida-

**Tabla 2. Valores de variables fotosintéticas en plantas tratadas con metribuzina; con y sin la aplicación de AHC. Promedios con letras diferentes indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). (-) Tiempo no evaluado.**

Variable	Metribuzina	Tiempo de evaluación (días después de aplicación)														
		24 horas			7			14			21			28		
		Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X
Fv/Fm	Sin AHC	0,82a	0,82a	0,82a	0,83a	0,77a	0,63b	0,80a	0,83a	0,26b	0,71a	0,79a	0,59a	0,75a	0,81a	0,59b
	Con AHC	-	0,82a	0,82a	-	0,83a	0,79a	-	0,85a	0,84a	-	0,8a	0,74a	-	0,79a	0,82a
Contenido de clorofilas	Sin AHC	1,63a	1,63a	1,63a	2,04a	1,27b	1,56b	2,46a	2,08b	2,22a	2,48a	2,11a	2,14a	-	-	-
	Con AHC	-	1,63a	1,63a	-	1,44b	1,12b	-	3,75a	1,95a	-	3,04b	2,10a	-	-	-
Intercambio CO <sub>2</sub> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Sin AHC	4,54a	1,92b	1,64b	2,71a	1,36b	0,99b	1,79a	1,53a	2,31a	2,85a	2,28a	1,74b	1,63a	2,40a	2,29a
	Con AHC	-	1,75b	1,05b	-	1,31b	1,19b	-	1,81a	1,26a	-	2,62a	1,63b	-	2,01a	1,60a
Conductancia estomática (cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Sin AHC	0,1a	0,09a	0,09a	0,28a	0,24a	0,19b	0,29a	0,31a	0,32a	0,65a	0,47a	0,62a	0,29a	0,26a	0,28a
	Con AHC	-	0,09a	0,13a	-	0,25a	0,22a	-	0,33a	0,28a	-	0,68a	0,54a	-	0,25a	0,23a

Test. = testigo; X = dosis comercial del herbicida; 2X = sobredosis del herbicida.

ción de lípidos y daños en membranas, incluidos los tilacoides, ocasionando degradación de clorofilas (Mittler, 2002; Nemat y Hassan, 2006).

Los resultados muestran el efecto positivo de los AHC en la dosis comercial para los dos herbicidas. En el caso de Metsulfuron, la aplicación del biorregulador logró restablecer el contenido de clorofilas con respecto a las plantas testigo entre 21 y 28 dda. Para las plantas tratadas con Metribuzina en dosis comercial, el contenido de clorofilas aumentó hasta un 75% tras la aplicación de AHC y 50% con respecto a las plantas testigo (tabla 2). Lo anterior corrobora la ventaja en el uso de ácidos orgánicos para la formación de clorofilas, propiciado por el aumento en la actividad enzimática y mayor absorción de nutrientes como nitrógeno (Slim *et al.*, 2012). Sin embargo, la sobredosis de Metribuzina causó mayor daño en plantas, limitando la acción benéfica de los AHC en la formación de clorofilas, generando resultados sin diferencias significativas comparados con Metribuzina 2X.

Con relación al intercambio de CO<sub>2</sub>, los valores en plantas testigo oscilaron entre 1,79 y 4,54 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>; sin embargo, la aplicación de herbicidas ocasionó un comportamiento diferente en la fotosíntesis de las plantas. Tras la aplicación de Metribuzina y Metsulfuron los valores de tasa fotosintética disminuyeron significativamente a los 7 dda. A pesar de que Metribuzina afectó con mayor rapidez la fotosíntesis (1 dda), las plantas lograron recuperarse a partir de 15 dda hasta alcanzar valores cercanos a las plantas testigo (tabla 2). Esto demuestra la capacidad que tienen las solanáceas de contrarrestar el daño causado por triazinas mediante un proceso conocido como metabolización de la molécula (Gang *et al.*, 2011), lo cual consiste en la formación de conjugados de glucosa-Metribuzina y N-glucósidos-Metribuzina, limitando el efecto del herbicida dentro de la planta (Smith *et al.*, 1989).

La aplicación de Metsulfuron disminuyó significativamente la absorción de CO<sub>2</sub> a partir de 7 dda y continuó afectando hasta alcanzar valores negativos a los 28 dda. Riethmuller *et al.* (2006)

**Tabla 3. Evaluación de variables de crecimiento en plantas tratadas con Metsulfuron a dosis comercial y sobredosis con y sin aplicación de AHC. Los símbolos \* indican diferencias de la subparcela (P≤0,05).**

Metsulfuron		Tiempo de evaluación (días después de aplicación)												
		0 - 15			15 - 30			30 - 45			45-60			
TCR (g día <sup>-1</sup> )	AHC	Testigo	X	2X	Testigo	X	2X	Testigo	X	2X	Testigo	X	2X	
	Sin AHC	1,9E-01	1,1E-01	1,2E-01	1,2E-01	1,1E-01	5,4E-02	3,3E-02	3,8E-02	9,6E-02	1,4E-01	4,0E-02	6,3E-02	3,5E-02
	Con AHC	2,0E-01	7,0E-02	1,8E-02	1,5E-01 *	1,2E-01	1,7E-01 *	1,5E-01 *	3,5E-02	5,9E-02	8,3E-02	1,9E-02	7,1E-02	9,1E-02

X = dosis comercial del herbicida; 2X = sobredosis del herbicida.

encontraron que en tomate la aplicación de Metsulfuron-Metil causa disminución de intercambio de CO<sub>2</sub> hasta en un 60%, relacionando este efecto con el aumento de la clorosis intervenal que se genera en el proceso de marchitez foliar, cuando el nivel de estrés es tal que causa muerte gradual y se disminuye la fotosíntesis aumentando la respiración en el tejido afectado. Esto podría explicar el hecho de que en este ensayo se alcanzaran valores críticos <0 para las plantas tratadas con Metsulfuron (muerte de tejido foliar) durante el primer mes después de aplicación (tabla 1).

No se presentó efecto significativo de los AHC ( $P>0,05$ ) en la fotosíntesis de las plantas estresadas; sin embargo, en las tablas 1 y 2 se aprecia la tendencia a incrementar la fijación de CO<sub>2</sub> para los tratamientos Metribuzina X + AHC y Metsulfuron X + AHC. A pesar de que la ficha técnica del producto biorregulador ofrece la posibilidad de restablecer la actividad metabólica en plantas estresadas (Innovak Global, 2013), en el presente ensayo no se presentaron diferencias significativas en la regulación del estrés que generó la aplicación de metribuzina y metsulfuron en su dosis comercial con respecto a esta variable.

En cuanto a los valores de conductancia estomática el efecto de los tratamientos encontró que Metsulfuron generó mayor nivel de estrés con diferencias significativas a los 7 dda para la dosis comercial y sobredosis (tabla 1). Otras sulfonilureas como Imazosulfuron y trifloxysulfuron han presentado la misma tendencia, disminuyendo la conductancia estomática de plantas de tomate desde 7 hasta 16 dda (Dittmar *et al.*, 2012), aunque específicamente en Metsulfuron el cierre estomático no ha sido muy estudiado. Ashcroft y Ashcroft (1990) sugieren que las sulfonilureas son un potente bloqueador de los canales K-ATP en numerosos tejidos, lo cual afecta directamente el movimiento de las células guarda en plantas, y podría ser la causa del cierre estomático en este ensayo.

La aplicación de Metribuzina a la dosis recomendada no afectó el comportamiento de esta varia-

**Tabla 4. Evaluación de variables de crecimiento en plantas tratadas con Metribuzina a dosis comercial y sobredosis con y sin aplicación de AHC.**

Metribuzina	Tiempo de evaluación (días después de aplicación)												
	0 - 15			15-30			30-45			45-60			
	Testigo	X	2X	Testigo	X	2X	Testigo	X	2X	Testigo	X	2X	
TCR (g día-1)	AHC	1,9E-01	1,8E-01	2,1E-01	1,1E-01	1,3E-01	9,5E-02	3,8E-02	6,1E-02	4,3E-02	4,0E-02	1,4E-02	5,6E-03
	Sim AHC	2,0E-01	1,8E-01	2,2E-01	1,2E-01	1,5E-01	1,2E-01	3,5E-02	1,9E-02	2,5E-02	1,9E-02	3,8E-02	3,3E-02
	Con AHC												

X = dosis comercial del herbicida; 2X = sobredosis del herbicida.

ble, lo que nuevamente destaca la selectividad del herbicida a esta especie de cultivo. No obstante, la dosis 2X causó disminución de la conductancia estomática a 7 dda (tabla 2), lo cual concuerda con el inicio de daño en el PSII, según lo observado en eficiencia cuántica Fv/Fm. Esta relación demuestra que el daño en el fotosistema II es un indicativo del estrés, donde el daño a nivel energético puede generar un desbalance en la cantidad de carbono interno y disminuir la conductancia de estomas (Else *et al.*, 2009).

Los AHC no alteraron significativamente los resultados de conductancia estomática en plantas tratadas con herbicidas, indicando que estos biorreguladores fueron menos eficientes en la protección de los canales de K<sup>+</sup> (para el caso de Metsulfuron) o que el estrés que generaron los herbicidas pudieron inducir la síntesis de ABA. Teniendo en cuenta que la biosíntesis de esta hormona promueve el cierre estomático (Taiz y Zeiger, 2010) y los resultados encontrados no muestran diferencia de la apertura estomática e intercambio de CO<sub>2</sub>, se sugiere ahondar en el estudio del efecto fisiológico de los AHC.

### Evaluación del crecimiento y producción en campo

El comportamiento general de la TAN muestra que la eficiencia fotosintética disminuye a lo largo del tiempo (figura 1), como un comportamiento natural que se explica con el cambio en la vocación de las células, disminuyendo el crecimiento y aumentando la diferenciación para la formación de flores y frutos. La misma dinámica de TAN ha sido encontrada por Barraza *et al.* (2004) en Colombia.

No se observaron diferencias significativas en la TAN ni efecto de los AHC para las plantas tratadas con Metsulfuron 2X (figura 1B). Sin embargo, la figura 1A muestra que la tendencia es similar a lo presentado por Metsulfuron X, en el cual se disminuyó la eficiencia fotosintética en 50% para el primer mes de evaluación y ocu-

**Tabla 5. Evaluación de peso seco de raíces y fresco de frutos en plantas de tomate tratadas con Metsulfuron a dosis X y 2X. Promedios con letras diferentes indican diferencia significativa según la prueba de Tukey (P ≤ 0,05). Los símbolos \* indican diferencias de la subparcela (P ≤ 0,05).**

Variable	Tiempo de evaluación (días después de aplicación)														
	0			15			30			45			60		
	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X
Peso seco de raíz (g)	Sin AHC	0,69a	0,72a	0,56a	1,38ab	1,08c	0,92c	2,28a	1,38b	1,41b	1,96b	2,0b	3,35a	2,73ab	2,69b
	Con AHC	0,63	0,51	0,60	1,63	0,65	0,67	3,07	1,8*	1,68*	3,73	2,44*	4,60	3,32*	3,1*
Peso fresco primer racimo (g)	Sin AHC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,6ab	32,5a	30,7b
	Con AHC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64,70	37,10	37,9*

Test. = testigo; X = dosis comercial del herbicida; 2X = sobredosis del herbicida.

rrió recuperación durante el segundo (figura 1A), brindando información de que las plantas de tomate para el caso de este ensayo toman 30 d en iniciar una recuperación de forma natural tras el estrés causado por la sulfonilurea.

Por su parte, la dosis comercial de Metribuzina no afectó significativamente el comportamiento de la TAN. Se aprecia una ligera disminución de la eficiencia fotosintética en los primeros 15 d, aunque la tendencia se normalizó 30 dda (figura 1C). Para el caso de Metribuzina en sobredosis, la figura 1D muestra la disminución de la TAN entre 7 y 15 dda, lo cual coincide con el estrés presentado por las plantas en la eficiencia cuántica (Fv/Fm) en este mismo periodo; confirmando la relación que existe entre la integridad del PSII con la eficiencia fotosintética (Taiz y Zeiger, 2010). La aplicación de AHC logró mantener una curva con comportamiento normal sobre las plantas tratadas con Metribuzina, tal como logró mantener la integridad del PSII (tablas 2 y 4).

La comparación entre testigo con o sin AHC y la aplicación de Metsulfuron con o sin AHC presenta mayor tendencia a cambio, que la comparación entre testigo con o sin AHC y la aplicación de Metribuzina con o sin AHC. Esta tendencia podría explicarse por las diferencias en los niveles de afectación “estrés” de cada uno de los herbicidas.

Por otra parte, la tasa relativa de crecimiento (TRC) comparte la misma tendencia a lo observado en la TAN. En general las plantas testigo disminuyeron la TRC durante el tiempo de evaluación. Barranza *et al.* (2004) relacionaron la TAN con el proceso de producción de asimilados, responsable del crecimiento en plantas de tomate; en ese sentido, cuando la TAN disminuye, también decrece la TRC.

La aplicación de Metsulfuron en dosis comercial y sobredosis no generaron diferencias significativas en la TRC; sin embargo, se observó disminución del crecimiento en los primeros 30 dda para las dos dosis. Los AHC aumentaron la TRC de

**Tabla 6. Evaluación de peso seco de raíces y fresco de frutos en plantas de tomate tratadas con Metribuzina a dosis X y 2X. Promedios con letras diferentes indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Los símbolos \* indican diferencias de la subparcela ( $P \leq 0,05$ ).**

Variable	Tiempo de evaluación (días después de aplicación)																													
	0						15						30						45						60					
	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X	Test.	X	2X									
Peso seco de raíz (g)	Sin AHC	0,69a	0,56a	0,54a	1,38ab	1,19b	1,91a	2,28a	2,56a	2,01a	2,84a	3,15a	2,89a	3,35a	3,46a	3,01a	3,35a	3,46a	3,35a	3,46a	3,01a									
	Con AHC	0,63	0,56	0,50	1,63	1,33	1,76	3,07	3,37*	2,61*	3,73	3,73*	3,59*	4,60	4,26*	4,08*	4,60	4,26*	4,60	4,26*	4,08*									
Peso fresco primer racimo (g)	Sin AHC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,6ab	65,4c	48,4c									
	Con AHC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64,70	71,30	59,5*									

Test. = testigo; X = dosis comercial del herbicida; 2X = sobredosis del herbicida.

las plantas tratadas con Metsulfuron ( $P \leq 0,05$ ) entre 15 y 30 dda. A partir de 30 dda el comportamiento de las plantas tratadas con Metsulfuron + AHC comparten la misma tendencia con las plantas testigo, ratificando que los biorreguladores pueden propiciar reactivación metabólica tal como se observó en el crecimiento de raíces (Meike, 2008).

Los AHC no presentaron diferencias significativas en la dinámica de crecimiento en plantas tratadas con Metribuzina y plantas testigo (tabla 4). Esto indica que las ganancias obtenidas en el peso seco de raíz (tabla 6) corresponden más a una dinámica de translocación que a una ganancia de peso general de la planta, por lo cual tampoco se presentaron diferencias en la TAN y TRC para estos tratamientos. Esta dinámica también fue encontrada por Slapakauskas *et al.* (2006), donde los ácidos carboxílicos mejoraron tanto la eficiencia fotosintética como la formación de raíces en plantas de frijol.

El rendimiento del tomate se vio afectado drásticamente por la aplicación de Metsulfuron, causando disminución de 46 y 49%, para la dosis comercial y sobredosis respectivamente (tabla 5). El llenado de fruto pudo verse afectado por el déficit de translocación que causan los inhibidores de ALS en plantas susceptibles. Bestman *et al.* (1990) encontraron que la aplicación de sulfonilureas ocasionaba acumulación de compuestos orgánicos en las hojas de *Thiasp* sp., disminuyendo la tasa de translocación de azúcares, lo que afecta el rendimiento de cultivos (Zhou *et al.*, 2007). Para el caso de este trabajo no se evaluó peso seco de hojas por separado, por lo cual no es posible relacionar con veracidad el proceso de translocación con el llenado de fruto; sin embargo, los bajos valores obtenidos en la TAN a los 20 dda (figura 1) indican el bajo estrés el cual se concentraba en las plantas en el tiempo inicial del llenado de fruto, lo cual pudo afectar el rendimiento.

Por otro lado, la aplicación de AHC aumentó el rendimiento para todos los tratamientos. El daño causado por Metsulfuron fue disminuido

tras la aplicación del biorregulador en 14 y 23% para la dosis comercial y sobredosis respectivamente, con diferencias significativas en el último caso. Así mismo, aumentó el rendimiento de las plantas tratadas con sobredosis de Metribuzina, logrando valores similares a las plantas testigo

El efecto positivo de los biorreguladores puede relacionarse al proceso de hidratación celular, lo cual favorece la división y el crecimiento de las mismas (Innovak Global, 2013), y/o a la protección que generan sobre la maquinaria enzimática y protéica (Meike, 2008), algunas de las cuales están directamente relacionadas con el desarrollo de frutos, tal como afirmaron Steinhäuser *et al.* (2010), quienes encontraron más de 22 enzimas relacionadas con la fotosíntesis, glicólisis, translocación, entre otros, expresadas durante el llenado de fruto.

## CONCLUSIONES

El herbicida Metribuzina en dosis comercial fue selectivo al cultivo de tomate; las variables relacionadas con fotosíntesis indicaron que la planta es capaz de mitigar el estrés que causa la molécula, evitando el daño en el PSII y propiciando un crecimiento normal de la planta.

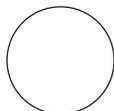
La sobredosis de Metribuzina generó daños significativos en el PSII disminuyendo la eficiencia cuántica, intercambio gaseoso y rendimiento en plantas de tomate.

Las plantas de tomate mostraron susceptibilidad a la aplicación de Metsulfuron; las dos dosis evaluadas generaron disminución en la eficiencia cuántica, valores de intercambio gaseoso muy cercanos a cero, y disminución en la tasa de asimilación neta, afectando la translocación de asimilados para el crecimiento de raíces y llenado de fruto.

Los ácidos hidroxicarboxílicos aumentaron el contenido de clorofila y mitigaron el daño a nivel del PSII que causa el estrés generado por los her-

bicidas Metsulfuron y Metribuzina, con mejores resultados para el segundo.

Los ácidos hidroxicarboxílicos aumentaron el peso de raíces de plantas estresadas y no estresadas a partir de 30 dda, aumentando las tasas de crecimiento para el mismo periodo.



## AGRADECIMIENTOS

A Innovak Global, México-Colombia, la Ing. Magda Murcia, representante comercial de Innovak Global en Colombia, al Laboratorio de Malherbología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adigun, J. 2005. Critical period of weed interference in rainfed and irrigated tomatoes in the nigerian savanna. *Agricultura tropica et sub-tropica* 38(2), 73-80.
- Ashcroft, F. y S. Ashcroft. 1990. Properties and functions of ATP-sensitive K-Channel. *Cell Signal* 2, 197-214. Doi: 10.1016/0898-6568(90)90048-F
- Bahari, A., H. Pirdashti y M. Yaghubi. 2013. The effects of amino acid fertilizer spraying on photosynthetic pigments and antioxidant enzymes of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Int. J. Agron. Plant Prod.* 4(4), 787-793.
- Barranza, F., G. Fischer y C. Cardona. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el valle del Sinú medio, Colombia. *Agron. Colomb.* 22(1), 81-90.
- Bestman, H., M. Devine y W. Born. 1990. Herbicide chlorsulfuron decreases assimilate transport out of treated leaves of field pennycress (*Thiaspi arvense* L.) seedlings. *Plant Physiol.* 93(1), 1441-1448. Doi: doi.org/10.1104/pp.93.4.1441
- Dawes, E.A. y P.J. Senior. 1973. The role and regulation of energy reserve polymers in micro-organisms. *Adv. Microb. Physiol.* 10, 135-266. Doi: 10.1016/S0065-2911(08)60088-0
- Dittmar, P., D. Monks, K. Jennings y F. Booker. 2012. Tolerance of tomato to herbicides applied through drip irrigation. *Weed Technol.* 26(4), 684-690. Doi: 10.1614/WT-D-11-00181.1
- El-Ghamry, A., K. El-Hai y K. Ghoneem. 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivated in clayey soil. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 3(2), 731-739.
- Else, M., F. Janowiak, C. Atkinson y M. Jackson. 2009. Root signals and stomatal closure in relation to photosynthesis, chlorophyll a fluorescence and adventitious rooting of flooded tomato plants. *Ann. Bot.* 103(1), 313-323.
- FAOSTAT. 2013. Production quantity by crop. FAO statistics division. Food and agricultural organization. En: <http://faostat.fao.org>; consulta: noviembre de 2015.
- Gang, P., S. Ping, Y. Qin, P. Steve y T. Jumin. 2011. Non-target-site based metribuzin tolerance in two induced mutants of narrow-leafed lupin. En: <http://www.Paper.edu.cn>; consulta: octubre de 2013.
- Higa, T. y S. Kinjo. 1991. Effect of lactic acid fermentation bacteria on plant growth and soil humus formation. University of the Ryukyus, Okinawa, Japón.
- ICA. 2016. Registros nacionales Marzo 2016. Instituto Colombiano Agropecuario. En: <http://www.ica.gov.co/getdoc/d3612ebf-a5a6-4702-8d4b-8427c1cdaeb1/REGISTROS-NACIONALES-PQUA-15-04-09.aspx>; consulta: abril de 2016.
- Idedan, I., T. Tomo y T. Noguchi. 2011. Herbicide effect on the photodamage process of photosystem II: Fourier transform infrared study. *Biochem. Biophys. Acta* 1807(1), 1214-1220.
- IGAC. 2000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras de Cundinamarca. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.
- Innovak Global®. 2013. ATPup, biorregulador fisiológico anti-estresante. En: <http://www.innovakglobal.com/productos/atpup>; consulta: noviembre de 2013.
- Jennings, K. 2010. Tolerance of fresh-market tomato to post-emergence-directed imazosulfuron, halosulfuron and trifloxysulfuron. *Weed Technol.* 24(1), 117-120. Doi: 10.1614/WT-09-056.1
- Keutgen, N., S. Matsushashi, M. Jia, C. Mizuniwa, T. Ito, T. Fujimura, S. Hashimoto, N. Ishioka, S. Watanabe, A. Osa, T. Sekine y H. Uchida. 1999. Nitrogen metabolism in soybean (*Glycine max* L.) as affected by metsulfuron-methyl. *Acta Hort.* 531(1), 175-180. Doi: 10.17660/ActaHortic.2000.531.25

- Kudrev, T. y L. Petrova. 1975. Influence of some PGR on water balance. *Fiziol. Rast. (Sofia)* 4, 71-75.
- MacKinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. *Biol. Chem.* 140(1), 315-322.
- Mackowiak, C., P. Grossl y B. Bugbee. 2001. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. *Soil Science Society of America* 65(1), 1744-1750. Doi: 10.2136/sssaj2001.1744
- Menegat, A., Y. Kaiser, A. Stephan, H. Ni y R. Gerhards. 2012. Chlorophyll fluorescence micro-creening as a rapid detection method for herbicide resistance in grass weeds in north china plain winter wheat production systems and beyond. *Weed Sci.* 18(1), 409-418.
- Meike, K. 2008. Production of (R)-3-hydroxycarboxylic acids from bacterial polyhydroxyalkanoates (PHA) and investigation of the physiological role of PHA degradation. Tesis de doctorado. Technical University of Munich, Alemania.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7(1), 405-410. Doi: 10.1016/S1360-1385(02)02312-9
- Nemat, M. y N. Hassan. 2006. Changes of antioxidants levels in two maize lines following atrazine treatments. *Plant Physiol. Biochem.* 44(1), 202-210. Doi: 10.1016/j.plaphy.2006.05.004
- Ormeño, J., F. Fuentes y V. Soffia. 2002. Tolerancia del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a aplicaciones post trasplante del herbicida halosulfuron-metil. *Agric. Téc.* 63(2), 125-134.
- Pardoe, I. 2012. Applied regression modeling, 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley and Sons, New Jersey, NJ. Doi: 10.1002/9781118345054
- Preston, C., L. Stone, M. Rieger y J. Baker. 2006. Multiple effects of a naturally occurring proline to threonine substitution within acetolactate synthase in two herbicide-resistant populations of *Lactuca-serriola*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 84(1), 227-235. Doi: 10.1016/j.pestbp.2005.07.007
- Riethmuller, I., L. Bastiaans, J. Harbinson, C. Kempenaar y M. Kropff. 2006. Influence of the acetolactate synthase inhibitor Metsulfuron-ethyl on the operation, regulation and organization of photosynthesis in *Solanum nigrum*. *Photosynth. Res.* 88(1), 331-341. Doi: 10.1007/s11120-006-9062-z
- Slapakauskas, V., E. Kazlauskas y S. Gliozeris. 2006. Effect of carboxylic acid hydrazid derivatives on the adventitious roots formation and photosynthetic electron transport in *Phaseolus vulgaris*. *Sodininkysteadarzininkyste* 25(4), 305-315.
- Slim, E., S. Shedeed, F. Asaad y A. El-Neklawy. 2012. Interactive effects of humic acid and water stress on chlorophyll and mineral nutrient contents of potato plants. *J. Appl. Sci. Res.* 8(1), 531-537.
- Smith, A., S. Phatak y D. Emmatty. 1989. Metribuzin metabolism by tomato cultivars with low, medium, and high levels of tolerance to metribuzin. *Pestic. Biochem. Physiol.* 35(3), 284-290. Doi: 10.1016/0048-3575(89)90089-8
- Steinhauser, M., D. Steinhauser, K. Koehl, F. Carrari, Y. Gibson, A. Fernie y M. Stitt. 2010. Enzyme activity profiles during fruit development in tomato cultivars and *Solanum pennellii*. *Plant Physiol.* 53(1), 80-98. Doi: 10.1104/pp.110.154336
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2010. *Plant physiology*. 5<sup>th</sup> ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Zhou, Q., W. Liu, Y. Zhang y K. Liu. 2007. Action mechanism of acetolactate synthase-inhibiting herbicide. *Pestic. Biochem. Physiol.* 89(1), 89-96. Doi: 10.1016/j.pestbp.2007.04.004

# Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (*Ipomoea batatas* Lam.)

## Blanching treatment effect on the enzymatic activity of polyphenoloxidase in two varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.)

GUILLERMO ARRÁZOLA-PATERNINA<sup>1, 3</sup>  
ARMANDO ALVIS-BERMÚDEZ<sup>1</sup>  
CARLOS GARCÍA-MOGOLLÓN<sup>2</sup>

**Batatas coloradas y blancas  
producidas en el valle  
del río Sinú.**

Foto: G. Arrázola-Paternina



### RESUMEN

Se estudió el efecto del tiempo y temperatura de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (blanca y colorada), con el objetivo de obtener y evaluar el comportamiento de esta enzima, las muestras fueron sometidas a temperaturas de escaldado (75, 80 y 85°C) y tiempos de 30, 60, 90, 120, 150 y 180 s, en agua destilada con contenido de 0,5% ácido cítrico y 1% ácido ascórbico, regulando pH y control de oxidación. En la evaluación del efecto-temperatura (extracto) la actividad de la enzima polifenoloxidasas inicialmente en variedad colorada era de 0,263  $\Delta\text{UAbs min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína (variación de unidades de absorbancia por minuto por gramos de proteína), la cual disminuyó a valores de 0,0347  $\Delta\text{UAbs min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína a la temperatura de 85°C y 180 s. Mientras la variedad blanca 0,128  $\Delta\text{UAbs min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína que disminuyó a valores de 0,0177  $\Delta\text{UAbs min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína a la misma temperatura y tiempo. Se concluye que la actividad de la enzima polifenoloxidasas se redujo en un 86,8% para la variedad colorada y 86,17% en la variedad blanca, mediante la acción del escaldado.

**Palabras clave adicionales:** inhibición enzimática, camote, blanqueado, PPO, pardeamiento enzimático.

<sup>1</sup> Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación Procesos y Agroindustria de Vegetales, Universidad de Córdoba, Córdoba (Colombia).

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Sucre, Sincelejo (Colombia).

<sup>3</sup> Autor para correspondencia. [guillermo.arrazola@ua.es](mailto:guillermo.arrazola@ua.es)

## ABSTRACT

The effect of scalding time and temperature on the enzyme activity of polyphenol oxidase in two varieties of sweet potatoes (white and red) was studied with the aim of obtaining and evaluating the behavior of this enzyme. The samples were subjected to scalding temperatures (75, 80 and 85°C) and times of 30, 60, 90, 120, 150, 180 s in distilled water containing 0.5% citric acid and 1% ascorbic acid, regulating the pH and controlling the oxidation. In the evaluation of the temperature effect, the activity of the enzyme polyphenol oxidase in the red variety was initially  $\Delta UAbs\ 0.263\ \text{min}^{-1}\ \text{mg}^{-1}\ \text{protein}$  (variation of absorbance units per minute per gram of protein), which decreased to  $0.0347\ \Delta UAbs\ \text{min}^{-1}\ \text{mg}^{-1}\ \text{protein}$  at the temperature of 85°C and 180 s. The white variety had a value of  $\Delta UAbs\ 0.128\ \text{min}^{-1}\ \text{mg}^{-1}\ \text{protein}$ , which decreased to values of  $\Delta UAbs\ 0.0177\ \text{min}^{-1}\ \text{mg}^{-1}\ \text{protein}$  at the same temperature and time. It was concluded that the activity of the enzyme polyphenol oxidase decreased by 86.8% in the red variety and 86.2% in the white variety through the blanching action.

**Additional keywords:** enzyme inhibition, camote, bleached, PPO, enzymatic browning.

Fecha de recepción: 23-01-2016

Aprobado para publicación: 14-05-2016

## INTRODUCCIÓN

La batata (*Ipomoea batatas* Lam.), conocida también como camote, se ubica entre los tres principales tubérculos a nivel mundial, sosteniendo la quinta ubicación entre los alimentos que aportan mayor cantidad de energía al ser humano, después del arroz, el trigo, el maíz y la yuca. La batata se cultiva en más de 100 países en desarrollo, figurando entre los cinco cultivos más importantes en más de 50 de ellos (Arrieta y Gutiérrez, 1995; IPC, 2010). La batata produce raíces tuberosas que se emplean para el consumo directo y para procesos industriales en la obtención de almidón, harinas, postres, bebidas alcohólicas, alimentos procesados y etanol como biocombustible (Hernández *et al.*, 2008). En la industria de alimentos, las harinas deshidratadas pueden emplearse como ingredientes funcionales, empleando la harina como materia prima cruda para procesar ponqués, biscochos, galletas, productos extruidos, chips fritos, helados,

alimentos para el desayuno, papillas y alimentos para bebé (Truong y Avula, 2010), postres y helados (Martí *et al.*, 2011), como espesante de bebidas lácteas (Andrade y Martins, 2002). Las batatas coloradas son una fuente potencial de colorantes naturales que pueden ser empleadas como fuente de aditivos en alimentos (Cuevas *et al.*, 2011).

En el procesamiento de vegetales los cambios de color por pardeamiento enzimático, caramelización, reacción de Maillard y la oxidación de nutrientes suelen generar pigmentos provocando un aspecto desagradable frente al consumidor (Hernández, 2009) y posteriores pérdidas económicas, por el rechazo de los productos por los posibles consumidores. Entre las enzimas que catalizan estas reacciones está el polifenoloxidasas (PPO) (Casado *et al.*, 2005; Guerrero, 2009). El polifenoloxidasas (E.C. 1.14.18.1) es una

metaloenzima que contiene dos átomos de cobre en el sitio activo que catalizan dos tipos de reacciones usando  $O_2$  como agente oxidante: (a) la *o*-hidroxilación de monofenoles para producir *o*-difenoles y (b) la posterior oxidación de *o*-difenoles a *o*-quinonas (Guillou, 2012). Entre los tratamientos para inactivar esta enzima están el uso de aditivos químicos, antioxidantes como vitaminas, agentes reductores como la cisteína, remoción de algún catalizador, irradiación y el escaldado que consiste en un tratamiento térmico medio aplicado a los vegetales por contacto con vapor o agua caliente en diferentes periodos. Se han llevado a cabo estudios para obtener las condiciones para inactivar la PPO en manzanas (Rocha y Morais 2001), pitaya amarilla (Castro *et al.*, 2006), clavel (Mayorga e Higuera, 2007), aguacate (Amaya *et al.*, 2008), gel de sábila (Cob *et al.*, 2010), pera (Gasull y Becerra, 2010), papa amarilla (Trujillo *et al.*, 2011), guacamole (Orozco *et al.*, 2012), naranjilla (Samaniego *et al.*, 2014, Montenegro, 2015), chicozapote (Vargas *et al.*, 2015), entre otras.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (*Ipomoea batata* Lam.) blanca y colorada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de las muestras de batata

Las batatas (*Ipomoea batatas* Lam.) de las variedades blanca y colorada se seleccionaron de las provenientes del Banco de Germoplasma de la Universidad de Córdoba. Se recolectaron 30 kg de muestra con tamaños y pesos semejantes. Todas las unidades de cada muestra fueron lavadas, peladas y cortadas con un *potato cutter* en forma de paralelepípedo de 2×2×4 cm de longitud, con el fin de estar adecuadas para la aplicación del escaldado (Alvis *et al.*, 2008). Se utilizó agua des-

tilada con contenido de 0,5% de ácido cítrico y 1% de ácido ascórbico, con el fin de reducir el pardeamiento enzimático previo al tratamiento térmico.

### Tratamiento de escaldado con agua caliente de las muestras de batatas

El proceso de escaldado por inmersión en agua caliente se llevó a cabo en una freidora de acero inoxidable de 5 L. Se sumergieron simultáneamente seis trozos de batata para cada tiempo de escaldado establecido, el producto se extrajo del baño y se secó para eliminar el agua superficial. Este procedimiento se realizó por triplicado. Las temperaturas de escaldado fueron 75, 80 y 85°C y tiempos de proceso de 30, 60, 90, 120, 150, 180 s. Luego de realizado el tratamiento, las muestras se conservaron a 4°C, para ser utilizadas en los procedimientos requeridos. Se dejó una muestra testigo sin procesar.

### Preparación del extracto enzimático

La extracción de la enzima polifenoloxidasas en la batata se llevó a cabo siguiendo el procedimiento de Gauillard y Richard-Forget (1997). La enzima fue extraída a partir de las muestras escaldadas a las diferentes temperaturas y tiempos especificados anteriormente, en una relación 1 g de muestra con 10 mL buffer fosfato 0,2 M con pH 6,5. La mezcla se agitó a 4°C durante 12 h en un agitador eléctrico. La suspensión se centrifugó a 4.000 rpm durante 15 min. Luego de la separación del sólido, el sobrenadante colectado se centrifugó nuevamente a 14.000 rpm por 15 min en una centrífuga refrigerada (Hettich Zentrifugen, Tuttlingen, Alemania) ubicada en el Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), posteriormente fue recolectado el extracto de la enzima utilizado para realizar los ensayos, se realizó posteriormente el almacenamiento del extracto a 4°C.

### Determinación de la actividad de polifenoloxidasas

Las unidades de actividad enzimática de polifenoloxidasas se determinaron espectrofotométricamente a 420 nm y 30°C utilizando el espectrofotómetro Genesys 20, aplicando el método de Pizzocaro *et al.* (1993). En una celda se colocaron 0,5 mL de extracto enzimático, 1 mL de solución de catecol al 1% y 2 mL de buffer fosfato 0,2 M, que actúa como regulador del pH a neutro. Se usó una celda de referencia con soluciones iguales a la anterior pero que contenía 0,5 mL de agua en lugar de extracto enzimático. Se midió la absorbancia durante 3 min, en intervalos de 1 min. La actividad enzimática se expresó como  $\Delta UAbs \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  proteína (variación de unidades de absorbancia por minuto por gramo de proteína).

El porcentaje de inhibición (%*Inh*) de PPO se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\%Inh = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

Donde la actividad de la PPO es:  $A_0$  del extracto crudo y  $A$  en cada condición temperatura-tiempo.

### Inactivación térmica

La inactivación de la PPO se determinó acorde a Manohan y Chen Wai (2012), determinando la velocidad específica ( $k$ ) de inactivación térmica por la pendiente del modelo de primer orden acorde a la siguiente ecuación:

$$\text{Log} \left( \frac{A}{A_0} \right) = (k/2.303) t \quad (2)$$

Donde  $A_0$  es la actividad inicial y  $A$  es la actividad después del calentamiento en el tiempo  $t$ .

El tiempo medio de la PPO se calculó siguiendo la ecuación:

$$t_{1/2} = 0,693 / k \quad (3)$$

El tiempo de reducción decimal (D) fue estimado con la relación entre  $k$  y D acorde a la ecuación:

$$D = (\text{Ln}(10)) / k \quad (4)$$

### Diseño experimental

Para el análisis estadístico de las muestras, se utilizó análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 5%, a través del *software* SAS 9,1 prueba de rangos múltiples (Tukey,  $P \leq 0,05$ )

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El extracto crudo de la batata colorada presentó una actividad enzimática de la PPO de  $0,263 \Delta UAbs \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  proteína y la variedad blanca de  $0,128 \Delta UAbs \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  proteína (tabla 1). Las variaciones de la actividad enzimática son afectadas por las condiciones de extracción, estado fisiológico de la fruta, grado de madurez, presencia de catalizadores, concentración de la enzima (Mejía *et al.*, 2014; Mogollón *et al.*, 2010). Gao *et al.* (2014a, b) reportaron diferencias en la actividad polifenoloxidasas en batata púrpura en función de la parte estructural y de la concentración de la enzima; en este caso la presencia de una mayor cantidad de pigmentos beta-carotenoides, compuestos fenólicos y flavonoides pudo favorecer la mayor actividad en la batata colorada, mientras Hee Kim *et al.* (2015) reportaron mayor actividad PPO en raíces fibrosas y gruesas de batata. Compuestos fenólicos de batata incluyen ácidos clorogénicos, el color y variedad pueden influir en los niveles y perfiles de este compuesto, así una variedad de pulpa blanca que contiene

el más alto nivel de ácido clorogénico, mientras que una variedad de color púrpura tiene niveles más bajos (Cevallos y Cisneros, 2003).

En este estudio, al comparar la actividad enzimática entre las dos variedades estudiadas (colorada y blanca) se observan diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) y disminución de la actividad enzimática a las condiciones de temperatura-tiempo en el tratamiento de escaldado (tabla 1).

La actividad enzimática de la polifenoloxidasas en la batata variedad colorada sometida a temperaturas de 75, 80 y 85°C y tiempos de 30 a 180 s en el escaldado, se puede observar que no existen diferencias significativas en los tratamientos a 80 y 85°C a los tiempos de 120 y 150 s, mientras para 75°C a los mismos tiempos sí se presentan diferencias. En la variedad Blanca muestra que no existe diferencia significativa entre 90 y 120 s, a una temperatura de 80°C. Estudios similares en melocotón (Brandelli y López, 2005), aguacate (Amaya *et al.*, 2008) y batata (Cipriano *et al.*, 2015).

La inhibición máxima de la actividad PPO se logra cuando el extracto es sometido a condiciones de escaldado de 85°C y 180 s con una disminución del 86,8% en la batata variedad colorada y del 86,17% en la variedad blanca (tabla 2). Liu *et al.* (2015) reportaron una degradación del 90% de la PPO en batata púrpura cuando la escaldaron con agua caliente (98°C), vapor y microondas

(700 W) por un tiempo de 130, 110 y 60 s respectivamente. La PPO mostró mayor sensibilidad a los cambios de temperatura, resultado similar reportaron Gao *et al.* (2014b, c) en su estudio de la estabilidad térmica de la PPO en la batata colorada, diferentes de los resultados obtenidos en este estudio. Gasull y Bacerra (2010) encontraron que la PPO presente en manzana disminuye un 40% con un tratamiento a 50°C durante 20 min y en la pera a 70°C por 30 min. Resultados que se encuentran alejados de los obtenidos en esta investigación.

El perfil del tratamiento de escaldado con la actividad enzimática de la PPO en la batata de variedad colorada y blanca (figura 1) muestra un comportamiento decreciente de la actividad en función del tiempo y temperatura de escaldado. Los tratamientos térmicos con temperaturas que alcanzan hasta 105°C se ha usado para inactivar enzimas oxidasas, teniendo en cuenta la actividad óptima de las enzimas polifenoloxidasas la cual es aproximadamente de 40°C (Yoruk y Marshall, 2003). Los parámetros de inactivación térmica de la PPO a un tiempo de 180 s de escaldado para las temperaturas de 75, 80 y 85°C (tabla 3), la velocidad específica de inactivación ( $k$ ) aumenta con el incremento de la temperatura, indicando que la PPO es menos termoestable con el incremento de la temperatura independiente de la variedad. El tiempo de vida medio ( $t_{1/2}$ ) corresponde al tiempo para reducir la actividad de

**Tabla 1. Efecto del escaldado en la actividad de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata.**

Tiempo (s)	Actividad enzimática ( $\Delta UAbs \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína)					
	75°C		80°C		85°C	
	Colorada	Blanca	Colorada	Blanca	Colorada	Blanca
30	0,1243 a	0,0537 a	0,0863 a	0,0460 a	0,0657 a	0,0343 a
60	0,0917 b	0,0510 b	0,0713 b	0,0423 b	0,0580 b	0,0300 b
90	0,0707 c	0,0470 c	0,0610 c	0,0370 c	0,0490 c	0,0263 c
120	0,0627 d	0,0443 d	0,0550 d	0,0350 c	0,0420 d	0,0237 d
150	0,0563 e	0,0403 e	0,0527 d	0,0327 d	0,0390 d	0,0210 e
180	0,0467 f	0,0380 f	0,0417 e	0,0303 e	0,0347 e	0,0177 f

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

la PPO a la mitad de la inicial, reduciéndose con el incremento de la temperatura y siendo superior en la batata variedad blanca, indicando una mayor estabilidad de la enzima a 75°C y 80°C donde se observan diferencias mayores del indicador con la variedad colorada.

El tiempo de reducción decimal (D) requerido para reducir en un 90% la actividad inicial de la PPO estuvo del orden superior a los 300 s a 75°C en la variedad blanca y en todas las condiciones temperatura superior a la mostrada en la variedad colorada.

Estos valores son inferiores a los reportados por Manohan y Chen Wai (2012) en batata colorada con (D) entre 305,7 min a 35 min en el rango de 60 a 75°C. El parámetro (Z) se relaciona inversamente con la sensibilidad al calor de la enzima; en general, el bajo valor del parámetro (Z) en la variedad blanca indica una gran sensibilidad al calor respecto a la mostrada en la variedad colorada. La PPO en la variedad blanca muestra mayor sensibilidad a las temperaturas de 75 y 80°C; sin embargo, a 85°C es comparativamente igual con la actividad en la variedad colorada. Estas di-

ferencias en la cinética de inactivación por calor pueden estar asociadas a su diferente composición producto de las condiciones agronómicas y climáticas bajo las cuales se desarrolló la batata. La menor actividad de la PPO en ambas variedades obtenidas bajo condiciones de tiempo y temperaturas en las que se alcanza una mayor reducción, se pueden catalogar como favorables para posteriores procesos de transformación, como fritura, secado y obtención de harinas. La técnica apropiada de escaldado permite obtener productos fritos de batata de alta calidad sin un pardeamiento que reduzca la aceptabilidad del consumidor.

## CONCLUSIONES

En la evaluación del efecto tiempo-temperatura sobre la reducción de la enzima polifenoloxidasasa en la variedad colorada, inicialmente esta se encontraba en valores de  $0,263 \Delta\text{UAbs min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína disminuyendo a valores de  $0,0347 \Delta\text{UAbs min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína a la temperatura de 85°C a 180 s. Mientras que para la variedad blanca  $0,128 \Delta\text{UAbs min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína dis-

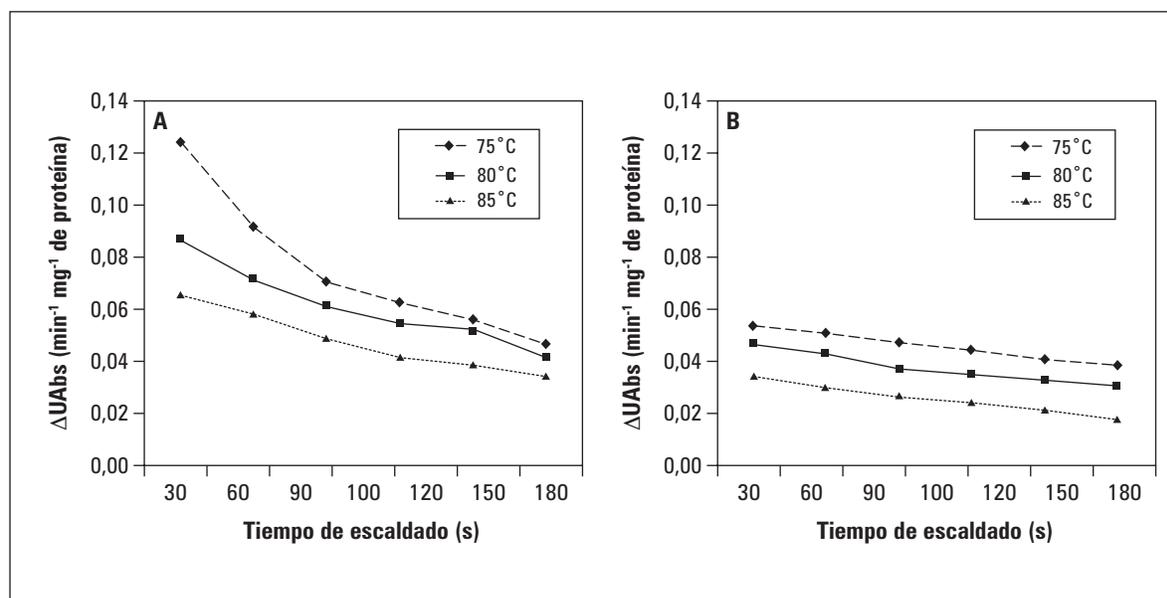


Figura 1. Actividad de la PPO en las variedades de batata Colorada (A) y Blanca (B) a 75°C, 80°C y 85°C.

**Tabla 2. Inhibición de la actividad polifenoloxidasas en dos variedades de batata.**

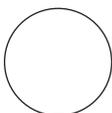
Tiempo (s)	Inhibición (%)					
	75°C		80°C		85°C	
	Colorada	Blanca	Colorada	Blanca	Colorada	Blanca
30	52,73	58,04	67,18	64,06	75,01	73,20
60	65,13	60,15	72,88	66,95	77,94	76,56
90	73,11	63,28	76,80	71,09	81,36	79,45
120	76,15	65,39	79,08	72,65	84,03	81,48
150	78,59	68,51	79,96	74,45	85,17	83,59
180	82,24	70,31	84,14	76,32	86,80	86,17

**Tabla 3. Parámetros de la inactivación térmica en dos variedades de batata.**

Variedad	Colorada			Blanca		
	Temperatura (°C)	k (1/s)	t <sub>1/2</sub> (s)	D (s)	k (1/s)	t <sub>1/2</sub> (s)
75	0,010	72,16	239,75	0,007	102,70	341,22
80	0,010	67,72	225,01	0,008	86,56	287,60
85	0,011	61,58	204,60	0,011	63,04	209,45
Z (°C)	144,93	47,17				

minuye a valores de  $0,0177\Delta\text{UAbs min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína a la misma temperatura y tiempo de escaldado. Al comparar la actividad enzimática de las dos variedades de estudio se evidencia la reducción de la polifenoloxidasas en un 86,8%

para la variedad colorada y un 86,17% en la variedad blanca. Con estos resultados se presenta una alternativa de conservación para la batata y sus derivados en la obtención de otros productos como chips y extruidos, principalmente.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvis, A., C. Vélez y M. Rada-Mendoza. 2008. Composición de ñames frescos cultivados en Colombia y sometidos a freído por inmersión. *Información Tecnológica* 19(1), 1-10. Doi: 10.4067/S0718-07642008000100002
- Amaya, E., R. Tarkus y M. Domínguez. 2008. Extracción y caracterización cinética de la enzima polifenoloxidasas del aguacate (*Persea americana* Miller) var. Hass. *Revista de la Facultad de Ingeniería Química* 47, 10-16.
- Andrade, R. y J. Martins. 2002. Influência da adição da fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas* Lam) sobre a viscosidade do permeado de soro de queijo. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 22(3), 249-253. Doi: 10.1590/S0101-20612002000300009
- Arrieta, W. y R. Gutiérrez R. 2009. Monografía del cultivo de la Batata (*Ipomoea batatas* Lam). Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.
- Brandelli, A. y C. López. 2005. Polyphenoloxidase activity, browning potential and phenolic content of peaches during postharvest ripening. *J. Food Biochem.* 29(16) 624-637. Doi: 10.1111/j.1745-4514.2005.00026.x

- Casado, J., S. Selles y R. Bru. 2005. Purificación y caracterización cinética de la polifenoloxidasas (PPO) de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* cv. Muchamiel). *J. Food Biochem.* 29(4), 381-401. Doi: 10.1111/j.1745-4514.2005.00037.x
- Castro, J.A., L.E. Baquero y C.E. Narváez. 2006. Catalasa, peroxidasa y polifenoloxidasas de pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). *Rev. Colomb. Quim.* 35(1) 91-101.
- Cevallos, C. y Z. Cisneros. 2003. Estudios estequiométricos y cinéticos de antioxidantes fenólicos de Andina maíz morado y el camote de carne roja. *J. Agr. Food Chem.* 5, 3313-3319.
- Cipriano, P., L. Ekici, R. Barnes, C. Gomes y S.Talcott. 2015. Pre-heating and polyphenol oxidase inhibition impact on extraction of purple sweet potato anthocyanins. *Food Chem.* 180, 227-234. Doi: 10.1016/j.foodchem.2015.02.020
- Cob, N., J. Tello, J. Escamilla, L. Vargas y J. Tamayo. 2010. Actividad de la polifenoloxidasas en el gel de Sábila (*Aloe vera* Mill). *Rev. Iber. Tecnol. Postcosecha* 11(2), 221-227.
- Cuevas, E., S. Hillebrand y P. Winterhalter. 2011. Anthocyanins in Purple Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties. *Fruit Veg. Cereal Sci. Biotechnol.* 5(special issue 2), 19-24.
- Gao, L., L.C. Zhao, J.D. Duan y Y.L. Tao. 2014a. Study on the process of the reaction catalyzed by polyphenol oxidase from purple sweet potato. *Adv. Mat. Res.* 898, 153-156. Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.898.153
- Gao, L., Y. Yuan, Y.C. Li y Y.X. Wei. 2014b. Study on polyphenol oxidase activity in different parts of purple sweet potato. *Adv. Mat. Res.* 898, 149-152. Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.898.149
- Gao, L., L. Lin, L.C. Zhao y F. Wu. 2014c. Study on heat stability of polyphenol oxidase from purple sweet potato. *Appl. Mechanics Mat.* 716-717, 122-125. Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.716-717.122
- Gasull, E. y D. Becerra. 2010. Caracterización de polifenoloxidasas extraídas de pera (cv. Packam's Triumph) y manzana (cv. Red Delicious). *Información Tecnológica* 17(6), 69-74.
- Gauillard, F. y F. Richard-Forget. 1997. Polyphenol oxidase from Williams pear (*Pyrus communis* L., cv. Williams): activation, purification and some properties. *J. Food Sci.* 74, 49-56. Doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(199705)74:1<49::AID-JSFA769>3.0.CO;2-K
- Guerrero, C. 2009. Inhibición de la actividad enzimática de la polifenoloxidasas extraída del banano (Cavendish valery) mediante sistemas bifásicos acuosos con isoespintanol y ácido ascórbico. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Guillou, N. 2012. Mecanismos y efectos asociados a procesos de oxidación de compuestos fenólicos en vinos. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago.
- Hernández, C. 2009. Acción y efectos de la polifenoloxidasas en alimentos. Universidad Veracruzana, Xalapa Enríquez, México.
- Hernández, M., J. Torruco, L. Chel y D. Betancur. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 28(3), 718-726. Doi: 10.1590/S0101-20612008000300031
- IPC (International Potato Center). 2010. La batata en cifras: producción, utilización, consumo, alimentación. En: <http://www.cipotato.org/sweetpotato/links.asp> y <http://cipotato.org/sweetpotato/facts/batacif.pdf>; consulta: abril de 2015.
- Kim, Y.-H., S.-C. Park, C.Y. Ji, J.J. Lee, J.C. Jeong, H.-S. Lee y S.-S. Kwak. 2015. Diverse antioxidant enzyme levels in different sweet potato root types during storage root formation. *Plant Growth Regul.* 75(1), 155-164. Doi: 10.1007/s10725-014-9940-x
- Liu, P., A. Mujumdar, M. Zhang y H. Jiang. 2015. Comparison of three blanching treatments on the color and anthocyanin level of the microwave-assisted sprouted bed drying of purple flesh sweet potato. *Drying Technol.* 33, 66-71. Doi: 10.1080/07373937.2014.936558
- Manohan, D. y W. Chen Wai. 2012. Characterization of polyphenol oxidase in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *J. Advancement Sci. Arts* 3(1), 14-31.
- Martí, H.R., H. D'Chudil y G. Corbino. 2011. La batata: El redescubrimiento de un cultivo. *Ciencia Hoy* 21(121), 17-23.
- Mayorga, V. y B. Higuera. 2007. Aislamiento y caracterización de una polifenoloxidasas relacionada con la tolerancia del clavel (*Dianthus caryophyllus*) a *Fusarium oxysporum* sp. dianthi raza 2. *Acta Biol. Colomb.* 12(2), 81-94.
- Mejía, C., D. Gaviria, R. Bru, L. Rengifo, Á. Alegría y E. Aguilar. 2014. Caracterización cinética de la enzima polifenoloxidasas en seis estadios de maduración en lulo (*Solanum quitoense* Lam.) var. Castilla. *Actu. Biol.* 36 (101), 107-117.

- Mogollón, P., P. Lizarazo y Y. Quintero. 2010. Determinación de la actividad e inhibición de la polifenoloxidasas en el lulo (*Solanum quitoense* Lam.). @Limentech Cienc. Tecnol. Aliment. 8(2), 112-117.
- Montenegro, L. 2015. Estudio de la Inhibición del pardeamiento enzimático por irradiación y de la calidad poscosecha durante el almacenamiento refrigerado de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) irradiada. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Orozco, M., R. Prieto y L. Díaz. 2012. Efecto de la adición de cebolla, ajo y la aplicación de ultrasonido de alta intensidad sobre la actividad de la polifenoloxidasas en guacamole. Vitae 19(Supl. 1), S132-S134.
- Pizzocaro, F., D. Torreggiani y G. Gilardi. 1993. Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. J. Food Proc. Pres. 17, 21-30. Doi: 10.1111/j.1745-4549.1993.tb00223.x
- Rocha, A. y A. Morais. 2001. Characterization of polyphenoloxidase (PPO) extracted from 'Jonagored' apple. Food Control 12, 85-90. Doi: 10.1016/S0956-7135(00)00026-8
- Samaniego, E., A. Ibarz y J. Ruales. 2014. Efecto de la irradiación ultravioleta en la actividad enzimática de la polifenoloxidasas y peroxidasa y las propiedades fisicoquímicas del jugo de dos variedades de Naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). Revista EPN 33(2).
- Trujillo N., O. Urrutia y J. Pabón. 2011. Evaluación preliminar del efecto del pH y de la temperatura en la actividad de la polifenoloxidasas en papa amarilla (*Solanum phureja*), @Limentech Cienc. Tecnol. Aliment. 9(2), 161-166
- Truong, V. y R. Avula. 2010. Sweet potato purees and dehydrated powders for functional food ingredients. En: <http://naldc.nal.usda.gov/naldc/download.xhtml?id=44182&content=PDF>; consulta: junio de 2015.
- Vargas, M., E. Sauri, E. Tamayo, S. González y J. Tamayo. 2015. Fresh-cut sapodilla (*Achras sapota*) with antioxidant activity; a modern demand for consumption fruits, Rev. Mex. Agronegocios 36, 1315-1324.
- Yoruk, R y M.R. Marshall. 2003. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: A review. J. Food Biochem. 27, 361-422. Doi: 10.1111/j.1745-4514.2003.tb00289.x

# Efecto de la densidad poblacional sobre el rendimiento de ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir.) tipo exportación

## Effect of population density on the yield of export-type white yams (*Dioscorea rotundata* Poir.)



DAIRO JAVIER PÉREZ P.<sup>1, 2</sup>

RODRIGO ORLANDO CAMPO A.<sup>1</sup>

**Planta ñame espino.**

Foto: R.O. Campo A.

### RESUMEN

Entre los limitantes del cultivo de ñame con destino al mercado de exportación, se encuentran los bajos rendimientos por unidad de superficie y la producción de tubérculos deformes y de gran tamaño que son rechazados por este mercado, ocasionando grandes pérdidas al pequeño productor. Con el fin de incrementar la competitividad de ñame tipo exportación, se evaluó el efecto de la densidad poblacional sobre el rendimiento de ñame espino cv. Brasileiro. En la granja experimental de la Universidad de Córdoba se estableció un experimento bajo un diseño de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones en las siguientes densidades de población (tratamientos): 10.101, 22.727, 30.303 y 45.454 plantas/ha, donde el primer tratamiento correspondió a la densidad poblacional usada por los productores (testigo). En cada tratamiento se evaluaron los componentes de rendimiento: número, forma, peso, dimensión y producción de tubérculos tipo exportación y no exportación; asimismo, se realizó un análisis económico de los tratamientos para evaluar su impacto de adopción. La producción tipo exportación se incrementó con el aumento de la densidad de población, alcanzando el máximo rendimiento con 30.303 plantas/ha, superando al testigo en 197,75%; siendo esta misma población la de mayor rentabilidad con 116,67%. La forma, peso y dimensión de los tubérculos no fueron afectados por la densidad de población, donde la forma cilíndrica fue la más frecuente. Se concluye que el aumento poblacional de ñame espino cv. Brasileiro respondió significativamente al triplicar el número de tubérculos tipo exportación por área de siembra, al igual que su rentabilidad.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agronómica y Desarrollo Rural, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia)

<sup>2</sup> Autor para correspondencia. [dairoperez81@hotmail.com](mailto:dairoperez81@hotmail.com)

**Palabras clave adicionales:** fisiología, pequeño productor, producción, rentabilidad.

## ABSTRACT

The limitations for yam crops destined for the export market include low yields per unit area and the production of deformed and overly large tubers that are rejected by the market, causing huge losses for small farmers. In order to increase the export competitiveness of yams, the effect of population density on the yield of white yams (*D. rotundata* cv. Brasileiro) was evaluated. On the experimental farm of the Universidad de Córdoba, an experiment was conducted with a randomized complete block design and three replications using the following densities (treatments): 10,101; 22,727; 30,303 and 45,454 plants/ha, where the first treatment corresponded to the density used by producers (control). The following yield components were evaluated each time: number, shape, weight, size and production of export-type and non-export-type tubers. In addition, an economic analysis of the treatments was carried out to assess the impact of adoption. The export-type production increased as the population density increased, achieving the maximum yield with 30,303 plants/ha, surpassing the control by 197.75%; this population was also the most profitable, 116.67%. The shape, weight and size of the tubers were not affected by the population density; the cylindrical shape was the most frequent. It was concluded that the white yam cv. Brasileiro population increase significantly influenced the number of export-type tubers per hectare, tripling the number, as well as increasing profitability.

**Additional keywords:** physiology, small producer, production, profitability.

Fecha de recepción: 19-04-2016

Aprobado para publicación: 14-05-2016

## INTRODUCCIÓN

El ñame es uno de los tubérculos tropicales más cultivados en la región del Caribe colombiano, constituye parte de la dieta de sus pobladores y es fuente de ingresos económicos para los productores. En los últimos años, Colombia se ha constituido en uno de los principales países exportadores a los Estados Unidos, Puerto Rico y Martinica (Fundación Procaribe, 2012). Estados Unidos es el principal importador y su demanda es satisfecha principalmente por Haití, Cuba, Colombia y Brasil. Según el CNP (2015), Colombia exportó a Estados Unidos el 7% del volumen importado (2.654 t), lo que generó divisas por US\$ 2.711.000.

Colombia es responsable del 22,06% de la producción de ñame en América, situándose como

el tercer productor después de Haití (23,71%) y Cuba (21,54%) (FAO, 2016). La producción nacional (365.395,9 t año<sup>-1</sup>) proviene principalmente de la región Caribe colombiana (Reina, 2012; Agronet, 2016), donde representa una fuente de seguridad alimentaria e ingresos a pequeños productores. Los departamentos de mayor producción son Bolívar, Córdoba y Sucre con una participación del 43,40, 38,34 y 7,38%, respectivamente (Agronet, 2016).

El cultivo de ñame, en el Caribe colombiano, es producido en forma tradicional con baja tecnología, donde la densidad poblacional es uno de los principales limitantes para el incremento de la producción y productividad (Sánchez y Hernández, 1998; Álvarez, 2000; Reina, 2012). Los pro-

ductores utilizan bajas densidades de población, lo que genera escasa competencia entre plantas, favoreciendo la formación de tubérculos deformes y de gran tamaño, los cuales son rechazados en el mercado internacional, el cual exige tubérculos cilíndricos entre 0,5-3,0 kg (Fundación Procaribe, 2012).

La forma del tubérculo es quizás uno de los limitantes que tiene que superar el productor de ñame espino (*D. rotundata*) para acceder a los mercados internacionales, se estima que sólo un 30% de la producción cumple con las especificaciones técnicas del mercado internacional, situación que obliga al productor a destinar el 70% restante bien sea para semilla de futuras siembras o para la venta en el mercado local, con un precio inferior al internacional. Esta situación reduce la competitividad del país, ya que no cumple con la demanda en volumen y calidad del mercado, factor que es aprovechado por los países que comparten este mercado para aumentar sus exportaciones (CNP, 2015).

La producción de ñame espino en Colombia, es en promedio de 13,30 t ha<sup>-1</sup>, con una densidad poblacional de aproximadamente 10.000 plantas/ha (Agronet, 2016), siendo considerada baja en relación a países productores de África con producciones de 25 t ha<sup>-1</sup> (FAO, 2016). Cardona (2007) reporta bajo las condiciones experimentales de Puerto Rico rendimientos de 61.190 kg ha<sup>-1</sup> en ñame espino cuando se plantaron 54.649 plantas/ha. En Jamaica, Blake (1983) obtuvo los mayores rendimientos, con densidades de siembra entre 14.815 y 18.519 plantas/ha. En Nigeria, los mayores rendimientos se presentan con densidades de población por encima de las 33.000 plantas/ha (Okpara *et al.*, 2014); similares resultados se reportan en otras tuberosas, como papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*) cuando se aumentan el número de plantas/ha (Rojas, 2007; Masarirambi *et al.*, 2012; Razaq *et al.*, 2015).

Entre las estrategias para reducir el tamaño de los tubérculos y mejorar la forma, se tiene el au-

mento de plantas por unidad de superficie; pues a medida que se aumenta el número de plantas por unidad de área, se incrementa la competencia entre plantas por los recursos ambientales, situación que reduce el peso de los tubérculos y aumenta el número de tubérculos/ha (Otoo, 1980; Bouzo, 2000; Rojas *et al.*, 2007; Okpara *et al.*, 2014). Cardona (2007) logró producir tubérculos de *D. rotundata* más pequeños (1,35 kg en promedio) y de forma uniforme (cilíndricos), cuando sembró 54.649 plantas/ha; igualmente, Blake (1983) incrementó el porcentaje de tubérculos comerciales en *D. alata* con el aumento de la densidad de población. Investigaciones en otras especies también han producido cambios en la producción cuando se incrementó la población de plantas; por ejemplo en el cultivo de la yuca (*M. esculenta*) se redujo el peso de los tubérculos cuando se incrementaron las densidades de población; mientras que, en papa el peso del tubérculo no se modificó con las densidades de población, más sí se incrementó el número de tubérculos por hectárea (Robles, 2008).

En vista de la importancia económica que representa el cultivo de ñame, para la región Caribe colombiana, se hace necesario establecer una estrategia, que permita a los agricultores incrementar el rendimiento de los tubérculos de ñame tipo exportación. Por tal razón, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la densidad poblacional sobre el rendimiento de tubérculos tipo exportación de ñame espino.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El estudio se realizó en la Granja de Investigación de la Universidad de Córdoba, ubicada en el municipio de Montería a 14 msnm, 8°44'N y 75°53'W con respecto al meridiano de Greenwich. Esta zona se caracteriza por una precipitación anual promedio de 1.346 mm, humedad relativa del 84%, temperatura promedio anual de

27,4°C y brillo solar anual de 2.108,2 h. Según la clasificación de Holdrige, esta zona se clasifica como bosque seco tropical (bs T) (Palencia *et al.*, 2006).

### Establecimiento del experimento

El experimento fue establecido en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro tratamientos (45.454, 30.303, 22.727 y 10.101 plantas/ha) y tres repeticiones. Cada parcela estuvo conformada por 50 plantas, distribuidas en cinco caballones (surcos altos) separados a 1,1 m. En cada surco se sembraron 10 plantas de acuerdo a la distancia de separación entre plantas de cada tratamiento, para obtener la densidad de plantas/ha. El tratamiento de 10.101 plantas/ha correspondió al testigo, población tradicionalmente usada por los productores.

La variedad empleada fue el clon comercial de ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir. cv. Brasihero), el cual se estableció en semilleros a partir de minisemillas (entre 50 y 60 g) obtenidas de la sección superior o cabeza del tubérculo. Para garantizar la brotación completa y uniforme de las plántulas, las minisemillas se establecieron en semilleros con sustrato de arena previamente esterilizado con Carbendazim (500 g L<sup>-1</sup> de ingrediente activo) a razón de 3 g L<sup>-1</sup>. Una vez emergidas las plántulas, cuando alcanzaron una altura entre 15 y 20 cm fueron trasplantadas a las parcelas experimentales. Cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica, es decir, a los 8 meses después del trasplante fueron cosechadas, recolectando los tubérculos de los surcos centrales de cada tratamiento.

Los componentes del rendimiento evaluados fueron determinados a partir del número y producción de tubérculos tipo exportación (entre 500 y 3.000 g) y no exportación (inferior a 500 g y superior a 3.000 g), peso promedio, diámetro, largo y forma de los tubérculos. La forma de los tubérculos fue clasificada de acuerdo a los criterios establecidos en el descriptor IPGRI-IITA (1997).

### Análisis de datos

Los datos de las variables de producción de los tubérculos tipo exportación (rendimiento, número, peso, largo y diámetro del tubérculo) fueron sometidos a un análisis de varianza (Anava) y la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), previa verificación y cumplimiento de los supuestos de normalidad Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas Levene. Por otra parte, se realizó un análisis de regresión del rendimiento y el número de tubérculos tipo exportación con las diferentes densidades de siembra para determinar la población óptima. Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System), versión 9.1 (SAS, 1999).

En las variables de tubérculos no comerciales solo se calcularon los valores medios, debido a que no fue posible realizar el Anava, ya que algunos tratamientos solo produjeron tubérculos comerciales.

Con el fin de evaluar el posible impacto de adopción de la densidad poblacional, se realizó un análisis económico de la rentabilidad de cada tratamiento; tomando como referencia los costos de producción y el precio promedio del producto en el mercado en el 2015. En la rentabilidad, se tuvieron en cuenta los costos financieros, los cuales fueron del 10,61% efectivo anual, que fueron los cobrados a los pequeños agricultores por parte del Banco Agrario en el 2015.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento

En relación a la producción tipo exportación, los tratamientos presentaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0,01$ ) en el número de tubérculos y en los rendimientos/ha (tabla 1). El número de tubérculos tipo exportación se incrementó con la densidad de población, obteniendo aumentos significativos de 73,55; 40,00 y 18,96% con las densidades 45.455; 30.303 y 22.727 plan-

tas/ha, respectivamente, en relación al testigo 10.101 plantas/ha (tabla 2).

En la figura 1A, se puede observar que la respuesta del número de tubérculos tipo exportación fue explicada por un modelo de regresión cuadrático ( $R^2=0,9762$ ), donde su cantidad aumentó con la densidad poblacional hasta alcanzar su máximo valor medio (34.722 tubérculos/ha) con 45.405 plantas/ha.

El máximo rendimiento tipo exportación fue del 197,75% cuando se aumentó la densidad de

población de 10.101 a 30.303 plantas/ha, pero cuando esta se incrementó a 45.455 plantas/ha, el rendimiento se redujo 29,32% (tabla 2). Asimismo, la respuesta del rendimiento fue explicada por un modelo cuadrático ( $R^2=0,6769$ ), donde se incrementó linealmente hasta alcanzar su máximo valor con 30.303 plantas/ha (figura 1B).

Según Heredia *et al.* (2000), el incremento de la producción de ñame se explica más por el aumento en el número de plantas por unidad de área que por el peso individual de los tubérculos; sin embargo, Cornet *et al.* (2014) y Cornet *et al.*

**Tabla 1. Cuadrado medio y nivel de significancia del efecto de la densidad de población sobre las variables número, rendimiento, peso y dimensión de tubérculos de ñame espino (*Dioscorea rotundata* cv. Brasileiro) tipo exportación.**

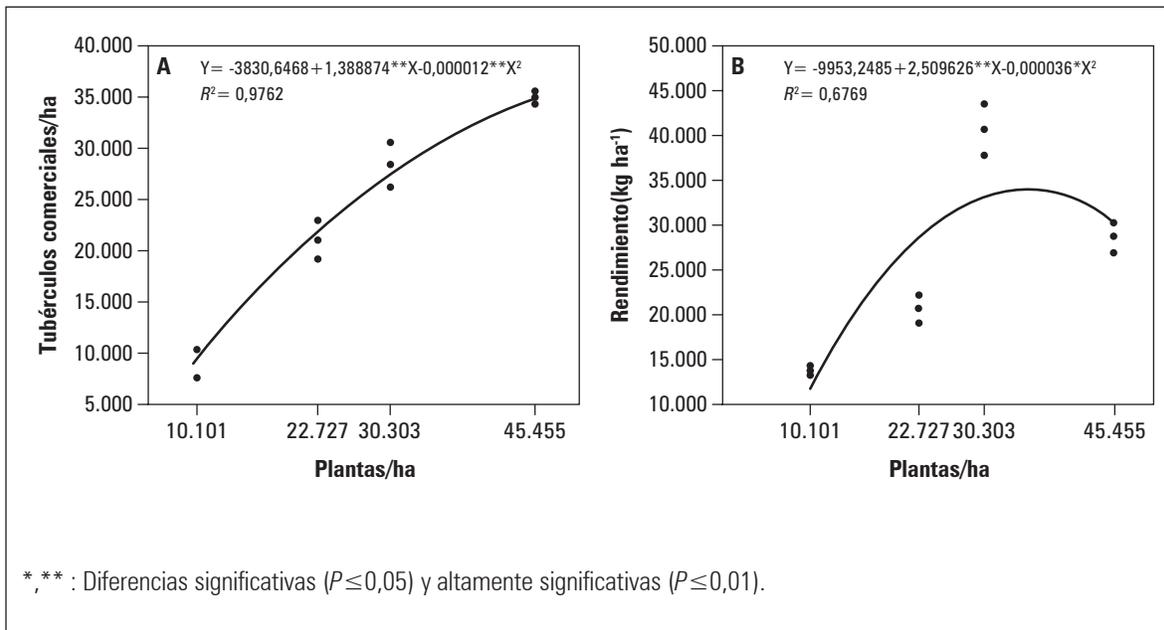
Fuente de variación	gl	Cuadrado medio				
		Número tubérculos/ha	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Peso promedio de tubérculo (kg)	Dimensión de tubérculo (cm)	
					Diámetro	Largo
Bloque	2	1639597,0	7423332	0,0264	0,8103	9,0357
Densidad poblacional	3	359241447**	403531658**	0,0844 ns	0,4731 ns	9,7268 ns
Error	6	3187167	2175905	0,1052	0,3645	21,3117
CV (%)		7,69	5,69	30,4190	7,3539	18,3904
R <sup>2</sup> (%)		98,26	98,94	32,64	58,15	26,98

gl: grados de libertad; \*\* Diferencias altamente significativas ( $P \leq 0,01$ ); ns: no significativo ( $P > 0,05$ ).

**Tabla 2. Promedios de la producción tipo exportación y no exportación de ñame espino (*Dioscorea rotundata* cv. Brasileiro) en función de la densidad de población.**

Densidad de población (plantas/ha)	Producción comercial				
	Número tubérculos/ha	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Peso promedio de tubérculo (kg)	Dimensión de tubérculo (cm)	
				Diámetro	Largo
10.101	9.183±918,33 d	13.658±304,09 d	1,20±0,15 a	8,47±0,17 a	25,15±2,15 a
22.727	20.833±1093,50 c	20.655±881,34 c	0,92±0,08 a	7,67±0,11 a	26,52±1,63 a
30.303	28.139±1249,67 b	40.667±1639,16 a	1,22±0,27 a	8,54±0,16 a	26,19±4,06 a
45.455	34.722±364,60 a	28.744±1046,08 b	0,93±0,10 a	8,16±0,75 a	22,55±0,77 a
Producción no comercial					
10.101	918	427	0,47	6,26	15,05
22.727	3.788	1.436	0,35	5,75	17,91
30.303	6.494	1.916	0,34	6,31	16,13
45.455	17.256	5.497	0,31	5,22	15,64

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



**Figura 1. Número de tubérculos (A) y rendimiento (B) de ñame espino cv. Brasileiro tipo exportación en función de la densidad de siembra.**

(2016) agregan que la producción también depende del peso de los tubérculos. En este sentido, Semaw (2014) señala que cuando se incrementa la densidad poblacional, las plantas son más eficientes en la utilización del agua y la energía radiante, por lo tanto, existe un aumento de la fotosíntesis y partición de asimilados a los órganos de reserva; no obstante, De Souza y Soares (1998) y Meneses (2008) reportan que existe un punto donde las plantas comienzan a competir por recursos ambientales, donde predomina un alto nivel de sombreado entre plantas vecinas y competencia por agua y nutrientes, que finalmente limita la fotosíntesis y partición de asimilados hacia el tubérculo.

El máximo rendimiento comercial obtenido difiere parcialmente de Cardona (2007), quien en el cultivar de ñame espino guinea obtuvo un rendimiento de  $50.752 \text{ kg ha}^{-1}$  con una densidad de 28.604 plantas/ha. Sin embargo, el asocio del mayor rendimiento a una densidad de población inferior a la máxima evaluada, coinciden con Okpara *et al.* (2014), quienes en *D. rotundata* con densidades de población entre 33.333 a 100.000 plantas/ha,

encontraron que en el primer año el rendimiento se incrementó hasta 66.666 plantas/ha. Similares resultados reportan Masarirambi *et al.* (2012) y Razaq *et al.* (2015) en papa (*Solanum tuberosum*), y Rojas (2007) en yuca (*Manihot esculenta*), cuando aumentaron el número de plantas/ha.

En cuanto al peso de los tubérculos tipo exportación, se observó que el peso promedio no fue influenciado por la densidad poblacional (tabla 2). Esto obedece a que la actividad fotosintética de la planta no fue alterada por la densidad de población, tal como lo reportan Pérez *et al.* (2015) en este mismo cultivar. La respuesta de esta variable difiere de las investigaciones de Otoo (1980), Cardona (2007), Okpara *et al.* (2014) y Cornet *et al.* (2016) en *D. rotundata*, quienes lograron reducir el peso de los tubérculos con una densidad de población media o máxima; sin embargo, De Souza y Soares (1998) encontraron en *Dioscorea cayennensis* L. que el peso de los tubérculos no se modificó con la densidad de población.

Con referencia a la producción total (tipo exportación y no exportación), la producción tipo ex-

portación tendió a reducirse en la medida que se incrementó la densidad poblacional, siendo del 90% la proporción de la densidad de 10.101 plantas/ha, seguida de los tratamientos de 22.727; 30.303 y 45.455 plantas/ha con 81,1; 76,39 y 51%, respectivamente (tabla 2). El alto porcentaje de tubérculos no exportables se explicó por la fuerte competencia entre plantas, tal como se describió anteriormente. En contraste, los tubérculos comerciales son producidos por una mayor disponibilidad de recursos, favorecidos por una mayor eficiencia durante su desarrollo, tal como indican Santos y Rodríguez (2008) y Getachew (2012).

La forma de los tubérculos de ñame espino tuvo tendencia entre la oval y cilíndrica, predominando esta última (figura 2). Estas formas no respondieron a la densidad de siembra, sin embargo, las densidades de 22.727 y 45.454 plantas/ha desarrollaron la mayor proporción de tubérculos cilíndricos con 71,67 y 55,56%, respectivamente, característica deseable para la exportación. Algu-

nos autores como Acosta (1980) y Orkwor *et al.* (1998) reportan que la forma cilíndrica es la más común en los tubérculos de *D. rotundata*.

La respuesta de la forma de los tubérculos con la densidad de siembra difiere de los resultados de Cardona (2007) en *D. rotundata*, que con la mayor densidad logró modificar la forma de los tubérculos de irregulares a cilíndricos.

### Análisis económico

Los costos de producción de ñame espino se incrementaron conforme aumentó la población de plantas/ha, donde los rubros que marcaron los costos de producción fueron mano de obra, insumos y mecanización (tabla 3). La mano de obra aumentó a medida que se incrementó el número de plantas/ha; mientras que los costos de mecanización/ha se redujeron. Los costos de los insumos se mantuvieron constantes en relación a las diferentes densidades de siembra oscilando entre 46 y 48%.

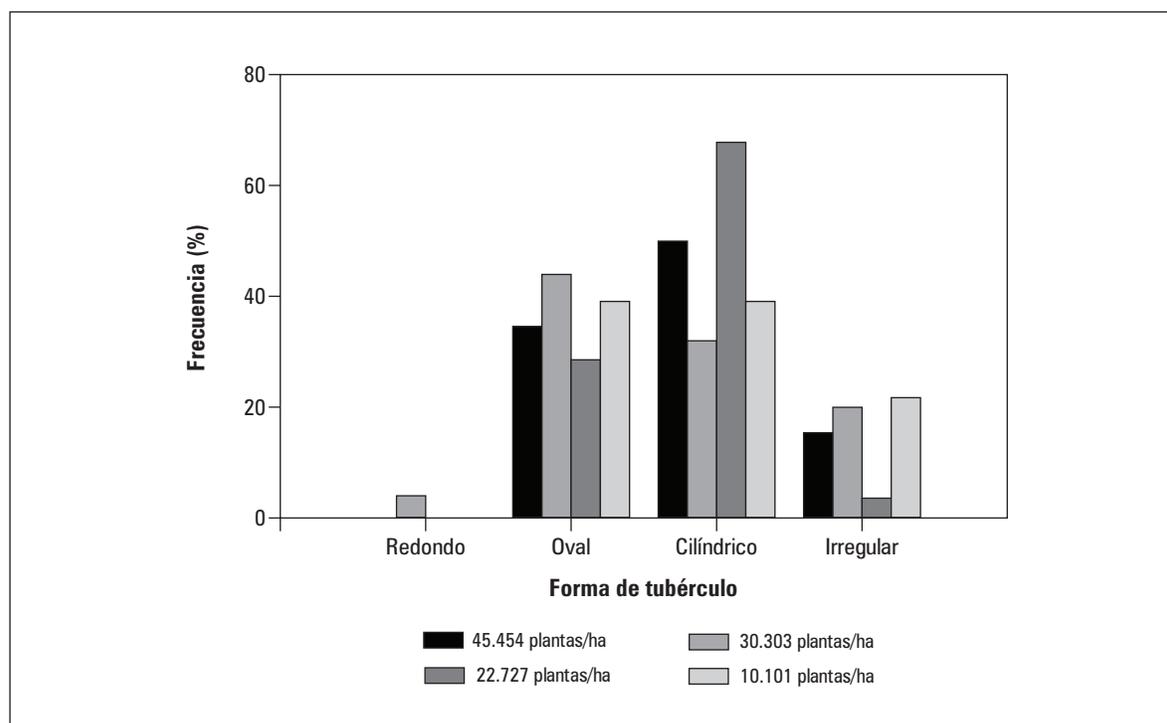


Figura 2. Efecto de cuatro densidades de siembra sobre la forma de los tubérculos de ñame espino cv. Brasileiro.

En los insumos, los gastos de semilla y tutorado se incrementaron con la densidad de población, siendo los más costosos, invirtiéndose hasta el 24,24 y 16,61% de los costos de producción, respectivamente (datos no mostrados). La inversión de tutores a pesar de ser costosa, se hace cada tres años, ya que este es su periodo de durabilidad bajo condiciones de campo.

La rentabilidad se incrementó en la medida que aumentó la densidad poblacional. Entre 10.101 y 30.303 plantas/ha la rentabilidad se incrementó 618,85%, pero entre esta última y 45.455 plantas/ha, se redujo significativamente (58,01%); lo que indica que la población óptima para la variedad espino cv. Brasileiro fue 30.303 plantas/ha.

El hecho de que la densidad de 30.303 plantas/ha sea la de mayor beneficio para los inversionistas, se explica por la alta rentabilidad, que a su vez obedece a los altos rendimientos de este sistema, asociados con los más bajos costos de producción por tonelada (tabla 3). Resultados similares reporta el MDA (2011) en ñame diamante 22 (*Dioscorea alata*), donde la máxima densidad de siembra no fue la de mayor rentabilidad.

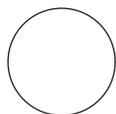
Con el aumento del número de plantas/ha, también se incrementó la cantidad de tubérculos no exportables, no considerándose esto como aspecto negativo, ya que estos tubérculos se pueden vender como semilla al mismo precio de los tubérculos de exportación.

**Tabla 3. Impacto de adopción de la producción de cuatro densidades de siembra de ñame espino, en seco y sistema de tutorado por espalderas, Montería, Córdoba.**

Descripción	Densidad poblacional (plantas/ha)			
	10.101	22.727	30.303	45.454
Total costo producción/ha	\$ 12.117.861 (US\$ 4.417)	\$ 14.952.335 (US\$ 5.450)	\$ 19.653.685 (US\$ 7.164)	\$ 22.982.696 (US\$ 8.377)
Total costos producción/t (tubérculos comerciales y no comerciales)	\$ 860.338 (US\$ 314)	\$ 676.852 (US\$ 247)	\$ 461.538 (US\$ 168)	\$ 671.204 (US\$ 245)
Rendimiento promedio de tubérculos comerciales o tipo exportación (kg ha <sup>-1</sup> )	13.658	20.655	40.667	28.744
Rendimiento promedio de tubérculos no comerciales (kg ha <sup>-1</sup> )	427	1.436	1.916	5.497
Rentabilidad (%)	16,23	47,74	116,67	48,99
Mano de obra (%)	30,08	33,21	33,28	35,57
Mecanización (%)	3,71	3,01	2,29	1,96
Insumos (%)	46,71	46,17	48,74	47,66
Costo de oportunidad de la tierra (\$/ha)	\$ 600.000 (US\$ 219)	\$ 600.000 (US\$ 219)	\$ 600.000 (US\$ 219)	\$ 600.000 (US\$ 219)
Jornales/ha	243	331	436	545
Costo mano de obra	\$ 3.645.000 (US\$ 1.329)	\$ 4.965.000 (US\$ 1.810)	\$ 6.540.000 (US\$ 2.384)	\$ 8.175.000 (US\$ 2.980)
Precio corriente al productor diciembre 2015 (\$/t)	\$ 1.000.000 (US\$ 365)	\$ 1.000.000 (US\$ 365)	\$ 1.000.000 (US\$ 365)	\$ 1.000.000 (US\$ 365)
Beneficios netos/t	\$ 139.662 (US\$ 51)	\$ 323.148 (US\$ 118)	\$ 538.462 (US\$ 196)	\$ 328.796 (US\$ 120)
Razón beneficio/costo	0,16	0,48	1,17	0,49
Rendimientos obtenidos	-	51,23%	197,75%	110,46%
Utilidad total/ha (tubérculos comerciales y no comerciales)	\$ 1.917.139 (US\$ 717)	\$ 7.138.665 (US\$ 2.603)	\$ 22.929.315 (US\$ 8.359)	\$ 11.258.304 (US\$ 4.104)

## CONCLUSIONES

El aumento poblacional de ñame espinoso cv. Brasileiro respondió significativamente al triplicar el número de tubérculos tipo exportación por área de siembra, al igual que su rentabilidad.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, C. 1980. El cultivo del ñame (*Dioscorea* spp.). Temas de Orientación Agropecuaria (TOA) 145, 18-66.
- Agronet. 2016. Estadísticas área cosechada, producción y rendimiento de ñame, 1986-2014. En: <http://www.agronet.gov.co>; consulta: enero de 2016.
- Álvarez, A. 2000. Prácticas agronómicas para el cultivo de ñame. pp. 33-39. En: Guzmán, M., Buitrago, G. (ed). Ñame: Producción de semillas por biotecnología. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Blake, R. 1983. A set size and spacing trial in white yam (*Dioscorea alata* L.). pp. 11-20. En: Proc. Caribbean Regional Workshop on Tropical Root Crops. AGRIS, Jamaica.
- Bouzo, C. 2000. El cultivo de la papa en Argentina. Universidad del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Cardona, J. 2007. Distancia de siembra en la producción y calidad de ñame Guinea negro (*D. rotundata*). J. Agric. Univ. P.R. 91(1-2), 61- 65.
- Cornet, D., J. Sierra, R. Tournebize y B. Ney. 2014. Yams (*Dioscorea* spp.) plant size hierarchy and yield variability: Emergence time is critical. *Europ. J. Agron.* 55, 100-107. Doi: 10.1016/j.eja.2014.02.002
- Cornet, D., J. Sierra, R. Tournebize, B. Gabrielle y F. Lewis. 2016. Bayesian network modeling of early growth stages yam interplant yield variability and allows for agronomic improvement in West Africa. *Europ. J. Agron.* 75, 80-88. Doi: 10.1016/j.eja.2016.01.009
- CNP. 2015. Sistema de información de mercados agroalimentarios: Análisis de mercado de ñame. Boletín No. 1. Consejo Nacional de Producción, San José, Costa Rica.
- De Souza, L. y E. Soares. 1998. Estudo da freqüência de irrigação, densidade de plantas e níveis de nitrogênio na cultura do inhame. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental.* 2, 37-41. Doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v02n01p37-41
- FAO. 2016. Yam production statistics 2013. Faostat, FAO, Roma.
- Fundación Procaribe. 2012. Guía práctica para el manejo orgánico del cultivo de ñame tipo exportación. En: [https://issuu.com/swissaid-ko/docs/cartilla\\_ame\\_julio\\_2012](https://issuu.com/swissaid-ko/docs/cartilla_ame_julio_2012); consulta: octubre de 2015.
- Getachew, T., D. Belew y S. Tulu. 2012. Yield and growth parameters of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by intra row spacing and time of earthing up: In Boneya Dagem District, Central Highlands of Ethiopia. *Int. J. Agric. Res.* 7(5), 255-265. Doi: 10.3923/ijar.2012.255.265
- Heredia, N., M. Carmo y A. Minuzzi. 2000. Produção de cará (*Dioscorea* sp.) em diferentes densidades de plantio. *Ciênc. Agrotec.* 24 (2), 387-391
- IPGRI-IITA. 1997. Descriptores para el ñame (*Dioscorea* spp). Instituto Internacional de Agricultura Tropical, Ibadan, Nigeria.
- Masarirambi, M., F. Mandisodza, A. Mashingaidze y E. Bhebhe. 2012. Influence of plant population and seed tuber size on growth and yield components of potato (*Solanum tuberosum*). *Int. J. Agric. Biol.* 14 (4), 545-551.
- Meneses, C. 2008. Absorção de NPK na cultura do inhame (*Dioscorea cayennensis* Lam) em três densidades de plantio. Tesis de maestría. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil.
- MDA. 2011. Costos de producción de rubros agrícolas. Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá.
- Okpara, D., A. Ikoro, E. Mbah y F. Akpaninyang. 2014. Growth and yield of white yam (*Dioscorea rotundata* Poir.) microsett in response to plant population and NPK fertilizer. *Nig. J. Crop Sci.* 2(1), 72-76.

- Orkwo, G., R. Asiedu e I. Ekanayake. 1998. Food yams: Advances in research. International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria.
- Otoo, J.A. 1980. Effect of time of topping and spacing on seed yam yield. *Ghana J. Agric. Sci.* 13, 93-100.
- Palencia, G., T. Mercado y E. Combatt. 2006. Estudio agrometeorológico del departamento de Córdoba. Gráficas del Caribe, Montería, Colombia.
- Pérez, D., R. Campo y A. Jarma. 2015. Respuesta fisiológica del ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir.) a las densidades de siembra. *Rev. Cien. Agr.* 32(2), 117-124.
- Razaq, M., A. Rab, H. Alam, Salahuddin, S. Saud y Z. Ahmad. 2015. Effect of potash levels and plant density on potato yield. *J. Biol. Agric. Healthcare* 5(13), 55-62.
- Reina, Y. 2012. Documentos sobre economía regional: El cultivo de ñame en el Caribe colombiano. Banco de la Republica, Cartagena.
- Robles, P. 2008. Influencia de la densidad de plantación sobre la producción y calidad de dos cultivares de patata. Tesis de especialización. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Rojas, R., W. Gutiérrez, D. Esparza, B. Medina, Y. Villalobos y L. Morales. 2007. Efecto de la densidad de plantación sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de la yuca *Manihot esculenta* Crantz, bajo las condiciones agroecológicas de la Altiplanicie de Maracaibo. *Rev. Fac. Agr.* 24(1), 94-112.
- Sánchez, C. y L. Hernández. 1998. Descripción de aspectos productivos de postcosecha y de comercialización del ñame en Córdoba, Sucre y Bolívar. Corpoica, C.I. Turipaná, Cereté, Colombia.
- Santos, B. y P. Rodríguez. 2008. Optimum in-row distances for potato minituber production. *HortTechnol.* 18(3), 404-405.
- SAS. 1999. SAS Software. Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Semaw, W. 2014. Effect of planting density on growth and yield of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] varieties in Habru district, northern Ethiopia. College of Agriculture and Environmental Science, Haramaya University, East Harerge, Etiopia.

# Efecto de la labranza en la estabilidad estructural y resistencia a la penetración en un Inceptisol sembrado con arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en Boyacá

Effect of tillage on the structural stability and resistance to penetration of a Inceptisol planted with arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) in Boyaca



YOMAIRA LINEY PINTO-ACERO<sup>1</sup>

JAVIER GIOVANNI ÁLVAREZ-HERRERA<sup>1, 3</sup>

FABIO EMILIO FORERO-ULLOA<sup>2</sup>

**Cultivo de arracacha  
en Boyacá, Boyacá.**

Foto: Y.L. Pinto-Acero

## RESUMEN

En el municipio de Boyacá (departamento de Boyacá, Colombia), la producción de arracacha constituye una fuente de ingresos importante para los agricultores. Debido a la escasa información sobre el paquete tecnológico para este cultivo, se estudió el efecto de diferentes sistemas de labranza (labranza mínima, labranza convencional y labranza vertical) sobre algunas de las principales propiedades físicas de un suelo Typic Dystrudepts, con pendiente del 3%, tipo de paisaje montañoso y tipo de relieve lomerío; durante cuatro épocas de muestreo (antes de la preparación (E1), después de la preparación (E2), 100 días después de la siembra (E3) y 180 días después de la siembra (E4)). El diseño fue en bloques completamente aleatorizados, donde cada bloque correspondió a un tipo de labranza, y los tratamientos fueron dos materiales de arracacha (Yema de huevo y Paliverde). Los valores más bajos de resistencia a la penetración se presentaron en la labranza vertical a los 12,5; 17,5 y 20 cm, con valores de 262,8; 810,8 y 1337,5 kPa respectivamente, del mismo modo, este tipo de labranza presentó una mayor estabilidad estructural y un gran porcentaje de distribución de agregados de tamaño entre 1 y 3 mm, con un valor promedio de 31,4%, frente a la labranza convencional y la labranza mínima, con valores de 22% y 25,2% respectivamente, lo cual favoreció el desarrollo radicular de las plantas de arracacha. La mayor diferencia entre los tipos de labranza para la distribución por tamaño de agregados se presentó a los 100 días después de la siembra. Los materiales de arracacha evaluados no afectaron de forma significativa ninguno de los parámetros del suelo.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia).

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia).

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

**Palabras clave adicionales:** diámetro ponderado medio, estabilidad estructural, Yema de huevo, Paliverde, agregados.

## ABSTRACT

In the municipality of Boyaca (Boyaca, Colombia), arracacha production constitutes an important source of income for farmers. Because of the limited information on the technology used for this crop, the effect of different tillage systems (minimum tillage, conventional tillage and vertical tillage) on some of the main physical properties of a Typic Dystrudept was studied, with a slope of 3%, mountainous type landscape and hilly relief, using four sampling times (before preparation (E1), after preparation (E2), 100 days after planting (E3) and 180 days after planting (E4)). The design employed a randomized block, wherein each block corresponded to a type of farming and the treatments used two arracacha types (Yema de huevo and Paliverde). The lower values of penetration resistance were seen with the vertical tillage at 12.5, 17.5 and 20 cm with values of 262.8, 810.8 and 1337.5 kPa, respectively. Furthermore, the vertical tillage had a greater increased structural stability and larger percentage of aggregate distribution for sizes between 1 and 3 mm, with an average value of 31.4%, than the conventional tillage and minimum tillage, which had values of 22% and 25.2%, respectively, which favored root development in the arracacha plants. The biggest difference between the types of tillage in terms of aggregate size distribution was seen at 100 days after sowing. The evaluated arracacha materials did not significantly affect any of the evaluated soil parameters.

**Additional keywords:** weighted mean diameter, structural stability, yema de huevo, Paliverde, aggregates.

Fecha de recepción: 09-02-2016

Aprobado para publicación: 14-05-2016

## INTRODUCCIÓN

De las 714 ha sembradas con arracacha en el departamento de Boyacá (Colombia), el 28% del área cultivada se encuentra en el municipio de Boyacá. Su rendimiento promedio en  $\text{kg ha}^{-1}$  es superior en un 25% al establecido a nivel departamental ( $9.018 \text{ kg ha}^{-1}$ ), frente a los  $12.000 \text{ kg ha}^{-1}$  obtenidos a nivel local (EOT, 2007). Sin embargo, esta especie que ha sido de importancia económica en regiones con tipo de tenencia de tierra minifundista no ha sido objeto de la aplicación de tecnologías de mejoramiento tanto en el manejo de las labores de cultivo como en la cosecha o en su industrialización (Alvarado y Ochoa, 2010).

Una de las variables que más afecta el crecimiento óptimo de la arracacha es la resistencia

del suelo a la penetración, debido a que este atributo influye en el desarrollo radicular (Cortés *et al.*, 2013), así mismo, se conoce que en algunos suelos a mayor profundidad en el perfil, este tiende a ser más compacto (Keller *et al.*, 2013). También es sabido que la resistencia a la penetración es una de las propiedades que más se ve afectada por la mecanización (Ramírez-López *et al.*, 2008), debido a que al labrar un suelo este cambia propiedades como la densidad aparente, porosidad y aireación. Por otro lado, un suelo excesivamente cultivado puede llegar a presentar problemas de compactación, lo cual conduce a cambios en el desarrollo de las raíces, y puede llegar a limitar la absorción de nutrientes (Casanova y Lobo, 2007). Otro factor importante es la

estabilidad estructural debido a que la susceptibilidad del suelo está estrechamente relacionada con esta (Barthes y Roose 2002). La mecanización de un suelo tiende a que el diámetro ponderado medio sea más bajo que sin mecanización (Safar *et al.*, 2011).

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la relación entre la resistencia a la penetración y la estabilidad estructural del suelo, observando diferentes tipos de labranza para la siembra de arracacha, de los materiales Yema de huevo y Paliverde, durante los primeros días de crecimiento del cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La fase de campo del estudio se desarrolló en la vereda Huerta Grande en el municipio de Boyacá (Boyacá), situado a 5°11'40"N y 73°08'44"W, a una altitud de 2.400 msnm con una precipitación de 1.477 mm acumulados en el periodo comprendido entre los meses de mayo a diciembre de 2014. Los datos de temperatura registrados indican que la temperatura media fue de 11°C y la humedad relativa promedio fue de 80% (Ideam, 2014). El tipo de suelo identificado fue Typic Dystrudepts (tabla 1), con una pendiente del 3%, tipo de paisaje montañoso y tipo de relieve lomerío, altamente representativo para la zona productora de arracacha. La fase de laboratorio se realizó en los laboratorios de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

Se utilizaron 450 colinos de material Paliverde y 450 colinos de material Yema de huevo, debido a su alta comercialización y producción en la zona de estudio. La preparación del suelo se realizó con un tractor Kubota M9540, con arado de discos (LC), cincel vibratorio (LV) y azadón (LM).

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados, en donde cada bloque

correspondió a un tipo de labranza. Se establecieron dos tratamientos (yema de huevo y paliverde) con tres repeticiones para un total de seis unidades experimentales (UE) por bloque. Cada bloque tenía una medida de 6 m x 24 m, y cada UE tenía un tamaño de 24 m<sup>2</sup>.

La resistencia a la penetración se determinó con un penetrómetro cónico digital Fieldsout SC 900 (Spectrum Technologies, Aurora, IL), para lo cual se tomaron muestras hasta una profundidad de 25 cm, cada 2,5 cm, con lo cual se obtuvo un total de 11 datos, los cuales fueron medidos en cuatro épocas: época 1 (E1): antes de la preparación del suelo; época 2 (E2): se realizó en el momento de la preparación del suelo para determinar si se presentaba algún cambio en las propiedades físicas con la utilización de los aperos en la labranza; época 3 (E3): se llevó a cabo a los 100 d después de la siembra, con el fin de observar el cambio en las variables evaluadas a lo largo del tiempo y el efecto del crecimiento longitudinal de las raíces en las propiedades físicas; época 4 (E4): se realizó a los 185 d después de la siembra.

El diámetro ponderado medio (DPM) se determinó con el tamizado en seco el cual proporciona una medida del porcentaje de los diferentes tamaños de agregados, para lo cual se tomó una muestra de 120 g de suelo, se depositó en la torre de tamices, y se colocó en la máquina agitadora durante 10 min, manteniendo constante el tiempo y la velocidad para todas las muestras; luego se determinó la masa de suelo retenida en cada uno de los tamices en una balanza electrónica Acculab VIC 612 de 0,01g de precisión (Sartorius España, Madrid). Para calcular el DPM se utilizó la siguiente fórmula:

$$DPM = \sum \bar{X}_i \frac{w_i}{100} \quad (1)$$

En donde: DPM: diámetro ponderado medio;  $\bar{X}_i$ : diámetro promedio de la fracción para cada tamiz;  $w_i$ : porcentaje del peso total de la fracción retenida en cada tamiz.

**Tabla 1. Descripción taxonómica y morfológica del suelo de estudio.**

Taxonomía	Typic Dystrudepts
Localización	Municipio de Boyacá (Boyacá)
Sitio	Finca la Huerta, vía vereda Huerta Grande
Altitud	2400 msnm
Ubicación geográfica	5°11'40"N y 73°08'44"W
Paisaje	Montaña
Tipo de relieve	Lomas
Litología o material parental	Shale gris oscuro con intercalaciones de areniscas y lutitas
Relieve	Medianamente ondulado
Longitud de la pendiente	Corta
Gradiente de la pendiente	3-5%
Forma de la pendiente	Irregular
Clima ambiental	Frío transicional a seco
Zona de vida	Bosque húmedo montano bajo (bh-MB)
Clima edáfico	Údico
Erosión	Por escurrimiento difuso
Drenaje	Interno: lento, Externo: moderado; natural, bien drenado
Profundidad efectiva	Clase: superficial
Limitante de la profundidad	Cambio textural abrupto
Características diagnósticas	Epipedón: Ócrico Endopedón: Cámbico, régimen de humedad údico y baja saturación de bases.
Uso actual	Cultivos de pastos dedicados a la ganadería bovina
Limitantes del uso	Fertilidad y precipitación baja
Vegetación natural	Kikuyo,
Clasificación por capacidad de uso	Clase: IV
Descrito por	Yomaira Liney Pinto-Acero

0-20 cm Ap	Color en húmedo gris claro (10 YR 6/8), color en seco (7,5 YR 4/3) textura franco arcillosa (FAr), estructura: bloques angulares. Clase: medianos y gruesos, fuertes, consistencia en húmedo friable en seco dura, en mojado pegajosa y plástica. Con pocas raíces medias, y poca actividad de microorganismos, límite liso y abrupto; pH 7,6, ligeramente alcalino.
20-37 cm Bt	Color en húmedo pardo muy pálido (10 YR 7/3), color en seco (2,5 Y 6/6), textura franco arcillosa (FAr), estructura: bloques angulares y subangulares, Clase: gruesa, fuerte, consistencia en seco dura, en húmedo muy pegajosa, en mojado plástica; con baja presencia de macroorganismos y baja presencia de raíces, límite claro y ondulado; pH 6,5, reacción ligeramente ácido.
37-70 cm BC	Color en húmedo amarillo parduzco (10 YR 6/8), color en seco amarillo (10 YR 7/8), textura: arcillosa (Ar), estructura: bloques subangulares, Clase: gruesa y fuerte, consistencia en seco dura, en húmedo muy pegajosa; en mojado plástica; baja porosidad, baja presencia de macroorganismos, y no hay presencia de raíces; pH 6,9, reacción ligeramente ácido.

La distribución por tamaño de agregados se determinó como el porcentaje de tamaño medio de agregados vs. el porcentaje acumulado de agregados.

Con los datos, se realizó pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, posteriormente se hicieron análisis de varianza para determinar las diferencias estadísticas con un grado de confiabi-

lidad del 95%, y así determinar los mejores tratamientos con pruebas de comparación de promedios Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Los análisis se realizaron con el programa R versión 3.1.2.2.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de la preparación del suelo (E1), el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ni bloques (tabla 2), lo que significa que el suelo donde se desarrolló el estudio era estadísticamente homogéneo. Se observó que la resistencia a la penetración es cada vez mayor a medida que se profundiza en el perfil del suelo, independientemente del tipo de labranza empleado, aunque el contenido de humedad también influye en la compactación (Kirsch, 2010), caso contrario a lo reportado por Henríquez *et al.* (2011), quien en un suelo clasificado como Dystrudepts de Costa Rica usado en cafetales, determinaron que el nivel de compactación diferencial, en la superficie del suelo mostró los mayores valores de las variables relacionadas a la compactación que los valores encontrados a los 15 cm. Los valores de la E1 coinciden con lo reportado por Siczek y Lipiec (2011), quienes afirman que la compactación inicial antes de cualquier arado está asociada al paso del tractor.

En el muestreo realizado después de la preparación del suelo (E2), no se presentó diferencias estadísticas entre tratamientos, pero sí entre bloques (tabla 1), donde la LM hasta los 25 cm de muestreo presentó los valores más altos de resistencia a la penetración, lo cual coincide con lo reportado por Keller *et al.* (2013), quienes mencionan que altos valores de compactación reducen el volumen de poros disponibles para el almacenamiento de fluidos. El suelo preparado con LC y LV presentó la menor resistencia a la penetración, debido a que la mecanización conlleva a la generación de nuevos macroporos estructurales (Cortés *et al.*, 2013). Para el caso de los tres bloques, se presentó diferencias altamen-

te significativas en la E2 a los 12,5; 17,5 y 20 cm, para la LV con valores de menor resistencia a la penetración de 262,8; 810,8 y 1337,5 kPa, respectivamente, comparado con la LM, la cual tuvo mayor resistencia con valores de 665, 1.192,4 y 1.775,9 kPa, respectivamente, y LC con valores intermedios de 497,9; 1.000,2 y 1.566 kPa respectivamente (figura 1B).

En cuanto a la E3, se evidenciaron diferencias altamente significativas a los 12,5 y 20 cm de profundidad, en donde la LV con valores promedio de 312,8 kPa, en comparación con la LM y LC con valores de 685 y 557,9 kPa respectivamente (figura 1C). Para la última época de muestreo (E4), se presentaron diferencias altamente significativas a los 20 cm de profundidad, en donde la LV tuvo valores promedio de 1.347,5 kPa, comparándola con la LM y LC 1.885,9 y 1.716 kPa, respectivamente (figura 1D).

Posiblemente, como las mediciones se realizaron después de ser preparado el suelo, los aperos utilizados en LV y LC permitieron la ruptura de los agregados del suelo y por ende disminuyó los valores de presión ejercidos en el perfil. Al respecto, Lipiec *et al.* (2012) afirman que al aumentar la compactación aumentan los agregados de tamaño  $>3$  mm, lo que coincide con los resultados obtenidos en este trabajo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que a medida que se profundiza en el perfil del suelo este tiende a ser más compacto, probablemente, una de las causas sea el tráfico de la maquinaria agrícola, cuyo efecto es acumulativo, así como a la carga *in situ* producida por los neumáticos agrícolas (Keller y Lamandé, 2010), los diferentes tipos de labranza (Kim *et al.*, 2010), y las condiciones iniciales del suelo (Lamandé y Schjonning, 2011). Botta *et al.* (2002) consideran que es aconsejable dividir la compactación del suelo en dos: compactación superficial y compactación del subsuelo, ya que la compactación del subsuelo está directamente influenciada por el peso total del rodado (Alaouit *et al.*, 2011), siendo independiente de la presión ejercida por el contacto rueda-suelo, establecien-

**Tabla 2. P-valor de la resistencia a la penetración con tres tipos de labranza en un Inceptisol en Boyacá-Boyacá a diferentes profundidades.**

Profundidad (cm)	Época	Labranza vertical	Labranza mínima	Labranza convencional	P-valor
0	E1	110,0 a	105,0 a	115,0 a	0,631 ns
	E2	44,7 a	101,7 b	58,3 ab	0,044 *
	E3	74,7 a	102,7 b	68,3 ab	0,049 *
	E4	71,7 a	101,0 b	61,3 ab	0,039 *
2,5	E1	140,0 a	125,0 a	130,0 a	0,674 ns
	E2	58,3 a	125,0 b	89,2 ab	0,049 *
	E3	88,3 a	121,0 b	109,2 ab	0,029 *
	E4	81,3 a	118,0 b	102,2 ab	0,048 *
5	E1	210,0 a	245,0 a	225,0 a	0,693 ns
	E2	103,1 a	212,2 b	159,2 ab	0,041 *
	E3	123,1 a	216,2 b	179,2 ab	0,031 *
	E4	113,1 a	218,2 b	171,2 ab	0,049 *
7,5	E1	340,0 a	380,0 a	365,0 a	0,513 ns
	E2	134,2 a	326,6 a	271,7 ab	0,039 *
	E3	164,2 a	336,6 b	291,7 b	0,036 *
	E4	151,2 a	334,6 b	281,7 ab	0,019 *
10	E1	630,0 a	650,0 a	675,0 a	0,493 ns
	E2	212,3 a	529,8 b	391,4 ab	0,032 *
	E3	272,3 a	539,8 b	421,4 b	0,012 *
	E4	252,3 a	531,8 b	411,4 b	0,023 *
12,5	E1	810,0 a	790,0 a	835,0 a	0,623 ns
	E2	262,8 a	665,0 b	497,9 b	0,0016 **
	E3	312,8 a	685,0 b	557,9 b	0,0086 **
	E4	302,8 a	694,0 b	567,9 b	0,036 *
15	E1	890,0 a	950,0 a	930,0 a	0,423 NS
	E2	372,8 a	798,2 b	640,7 b	0,038 *
	E3	472,8 a	828,2 b	690,7 b	0,021 *
	E4	452,8 a	833,2 b	698,7 ab	0,047 *
17,5	E1	1.210,0 a	1.330,0 a	1.270,0 a	0,393 ns
	E2	810,8 a	1.192,4 b	1.000,2 b	0,0021
	E3	910,8 a	1.232,4 b	1.100,2 ab	0,045 *
	E4	880,8 a	1.222,4 b	1.140,2 ab	0,049 *
20	E1	1.990,0 a	1.910,0 a	1.960,0 a	0,335 ns
	E2	1.337,5 a	1.775,9 b	1.566,0 b	0,0025 **
	E3	1.337,5 a	1.845,9 b	1.696,0 b	0,0056 **
	E4	1.347,5 a	1.885,9 b	1.716,0 b	0,0013 **
22,5	E1	2.400,0 a	2.460,0 a	2.350,0 a	0,403 ns
	E2	2.183,9 a	2.390,2 ab	2.334,7 ab	0,042 *
	E3	2.233,9 a	2.430,2 b	2.354,7 b	0,034 *
	E4	2.263,9 a	2.490,2 b	2.394,7 ab	0,046 *
25	E1	2.580,0 a	2.600,0 a	2.550,0 a	0,583 ns
	E2	2.395,2 a	2.508,8 a	2.467,6 a	0,078 ns
	E3	2.435,2 a	2.518,8 a	2.497,6 a	0,052 ns
	E4	2.485,2 a	2.558,8 a	2.527,6 a	0,097 ns

\*\*Diferencias significativas al 1% según la prueba de Tukey; \*Diferencias significativas al 5%; ns: no hay diferencias, de acuerdo con el análisis de varianza.

E1: antes de la preparación del suelo; E2: después de la preparación del suelo; E3: 100 d después de la siembra; E4: 185 d después de la siembra

do que, a mayor peso, mayor es la profundidad a la que se espera encontrar la compactación.

La degradación física del suelo tiene como causa principal la compactación (Pagliai *et al.*, 2003). Al respecto, Terminiello *et al.* (2007) y Hamza y Anderson (2005) resaltan la necesidad de reducir el peso total del conjunto tractor-implemento, pero se debe tener en cuenta que esto implica utilizar equipos más pequeños y por tanto la necesidad de aumentar el número de pasadas sobre cada hectárea de terreno a trabajar, lo cual puede causar mayor o igual compactación que con equipos de mayor magnitud. Caso contrario a lo reportado por Kirby *et al.* (1997) quienes afirman que, en suelo seco, las tensiones en los primeros 10 cm de profundidad son transmitidas principalmente a través de los panes del neumático, los cuales ocupan alrededor de un tercio del área de contacto; sin embargo, a mayor profundidad este efecto no fue significativo.

Forsythe *et al.* (2005) mencionan que se encuentra una mayor resistencia en los primeros centímetros del suelo bajo siembra directa y labranza mínima con respecto a labranza convencional. Posiblemente en la E3 la adición de agua debido a la precipitación incrementó la cohesión, y originó un efecto de lubricación entre las partículas, el cual permitió que estas fuesen realineadas más fácilmente durante el proceso de compresión, donde el aire pudo ser desalojado de los poros, favoreciendo la compactación (González *et al.*, 2008).

### Estabilidad estructural

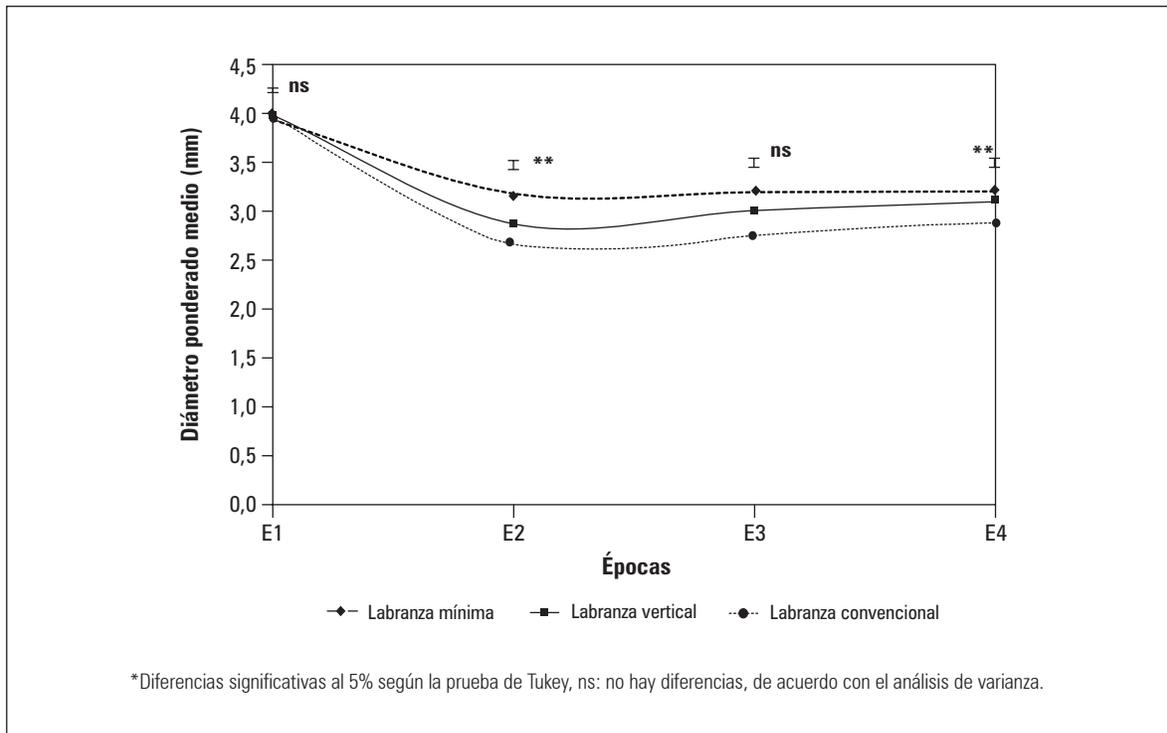
En la tabla 3 se puede observar que la estabilidad estructural medida a través del DPM no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, pero sí entre bloques. La tendencia general del DPM fue disminuir después de la preparación del suelo y luego aumentar en las épocas 3 y 4 (a los 100 y 185 d después de la preparación) (figura 2).

En la E1 no hubo diferencias estadísticas significativas, con un promedio de 3,96 mm partiendo de un suelo estadísticamente homogéneo. Después de la preparación del suelo, E2, disminuyeron todos los valores de la DPM, debido a que cambia el orden de los agregados, los cuales son entidades dinámicas y cuya estabilidad depende del tipo de preparación del suelo (García-Orenes *et al.*, 2009), por lo que es probable que esto haya generado las diferencias estadísticas, siendo la LM la única considerada dentro de un rango estable con un valor promedio de 3,177 mm, posiblemente a que no hubo ruptura del suelo (Baumgarten *et al.*, 2012), y que la fuerza de atracción de Van der Waals se mantuvo (Zhang *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2012), y donde las LV y LC presentaron valores promedio de 2,864 y 2,655 mm respectivamente, considerados moderadamente estables (IGAC, 2006). Dexter y Czyz (2011) afirman que los agregados en el rango de 5 a 3 mm son aptos para la emergencia de las plantas, y que la presencia de macroagregados posibilita una fácil accesibilidad a la biomasa microbiana (Awad *et al.*, 2013), parte importante para mantener la estabilidad de agregados a largo plazo (Gentile *et al.*, 2011).

A los 100 días después de preparación del suelo (E3) no se presentó diferencias estadísticas, pero aumentaron los valores en esta evaluación, debido a que el DPM por lo general tiende a aumentar con el tiempo a causa de la incorporación de sustancias orgánicas y exudaciones radiculares (Grosbellet *et al.*, 2011). La LM y LV presentaron valores de DPM acordes a los rangos del IGAC (2006), los cuales se consideran estables con valores promedios de 3,194 y 3,001 mm respectivamente, frente a la LC con un valor promedio de 2,712 mm, moderadamente estable.

A los 185 ddps (E4) se presentaron diferencias estadísticas significativas, donde LM y LV continuaron con valores estables de DPM mostrando promedios de 3,201 y 3,093 mm respectivamente, en comparación con LC que presentó un





**Figura 2. Comportamiento del diámetro ponderado medio (DPM) para los diferentes tipos de labranza. E1: Antes de la preparación del suelo; E2: después de la preparación del suelo; E3: 100 d después de la siembra; y E4: 185 d después de la siembra. Las barras verticales indican la desviación estándar (n=54).**

DPM de 2,86 considerado moderadamente estable (figura 2), lo que destaca el papel del tipo de labranza en la reconfiguración de las partículas del suelo y la incidencia en el crecimiento de la arracacha y su relación con la distribución y el tamaño de los agregados.

Según Lal y Shukla (2004) existen diversos factores que promueven la formación de agregados, uno de ellos es la presencia de arcillas, las cuales favorecen la agregación, situación que pudo originar el aumento del DPM a lo largo del tiempo. Además la LM mostró los valores más altos de DPM para todas las épocas después de la preparación del suelo (E2, E3 y E4) con valores promedio de 3,17; 3,19 y 3,20 respectivamente, lo que se debe probablemente a que durante la aplicación de cargas, las partículas del suelo son reorganizadas, decrece el espacio poroso, lo cual incrementa la densidad, cambia la forma, el tamaño y la distribución de los poros, limita la capacidad

de retención de humedad y nutrientes del suelo, el intercambio hídrico y gaseoso, y aumenta la impedancia mecánica (Gysi *et al.*, 2001).

Para el porcentaje acumulado de agregados en la primera evaluación antes de la preparación, se parte de un suelo estadísticamente homogéneo, donde el promedio de agregados con un diámetro superior a 6 mm fue del 57,61%, y entre los agregados de 1,5 y 3 mm hay un promedio de 13,11%; se observan agregados con porcentajes inferiores a 0,375 mm como los menos ideales en un suelo con un promedio de 5,56%, teniendo en cuenta que una proporción alta de microagregados se puede considerar como indicador de degradación estructural del suelo (Baumgarten *et al.*, 2012). De igual manera, si hay un mayor número de agregados entre 1 y 3 mm que estén distribuidos en forma tal que la capa no sea completamente homogénea, las relaciones de intercambio gaseoso son mejores y el suelo puede ad-

**Tabla 3. P-valor y promedios del diámetro ponderado medio (DPM) con tres tipos de labranza en un Inceptisol en Boyacá-Boyacá en cuatro épocas de evaluación.**

Época	Labranza vertical	Labranza mínima	Labranza convencional	p-valor
E1	3,991 a	3,9386 a	3,9558 a	0,680 ns
E2	2,864 a	3,1779 b	2,6551 ab	0,047 *
E3	3,001 a	3,1940 a	2,7121 a	0,053 ns
E4	3,093 a	3,2015 a	2,8600 a	0,049 *

quirir y conservar mayor cantidad de agua (Lal y Shukla, 2004).

Después de la preparación del suelo (E2) no hubo diferencias estadísticas con los agregados de tamaño mayores a 6 mm (33,4%), estableciéndose una reducción de un 24,21% en relación con la E1. Sin embargo, para los agregados de tamaño entre 3 y 6 mm sí hubo diferencias estadísticas significativas, se observa en la figura 3B, que el mayor porcentaje lo presenta la LV con un valor promedio de 29,4%, frente a LC y LM con valores de 19% y 21,2% respectivamente. Para el caso de LV, se considera un suelo estable, debido a que presenta el mayor número de agregados por encima de los 2 mm, respecto a la clasificación dada por Volveras y Amézquita (2009).

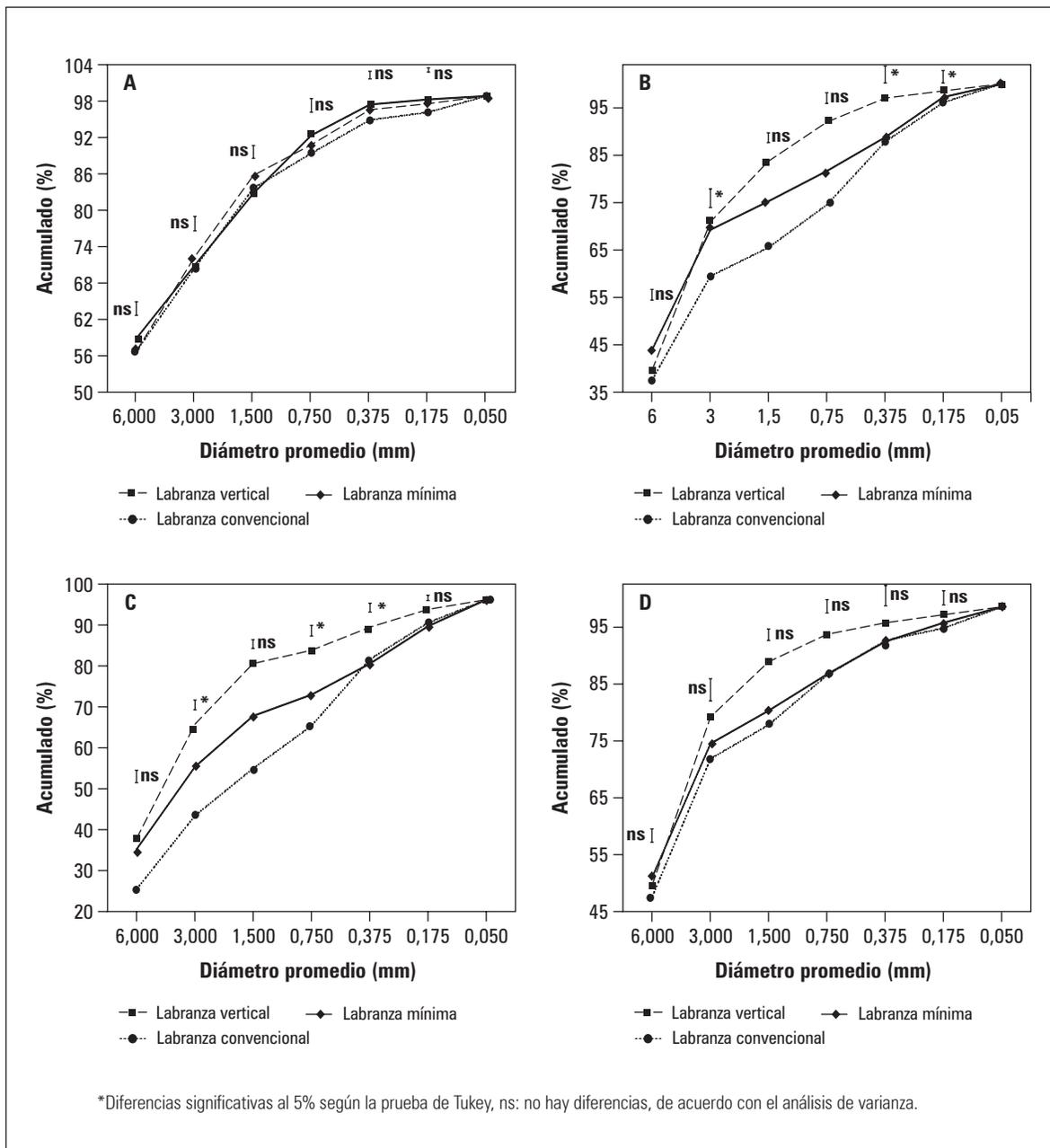
Para los agregados con diámetro entre 1,5 y 3 mm no hubo diferencias estadísticas significativas, ya que los tres tipos de labranza tienen un promedio de 13,56% de agregados. Para el tamaño de agregados comprendido entre 0,75 mm y 1,5 mm hubo diferencias estadísticas significativas, donde la LC tiene el valor más alto con un promedio de 11% de agregados, frente a la LV y LM con valores de 3,36% y 5,51% respectivamente. Esto probablemente se debe a que existió una modificación principalmente del tamaño de los agregados asociados a la baja estabilidad o resistencia de los mismos.

Por último, para los agregados comprendidos entre el rango de 0,375 y 0,75 mm se observa-

ron diferencias estadísticas significativas, donde nuevamente y para los diámetros inferiores los más altos porcentajes de agregados los tiene la LC frente a la LV y LM, teniendo la LV los menores valores de los agregados de estos diámetros.

A los 100 ddps (E3) no se presentaron diferencias estadísticas en los agregados de tamaño mayores a 6 mm con un valor promedio de 40,4%, aumentando en promedio 7% los agregados de este diámetro en relación a la E2, esto pudo ocurrir debido a que el suelo presenta altos contenido de calcio ( $Ca^{2+}$ ), lo cual favorece la estructura, y también a que los cationes absorbidos y el manejo del suelo influyen en este proceso (Ferreira *et al.*, 2000).

Adicionalmente, los agregados entre 3 y 6 mm mostraron diferencias significativas, ya que el mayor porcentaje lo reportó la LV con un valor promedio de 31,4%, frente a LC y LM con valores de 22% y 25,2% respectivamente, obteniéndose en general un aumento en los tres tipos de labranza, pero en mayor proporción la LM. No obstante, para los agregados con diámetro de entre 1,5 y 3 mm no hubo diferencias estadísticas significativas, pero se pudo observar (figura 3C) que en este diámetro el valor promedio de la LM y LC es un 50% menor que al de la LV. Para el diámetro de agregados entre 0,75 mm y 1,5 mm no hay diferencias significativas y las tres labranzas presentaron un valor de 7,95% de agregados en este rango; para los diámetros inferiores a 0,75 mm se evidenciaron diferencias estadísticas donde la LC posee los porcentajes



**Figura 3.** Comportamiento de la distribución por tamaño de agregados para los diferentes tipos de labranza. **A)** Antes de la preparación del suelo (E1); **B)** Después de la preparación del suelo (E2); **C)** 100 d después de la siembra (E3); **D)** 185 d después de la siembra (E4). Las barras verticales indican la desviación estándar (n=18).

más altos de agregados en estos diámetros, lo cual coincide con los estudios reportados por Zhang *et al.* (2012), quienes mencionan que la LC fue la que más generó la reducción de agregados y estabilidad estructural. Por lo anterior,

se pudo observar un proceso de degradación estructural del suelo en el tiempo después de la siembra, con altos porcentajes de agregados de diámetro menor a 2 mm, coincidiendo con reportes de Kim *et al.* (2010) quienes afirman

que una proporción alta de microagregados se puede considerar como indicador de degradación estructural del suelo.

A los 185 ddps (E4) no se presentaron diferencias estadísticas en los agregados para ninguno de los tamaños, sin embargo, para los agregados mayores a 6 mm con un valor promedio de 49,4%, se presentó un aumento, en un promedio de 9% y en relación a la E1, un 8,2% menos. Lo anterior se manifestó a través del tiempo y después de la preparación del suelo, en donde este tiende a recuperar su capacidad de agregación, es decir, probablemente tiende a presentar resiliencia estructural dependiendo del manejo, sin embargo, se considera que el tipo de labranza influye en los procesos de agregación según su tamaño, mas no de forma, y tiene una estrecha relación con el crecimiento radicular de la arracacha, caso similar a lo mencionado por Feinan *et al.* (2015) quienes manifiestan que cuando se presentan microgrietas, estas pueden ser estabilizadas por las acciones de crecimiento de las raíces que las atraviesan.

## CONCLUSIONES

El tipo de labranza ejerce una influencia directa en la resistencia a la penetración y estabilidad

estructural, medida a través del DPM y distribución de agregados por tamaño después de la preparación del suelo y hasta 185 días después de la preparación del suelo.

La labranza vertical (LV) presentó la mejor estabilidad estructural en un Typic Dystrudepts, franco arcilloso; con un mayor número de agregados entre 1 y 3 mm, lo cual permite que el suelo pueda adquirir y conservar mayor cantidad de agua en relación con la labranza convencional (LC).

Los tres tipos de labranza tienen una profundidad de acción de 20 cm en promedio, en donde la LV a lo largo del tiempo presenta los valores más bajos de resistencia a la penetración debido a que tiende a descompactar el suelo más fácilmente.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen para el desarrollo del proyecto de investigación a la Corporación PBA, con el apoyo de Colciencias. Así mismo agradecen a la Dirección de Investigaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por el financiamiento a través del proyecto externo SGI 1778.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaouit, A., J. Lipiec y H.H. Gerke. 2011. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: a hydrodynamic perspective. *Soil Tillage Res.* 115-116, 1-15.
- Alvarado, A. y L. Ochoa. Tecnologías locales de producción de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en el municipio de Boyacá, departamento de Boyacá. *Rev. UDCA Act. Div. Cient.* 13(1), 125-133.
- Awad, Y.M., E. Blagodatskaya, Y.S. Ok y Y. Kuzyakov. 2013. Effects of polyacrylamide, biopolymer and biochar on the decomposition of <sup>14</sup>C-labelled maize residues and on their stabilization in soil aggregates. *Eur. J. Soil Sci.* 64, 488-499. Doi: 10.1111/ejss.12034
- Barthes, B. y E. Roose. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena* 47, 133-149. Doi: 10.1016/S0341-8162(01)00180-1
- Baumgarten, W., T. Neugebauer, E. Fuchs y R. Horn. 2012. Structural stability of Marshland soils of the riparian zone of the tidal Elbe River. *Soil Tillage Res.* 125, 80-88. Doi: 10.1016/j.still.2012.06.002

- Botta, G., D. Jorajuria y L. Draghi. 2002. Influence of the axle load, tire size and configuration, on the compaction of a freshly tilled clayey soil. *J. Terramechanics* 39, 47-54. Doi: 10.1016/S0022-4898(02)00003-4
- Casanova, E. y D. Lobo. 2007. Relación entre la física y la fertilidad de los suelos. *Venesuelos* 15(1), 42-56.
- Cortés, C., J. Camacho-Tamayo y F. Leiva. 2013. Análisis multivariado del comportamiento espacial y temporal de la resistencia del suelo a la penetración. *Acta Agron.* 62(3), 268-278.
- Dexter, A.R. y E.A. Czyz. 2011. Soil crumbling during tillage as a function of soil organic matter content. *Int. Agrophysics* (25), 215-221.
- EOT. Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Boyacá. 2003. Alcaldía Municipal de Boyacá, Boyacá.
- Feinan, H., X. Chenyang, L. Hang, L. Song, Y. Zhenghong, L. Yue y H. Xinhua. 2015. Particles interaction forces and their effects on soil aggregates breakdown. *Soil Tillage Res.* 147, 1-9. Doi: 10.1016/j.still.2014.11.006
- Ferreira, A.J.D., C. Coelho, R. Walsh, R.A. Shakesby, A. Ceballos y S. Doerr. 2000. Hydrological implications of soil water-repellency in *Eucalyptus globulus* forests, north-central Portugal. *J. Hydrology* 231-232, 165-177.
- Forsythe, W., F. Sancho y M. Villatoro. 2005. Efecto de la compactación de los suelos sobre el rendimiento de maíz en tres localidades de Costa Rica. *Agron. Costar.* 29(3), 175-185.
- García-Orenes, F., A. Cerda, J. Mataix-Solera, C. Guerrero, M. Bodi, V. Arcenegui, R. Zornoza y J. Semper. 2009. Effects of agricultural management on Surface soil properties and soil-water losses in Eastern Spain. *Soil Tillage Res.* 106, 117-123.
- Gentile, R., B. Vanlauwe y J. Six. 2011. Litter quality impacts short- but not long-term soil carbon dynamics in soil aggregate fractions. *Ecol. Applications* 21, 695-703. Doi: 10.2307/23021619
- González, O., C. Iglesias, M. Herrera, A. López y A. Iznaga. 2008. Efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralsol. *Rev. Cienc. Téc. Agropecu.* 17(2), 50-54.
- Grosbellet, C., L. Vidal-Beaudet, V. Caubel y S. Charpentier. 2011. Improvement of soil structure formation by degradation of coarse organic matter. *Geoderma* 162(1), 27-38. Doi: 10.1016/j.geoderma.2011.01.003
- Gysi, M., V. Maeder y P. Weisskopf. 2001. Pressure distribution underneath tires of agricultural vehicles. *Transactions of ASA* 44(6), 1385-1389. Doi: 10.13031/2013.7001
- Hamza M. y W. Anderson W. 2005. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Res.* 82, 121-145. Doi: 10.1016/j.still.2004.08.009
- Henríquez, C., O. Ortiz, K. Largaespada, P. Portuquez, M. Vargas, P. Villalobos y D. Gómez. 2011. Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero, Juan Viñas, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 35(1), 175-184.
- IGAC. 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. 6ª ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.
- Keller, T. y M. Lamande. 2010. Challenges in the development of analytical soil compaction models. *Soil Tillage Res.* 111, 54-64. Doi: 10.1016/j.still.2010.08.004
- Keller, T., M. Lamande, S. Peth, M. Berli, J.-Y. Delenne, W. Baumgarten, W. Rabbel, F. Radjai, J. Rajchenbach, A.P.S. Selvadurai y D. Or. 2013. An interdisciplinary approach towards improved understanding of soil deformation during compaction. *Soil Tillage Res.* 128, 61-80. Doi: 10.1016/j.still.2012.10.004
- Kim, H., S.H. Anderson, P.P. Motavalli y C.J. Gantzer. 2010. Compaction effects on soil macropore geometry and related parameters for an arable field. *Geoderma* 160, 244-251. Doi: 10.1016/j.geoderma.2010.09.030
- Kirby, J., B. Blunden y C. Trein. 1997. Simulating soil deformation using a critical state model: II. Soil compaction beneath tyres and tracks. *Eur. J. Soil Sci.* 48, 59-70. Doi: 10.1111/j.1365-2389.1997.tb00185.x
- Kirsch, R. 2010. Petrophysical properties of permeable and low-permeable rocks. pp. 1-22. En: Kirsch, R. (ed.). *Groundwater geophysics*. 2<sup>nd</sup> ed. Springer-Verlag, Berlin.
- Lamandé, M. y P. Schjonning. 2011. Transmission of vertical stress in a real soil profile. Part III. Effect of soil water content. *Soil Tillage Res.* 114, 78-85. Doi: 10.1016/j.still.2010.10.001
- Lipiec, J. M. Hajnos y R. wieboda. 2012. Estimating effects of compaction on pore size distribution of soil aggregates by mercury porosimeter. *Geoderma* 179-180, 20-27. doi:10.1016/j.geoderma.2012.02.014

- Pagliai, M., A. Marsili, P. Servadio, N. Vignozzi y S. Pellegrini. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil Tillage Res.* 73, 119-129. Doi: 10.1016/S0167-1987(03)00105-3
- Ramírez-López, L., A. Reina-Sánchez y J. Camacho-Tamayo. 2008. Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic haplustox de los llanos orientales de Colombia. *Eng. Agríc.* 28(1), 55-63.
- Lal, R. y M.K. Shukla. 2004. *Principles of soil physics.* Marcel Dekker, New York, NY.
- Safar, S., H. González y N. Cappelli. 2011. Efecto de los arados rotativos sobre algunas propiedades físicas de un suelo franco arcilloso. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 6(1), 32-44.
- Siczek, A. y J. Lipiec. 2011. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. *Soil Tillage Res.* 114, 50-56.
- Terminiello A., R. Balbuena, M. Ariata, J. Hilbert, J. Claverie J. y D. Jorajuria. 2007. Compactación inducida por el tránsito vehicular sobre un suelo en producción hortícola. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.* 4(2), 290-293. Doi: 10.1590/S1415-4366200000200027
- Volveras, M. y C. Amezcua. 2009. Estabilidad Estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas Andinas de Nariño, Colombia. *Acta Agron.* 58(1), 35-39.
- Yu, W.Z., T. Liu, J. Gregory, G.B. Li, H.J. Liu, y J.H. Qu. 2012. Aggregation of nano-sized alum-humic primary particles. *Sep. Purif. Technol.* 99, 44-49. Doi: 10.1016/j.seppur.2012.08.017
- Zhang, W., J. Crittenden, K. Li y Y. Chen. 2012. Attachment efficiency of nano-particle aggregation in aqueous dispersions: modeling and experimental validation. *Environ. Sci. Technol.* 46, 7054-7062. Doi: 10.1021/es203623z

# Effect of greenhouse heights on the production of aromatic herbs in Colombia. Part 1: Chives (*Allium schoenoprasum* L.)

## Efecto de la altura del invernadero en la producción de hierbas aromáticas en Colombia. Parte 1: Cebollín (*Allium schoenoprasum* L.)



NELSON BUSTAMANTE<sup>1, 4</sup>  
JOHN FABIO ACUÑA<sup>2</sup>  
DIEGO VALERA<sup>3</sup>

**Chives growing in greenhouse.**  
Photo: N. Bustamante

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of greenhouse heights on a crop of chives. Tests were conducted in three greenhouses that had the same dimensions, but with different channel heights of 2; 2.5 and 3 m, located in Carmen de Viboral, Antioquia (6°05'09"N and 75°20'19"W, 2.150 m a.s.l.). Temperature and relative humidity measurements were taken every 30 min for 3 years, and the crop production was assessed. A multiple linear regression, colinearity analysis, and analysis of heteroscedasticity were carried out to determine the climatic variations caused by the differences in height of the greenhouses and to determine differences in the production levels. For the statistical analysis, SPSS was used. The results indicated that, under the studied conditions, the greenhouse height directly affected the internal weather condition; specifically, a 1 m reduction in the minimum height of the channel (from 3 to 2 m) resulted in an increase of the minimum, average and maximum temperatures of 0.37, 1.4 and 3.56°C, respectively, and, consequently, the chives crop yields had a 4.78% higher fresh weight, with a confidence level of 95%.

<sup>1</sup> School of Economics and Business Administration, University of Almeria, Almeria (Spain).

<sup>2</sup> Faculty of Engineering, Department of Civil and Agricultural Engineering, Universidad Nacional de Colombia, Bogota (Colombia).

<sup>3</sup> Department of Rural Engineering, BITAL - Centre for Research in Agrifood Biotechnology, University of Almeria, Almeria (Spain).

<sup>4</sup> Corresponding author. nebuva@hotmail.com

**Additional keywords:** climate control, temperature, relative humidity, yield.

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la incidencia de la altura del invernadero sobre la producción en un cultivo de cebollín. Los ensayos se realizaron en tres invernaderos de iguales dimensiones, variando solamente su altura de canal de 2; 2,5 m y 3 m respectivamente, ubicados en el Carmen de Viboral, Antioquia (6°05'09"N y 75°20'19"W, 2.150 msnm). Se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa cada 30 min por 3 años, durante los cuales se evaluó la producción del cultivo. Se realizaron análisis de regresión lineal múltiple, análisis de colinealidad y análisis de heterocedasticidad para determinar las variaciones climáticas causadas por la diferencia de altura entre los invernaderos y para determinar las diferencias en los niveles de producción. Se utilizó el *software* SPSS para el análisis estadístico. Los resultados indican que para las condiciones del estudio, la altura del invernadero afecta directamente las condiciones climáticas internas, donde una reducción de 1 m de altura de canal (pasando de 3 a 2 m) genera un incremento de las temperaturas mínima, promedio y máxima de 0,37; 1,42 y 3,56°C respectivamente, así como un rendimiento superior en 4,78% en peso, con niveles de confiabilidad de 95%

**Palabras clave adicionales:** control climático, temperatura, humedad relativa, rendimiento.

Received for publication: 16-03-2016

Accepted for publication: 14-05-2016

## INTRODUCTION

Plants that are from the same genotype, but planted under different weather conditions may have different development stages as a result of the biological life cycle, which changes with the genotype and climatic factors at the end of the same chronological time. Biological events are used as indicators for the presence or absence of certain environmental factors to draw certain conclusions or make predictions about plant responses (Brueckner and Perner, 2006; Dahlgren *et al.*, 2007). Changes in the environment exert different pressures on plants and influence the development of each species, resulting in various forms of growth, which could be interpreted as different paths that plants have followed to adapt to a particular environment (Sherry *et al.*, 2007).

The development rate in crops, defined as a progressive sequence of distinct morphological and physiological states, is influenced by thermal energy, the main environmental factor (Sadras *et al.*, 2000; Lambers *et al.*, 2008). The growth evolution, transport of assimilates, evolution of the fundamental metabolic processes, leaf expansion dynamics and biomass partition factors can be modified by environmental conditions (Salisbury and Ross, 2000). The sensitivity of the plant to ecophysiological factors depends on the species (genotype) and its developmental stage (Fischer and Melgarejo, 2014). It is very difficult to discuss the influence of the climate because of its combination with many different factors that are constantly changing during the growth

cycle of a crop, not only with each varying factor, but also with the dynamics of all of the factors (Fischer and Orduz-Rodríguez, 2012).

Chives (*Allium schoenoprasum* L.) is an aromatic herb with a perennial growth habit and many self-renewal cycles in the vegetative structures with bulbils (Delahaut and Newenhouse, 2003; Abello *et al.*, 2006; Whittinghill *et al.*, 2013). The leaves are longer than 7 cm with a delicate aroma and are used in fresh consumption, improving the taste of different meals (Bernal *et al.*, 2008; Maročkienne *et al.*, 2013). Chives is highly adapted to the cold climates of tropical South America, at altitudes between 2,000 and 2,800 m, and grows favorably in greenhouses (Clavijo, 2006; Barreño, 2006).

Weather is a determining factor in the growth of plants and their response to these factors depends on the variety and physiological state (Quintero and Acuña, 2014). Greenhouses are used to modify weather conditions, protect crops, and increase production and quality (González, 2009) through the appropriate selection of a film cover, changes in geometry, and ventilation area, using the combined action of wind and buoyancy forces (Roy *et al.*, 2002; Pinzón *et al.*, 2013).

This paper aims to show that, by changing the height of a greenhouse, different climatic conditions are generated, providing the most appropriate greenhouse height for growing chives in tropical mountains.

## MATERIALS AND METHODS

Three metal multi-tunnel greenhouses, 1,523 m<sup>2</sup>, were placed in Carmen de Viboral, Antioquia (6°05'09" N and 75°20'19" W, 2,150 m a.s.l.). Each greenhouse had 33 raised beds, 1 m wide by 25 m long, with a distribution of 11 beds for a mint crop, 11 beds for chives and 11 beds for an oregano crop. All of the greenhouses had the same dimensions and roof slopes; only the channel height at the end of greenhouses was changed: 2 m, 2.5 m and 3 m (figure 1).

The structures had 1/8" galvanized longitudinal and transverse cables that were anchored to the ground, creating four 6.8 × 56 m bays with 4 m columns. Screens are distributed around the perimeter, two side screens (1.2 m × 54 m) and two front screens (1.2 m × 25.2 m), operated manually, which were opened at 6 a.m. and closed at 4 p.m. (figure 2).

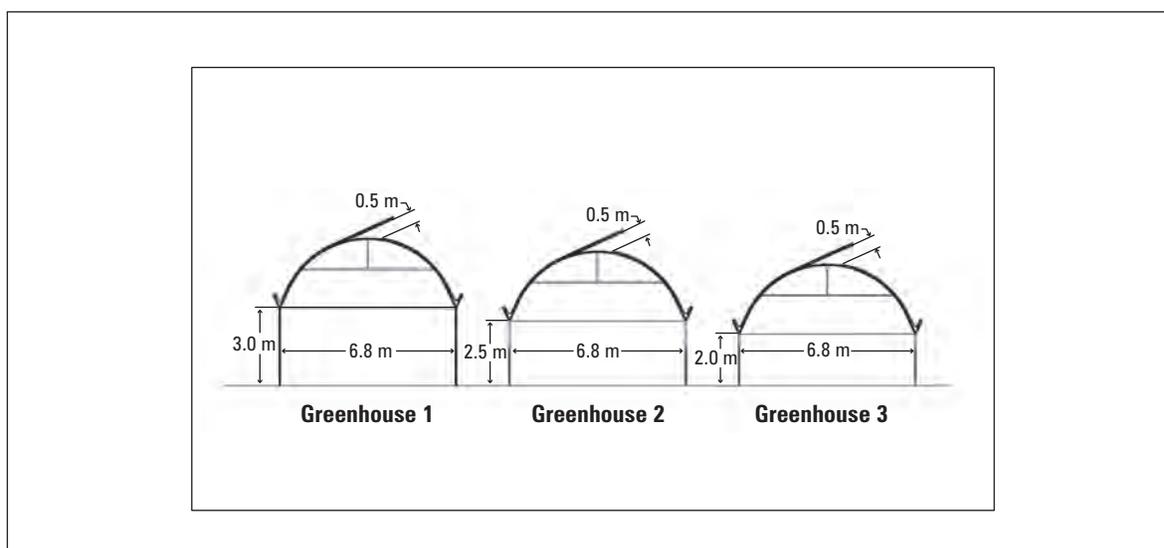
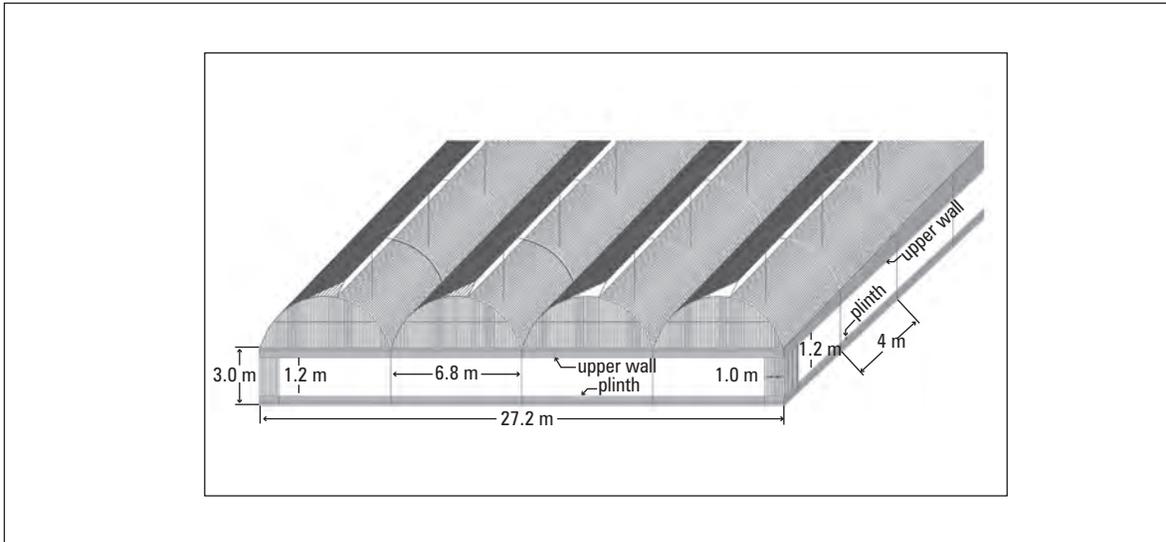


Figure 1. Dimensions of the gates of the top rear of the three greenhouses.



**Figure 2. Section of the isometric drawing of greenhouse 3 and dimensions of the front and lateral ventilation areas.**

The production was monitored in the three greenhouses and measurements of the weather conditions outside the greenhouses were taken over a period of 3 years, starting on January 5, 2012.

A baseline irrigation, fertilization and spraying program was implemented, so that the overall handling of the three crops in these areas was a constant factor in this study. The spraying was carried out based on the monitoring taken in the field, with indications and preventive (not shock) dosages in order to not alter the product. The crop work and weeding were done every 2 weeks; hoeing was done every 3 months.

The temperature and relative humidity were analyzed in the greenhouses throughout the study, from January 5, 2012 to January 21, 2015. During this period, two full cycles of chives (12 cuts per cycle) and the first four cuts of the third cycle were measured, for a total of 308 pieces of data for the greenhouse production.

The data were subjected to a multiple linear regression to study the relationship between the

two studied variables (temperature and humidity) with the response variable (production). A colinearity analysis was used to study the relationship between the two independent variables (temperature and relative humidity), which helped interpret the data obtained from the linear regression and analysis of heteroscedasticity, verifying that the variance of the input disturbance variables was not constant. For the statistical analysis, SPSS was used.

## ANALYSIS AND DISCUSSION OF RESULTS

### Chives production data

Table 1 shows the summarized total production of cut leaves, obtained per cycle and per greenhouse. It indicates that the highest production took place in the 2 m-high-greenhouse, with 11,013.44 kg of chives produced; this greenhouse had a minimum channel height of 2 m. While for greenhouse 1 and greenhouse 2, the production did not differ by more than 1.15%, but comparing greenhouse 1 with greenhouse 3 showed a difference in production of 5.01%.

**Table 1. Total chives production per cycle and per greenhouse.**

Chives production (kg)	Greenhouse 1 (3.0 m height)	Greenhouse 2 (2.5 m height)	Greenhouse 3 (2.0 m height)
Cycle 1	4,764.55	4,97.13	5,036.62
Cycle 2	4,840.47	4,809.89	5,027.74
Total (kg)	9,605.02	9,707.02	10,064.36

The results clearly state that the best chives production took place in the low-high greenhouse. Similar results were found by Roy *et al.* (2002), who observed that differences between greenhouses resulted from heat lost in ventilation, providing different climate conditions for the crops. The cultivation of chives has a production cycle of 15 months; this study lasted 3 years, so the production data came from a total of 28 cuts for the cycles mentioned above.

## Statistical analysis

### *Linear regression of the chives crop data*

The regression analysis of the chives was done depending on the temperature and relative humidity as a first step for statistically evaluating the influence of these variables on the response variable, which was the production weight (kg).

The input variables included temperature and relative humidity in the regression model, and the dependent variable was fresh weight (kg).

Once the variables were introduced into the regression process with SPSS (Pardo and Ruiz. 2005), the results shown in table 2 were obtained (table 2).

The data showed the existence of a global linear association between the independent variables and the response variable because  $R^2$  was different from 0 in the three greenhouses. Its magnitude suggests that the percentage explained of the variations in the response variable was given by the variations of the independent variables (Kleinbaum *et al.*, 1988).

For instance, in the case of the 2<sup>nd</sup> greenhouse, the model says that the joint variation of the Tmean and HRmean was explained by 10.2% the variations in the obtained fresh weight. The statistical DW for the 3 cases was lower than 2, indicating that there was a negative autocorrelation between the predicting variables. This coincides with the normal behavior of these two variables, where one has higher temperature and lower relative humidity and vice versa.

In order to determine if the regression model was valid globally, an Anova variance analysis (table 3) was performed to jointly verify the explanatory variables or predictors (RH and T), which provide information explaining the response or dependent variable (fresh weight). A similar answer was obtained in lettuce (*Lactuca sativa*) under two different greenhouse films by Bautista-Torres *et al.* (2014).

The null hypothesis in this case was that the predictor variables were not linearly related to the dependent variable. For this, the value of the F statistic was compared with the critical value given by the degrees of freedom of the table and a significance level by 5%. The critical value and the comparison were calculated internally with the software, expressing the Sig value with a value equal to 0.000. This value indicates that, with a significance level by 5%, there was certainly a significant linear relationship between the crop production (measured in kilogram of fresh weight) and the relative humidity and temperature variables of each of the greenhouses. After verifying the validity of the model, we proceeded to calculate the regression

**Table 2. Linear regression model summary<sup>b</sup>.**

Greenhouse	R	R square	Adjusted R square	Std. error of the estimate	Durbin-Watson
1 (3 m height)	.306 <sup>a</sup>	0.094	0.088	15.548	0.051
2 (2.5 m height)	.320 <sup>a</sup>	0.102	0.096	15.632	0.068
3 (2 m height)	.311 <sup>a</sup>	0.096	0.091	15.999	0.076

<sup>a</sup> Variables predictors: (constant), Tmean\_L1, HRmean\_L1.

<sup>b</sup> Dependent variable: fresh weight (kg).

**Table 3. Analysis of variance<sup>1</sup> (Anova).**

Greenhouse		Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
1	Regression	7632.08	2	3816.04	15.79	.000 <sup>2</sup>
	Residual	73729.94	305	241.74		
	Total	81362.02	307			
2	Regression	8480.34	2	4240.17		
	Residual	74528.09	305	244.35	17.35	.000 <sup>2</sup>
	Total	83008.44	307			
3	Regression	8337.51	2	4168.75		
	Residual	78070.61	305	255.97	16.29	.000 <sup>2</sup>
	Total	86408.11	307			

<sup>1</sup> Dependent variable: fresh weight (kg).

<sup>2</sup> Variables predictors: (constant), Tmean\_L1, HRmean\_L1.

coefficients, as shown in table 4.

The t test values and their level of significance (Sig.) are used to compare the null hypothesis with the respective regression coefficients take a zero value. According to the results, the null hypothesis is rejected in all cases, that is, all of the obtained coefficients were relevant to the regression equation. Meanwhile, the values of statistical collinearity showed that this charac-

teristic did not affect the validity of the model since any values higher than 10 are obtained in the variance inflation factor-VIF (Kleinbaum *et al.*, 1988).

The following chives crop regression equations were used to forecast the production value according to variations in the temperature and relative humidity for each greenhouse:

The linear regression procedure comes from the

**Greenhouse 1 equation:**

$$\text{Fresh weight (kg)} = -472.36 + \text{HRmean } 7,889 * - 9,928 * \text{Tmean} \quad (1)$$

**Greenhouse 2 equation:**

$$\text{Fresh weight (kg)} = -615.77 + 9.49 * \text{HRmean} - 9.43 * \text{Tmean} \quad (2)$$

**Greenhouse 3 equation:**

$$\text{Fresh weight (kg)} = -441.32 + 7.72 * \text{HRmean} - 10.84 * \text{Tmean} \quad (3)$$

assumptions of normality and homoscedasticity of residue, *i.e.* the behavior of the differences between the equation predicted values and the actual value follows the normal distribution. In order to evaluate this, the normal probability of curves is devised:

As shown in the charts, in all three cases, there was a tendency of the point cloud to align to the diagonal line on the graph, which indicates that the normality assumption in the data is true.

**Regression collinearity analysis of the chives crop data**

The collinearity analysis helped to confirm if there was high ratio of dependent or predictor variables. This happened because of the inverse relationship between temperature and relative humidity under normal conditions. In order to verify statistically, a collinearity test is done, which results are shown in table 5.

The three methods of Pardo and Ruiz (2005) to interpret the above table to determine the presence of collinearity are as follows:

- When most of the eigenvalues are close to zero.
- When the condition indexes are greater than 30.
- For higher indexes, when two or more factors have a larger proportion to the variance.

These three conditions are met for all greenhouses, meaning that it is confirmed that the data obtained from measurements stored are consistent with the normal behavior of these two variables.

**Correlations of the chives crop data**

For the assumption of normality in the data (n=308), at the beginning, a Pearson correlation (table 6) was done, which was performed when the data followed a normal distribution. Additionally, two additional correlations were used,

**Table 4. Linear regression model-coefficients <sup>1</sup>.**

Greenhouse	Variables	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Sig.	Collinearity statistics	
		B	Std. error	Beta			Tolerance	VIF
1	(constant)	-472.36	677.487		-0.69	0.486		
	HRmean	7.889	6.915	0.131	1.141	0.255	0.224	4.455
	Tmean	-9.928	6.196	-0.184	-1.60	0.11	0.224	4.455
2	(constant)	-615.77	681.14		-0.90	0.37		
	HRmean	9.49	6.95	0.16	1.37	0.17	0.22	4.46
	Tmean	-9.43	6.23	-0.17	-1.51	0.13	0.22	4.46
3	(constant)	-441.32	697.14		-0.63	0.53		
	HRmean	7.72	7.12	0.13	1.09	0.28	0.22	4.46
	Tmean	-10.84	6.38	-0.20	-1.70	0.09	0.22	4.46

<sup>1</sup> Dependent variable: fresh weight (kg).

**Table 5. Collinearity diagnostics <sup>1</sup>.**

Greenhouse	Dimension	Eigenvalue	Condition index	Variance proportion		
				(constant)	HRmean_L1	Tmean_L1
1	1	3	1	0	0	0
	2	0	106.068	0	0	0.19
	3	9.69E-07	1759.752	1	1	0.81
2	1	3	1	0	0	0
	2	0	106.068	0	0	0.19
	3	9.69E-07	1759.752	1	1	0.81
3	1	3	1	0	0	0
	2	0	106.068	0	0	0.19
	3	9.687E-07	1759.752	1	1	0.81

<sup>1</sup> Dependent variable: fresh weight (kg).

the Kendall Tau\_b (table 7) and the Spearman Tau\_b (table 8), which are used as alternatives to Pearson, when the studied variables violate the assumption of normality.

By analyzing the signs of the three correlation coefficients, it was shown that in all cases a significant negative correlation between the relative humidity and the fresh weight of the crop occurred. Similarly, regarding the temperature, there was a significant negative correlation between the relative humidity and the fresh weight. This is consistent with the production results obtained in the three greenhouses, where greenhouse 3, which was the warmest, had the highest production levels, and in turn, greenhouse 1, which was the coldest, had the lowest yields. It is worth noting that the strongest coefficient was the one from the reverse correlation between temperature and relative humidity, which is explained by the strong inverse relationship of these variables.

Since temperature influences more than the tissue growth of plants, it is possible that this combination of a higher temperature and a lower relative humidity in the 2 m-high-greenhouse had the most favorable influence on the production cycle of the chives leaves (Salisbury and Ross, 2000). Chives production has a range between

15 to 25°C (Villamizar, 2003). An increase in the optimum crop temperature range favors quicker physiological processes because of an increase in the kinetic energy of the enzymatic systems (Fischer and Orduz-Rodríguez, 2012).

#### *Heteroscedasticity analysis*

After statistically checking the influence of the relative humidity and temperature in the production of each culture for each greenhouse, an analysis of the behavior of the variation in both climate variables between the three greenhouses was done regardless of the response variable. This led to the conclusion of a statistical presence of different microclimates among the three evaluated greenhouses.

In order to do that, an analysis of variance (n=113) of two variables evaluating the behavior of their minimum, maximum and average in both cases was made, so that the analysis goes from two to six variables.

In all cases, the standard deviation was similar among the analyzed variables, so this implies that the data have a similar variation with respect to its mean value. In the three greenhouses, the temperature had a similar behavior in the

**Table 6. Pearson's correlation results <sup>1</sup>.**

Greenhouse	Variable	Parameter	Fresh weight (kg)	HRmean (%)	Tmean (°C)
Greenhouse 1	Fresh weight (kg)	Pearson correlation	1	.294**	-300**
		Sig. (2-tailed)		0.000	
	HRmean (%)	Pearson correlation	.294**	1	-881**
	Sig. (2-tailed)	0.000			
Greenhouse 2	Fresh weight (kg)	Pearson correlation	1	.309**	-311**
		Sig. (2-tailed)		0.000	
	HRmean (%)	Pearson correlation	.309**	1	-881**
	Sig. (2-tailed)	0.000			
Greenhouse 3	Fresh weight (kg)	Pearson correlation	1	.297**	-305**
		Sig. (2-tailed)		0.000	
	HRmean (%)	Pearson correlation	.297**	1	-881**
	Sig. (2-tailed)	0.000			

<sup>1</sup> n=308.

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**Table 7. Kendall's tau-b correlation results <sup>1</sup>.**

Greenhouse	Variable	Parameter	Fresh weight (kg)	HRmean (%)	Tmean (°C)
1	Fresh weight (kg)	Correlation coefficient	1	.218**	-221**
		Sig. (2-tailed)		0.000	
	HRmean (%)	Correlation coefficient	-.218**	1	-680**
	Sig. (2-tailed)	0.000			
2	Fresh weight (kg)	Correlation coefficient	1	.234**	-238**
		Sig. (2-tailed)		0.000	
	HRmean (%)	Correlation coefficient	-.234**	1	-680**
	Sig. (2-tailed)	0.000			
3	Fresh weight (kg)	Correlation coefficient	1	.217**	-219**
		Sig. (2-tailed)		0.000	
	HRmean (%)	Correlation coefficient	-.217**	1	-680**
	Sig. (2-tailed)	0.000			

<sup>1</sup> n=308.

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**Table 8. Spearman's correlation results <sup>1</sup>.**

Greenhouse	Variable	Parameter	Fresh weight (kg)	HRmean (%)	Tmean (°C)
1	Fresh weight (kg)	Correlation coefficient	1	.338**	-.308**
		Sig. (2-tailed)	.	0.000	0.000
	HRmean (%)	Correlation coefficient	-.338**	1	-.861**
		Sig. (2-tailed)	0.000	.	0
	Tmean (°C)	Correlation coefficient	+.308**	-.861**	1
		Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	.
2	Fresh weight (kg)	Correlation coefficient	1	.367**	-.327**
		Sig. (2-tailed)	.	0.000	0.000
	HRmean (%)	Correlation coefficient	-.367**	1	-.861**
		Sig. (2-tailed)	0.000	.	0.000
	Tmean (°C)	Correlation coefficient	+.327**	-.861**	1
		Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	.
3	Fresh weight (kg)	Correlation coefficient	1	.323**	-.306**
		Sig. (2-tailed)	.	0.000	0.000
	HRmean (%)	Correlation coefficient	-.323**	1	-.861**
		Sig. (2-tailed)	0.000	.	0.000
	Tmean (°C)	Correlation coefficient	+.306**	-.861**	1
		Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	.

<sup>1</sup> n=308.

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

order of values. In all three cases, the coldest greenhouse was greenhouse 1 and the warmest was greenhouse 3. Comparing the mean of the minimum temperatures, the difference between these two greenhouses was 0.37°C; while the difference between greenhouse 2 was 0.29°C. For the mean of the average temperatures, the difference between greenhouse 1 and greenhouse 3 was 1.42 and 1.13°C between greenhouse 2 and greenhouse 3. Finally, the difference between the mean maximum temperatures was 3.56°C for greenhouse 1 and greenhouse 3; and 3.21°C between greenhouse 2 and greenhouse 3.

As for the relative humidity variables, in the minimum and average variables, there was an opposite behavior, which was expected because of the negative correlation that occurred between these two variables. The greenhouse with the

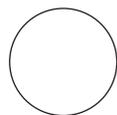
lowest average and minimum relative humidity was greenhouse 3, and the one with the highest values was greenhouse 1, with differences of 6.9% in the mean of the minimum variable and 2.96% in the mean of the averages. The differences between greenhouse 3 and greenhouse 2 were 5.23% and 2.10%, respectively. With respect to the maximum variables, no significant differences were found because there is a clear tendency for values very close to 100% almost every day in the morning, both outside and inside the greenhouses.

To confirm that the differences between the descriptions were meaningful, an ANOVA variance analysis was done, starting from the null hypothesis that the mean of each of the variables was the same for the three greenhouses.

The comparison of statistic F resulted in the null hypothesis being rejected in all cases (Sig. = 0.000), except for the HR\_mean. This means that, for a confidence level of 95%, it can be said that there were significant differences in the other five variables (T\_MIN, T\_med, t\_max, Hr\_min and HR\_max).

## CONCLUSIONS

- For a confidence level of 95%, it was concluded that, by reducing the minimum height channel from 3 m to 2 m, there is a difference in the microclimate of the greenhouse in the study, which produced an increase of 4.78% in the production of the chives, which resulted in a rise of income.
- The microclimate generated in each greenhouse was described by the differences in the five variables with which the heteroscedasticity analysis (Tmean, Tmin, Tmax, minimum HR and HR mean) was done. It was concluded that, for a confidence level of 95%, the reduction of 1 m in the minimum height of the channel resulted in an increase of: of 0.37°C in the minimum temperature, 1.42°C in the average temperature and 3.56°C in the maximum temperature.
- In the case of relative humidity, the 1 m reduction of the minimum height resulted in a decrease in the minimum relative humidity of 6.9% and 2.96% in the average relative humidity. The inverse relationship between the relative humidity and temperature was due to the high negative statistical correlation seen between these two variables according to the three statistical correlation methods and the Durbin Watson statistic.
- With a confidence level of 95%, it was shown that there was a significant linear relationship between the joint interaction of relative humidity and temperature and the production of chives crops in each of the greenhouses.



## BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Abello, J., J. Clavijo, and P. Barreno. 2006 Estudio preliminar de algunos descriptores fisiológicos en cinco hierbas aromáticas. pp. 13-15. In: Memorias Curso de Extensión: Últimas tendencias en hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Barreño, P. 2006. Hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco. Manejo agronómico, producción y costos. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Bautista-Torres, A.M., J.F. Acuña, and J.L. Martin. 2014. Comportamiento de la humedad relativa en un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) variedad Vera, bajo dos condiciones de ambiente controlado. In: Memorias XI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola. Cancún, México.
- Bernal, D.A., L.C. Morales, G. Fischer, J. Cuervo, and S. Magnitskiy. 2008. Caracterización de las deficiencias de macronutrientes en plantas de cebollín (*Allium schoenoprasum* L.). Rev. Colomb. Cienc. Hort. 2(2), 192-204. Doi: 10.17584/rchh.2008v2i2.1187
- Brueckner, B. and H. Perner. 2006. Distribution of nutritive compounds and sensory quality in the leaves of chives (*Allium schoenoprasum* L.). J. Appl. Bot. Food Qual. 80(2), 155-159.
- Clavijo, J.P. 2006. Últimas tendencias en hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco. Produmedios, Bogotá.
- Dahlgren, J.P., H. von Zeipel, and J. Ehrlen. 2007. Variation in vegetative and flowering phenology in a forest herb caused by environmental heterogeneity. Amer. J. Bot. 94, 1570-1576. Doi: 10.3732/ajb.94.9.1570
- Delahaut, K.A. and A.C. Newenhouse. 2003. Growing onions, garlic, leeks, and other Allium in Wisconsin.

- sin: A guide for fresh-market growers. Cooperative extension. University of Wisconsin, Madison, WI.
- Fischer, G. and L.M. Melgarejo. 2014. Ecofisiología de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). pp. 31-47. In: Carvalho, C.P. and D.A. Moreno (eds.). *Physalis peruviana: fruta andina para el mundo*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED, Limencop SL, Alicante, Spain.
- Fischer, G. and J.O. Orduz-Rodríguez. 2012. Ecofisiología en frutales. pp. 54-72. In: Fischer, G. (ed.). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Produmedios, Bogotá.
- González, M.M. 2009. La gestión del clima bajo invernadero y modelos de simulación para su manejo. Memorias Curso Control climático en invernaderos. Universidad de Almería, Almería, España.
- Kleinbaum, D.G., L.L. Kupper, and K. Muller. 1988. Applied regression analysis and other multivariate methods. PWS-KENT Publishing Company, Kent, UK.
- Lambers, H., T.L. Pons, and S. Chapin. 2008. Plant physiological ecology. 2nd ed. Springer Verlag, New York, NY.
- Maročkienė, N., R. Karkleienė, D. Juškevičienė, and A. Radzevičius. 2012. Investigation of morphobiological parameters of local and introduced cultivars of chives (*Allium schoenoprasum* L.). *J. Sodininkystė Daržininkystė* 31(3/4), 59-65.
- Pardo, M. and D. Ruiz. 2005. Análisis de datos con SPSS 12 Base. McGraw-Hill, Madrid.
- Pinzón, A.M., B. Castillo, and M.T. Londoño. 2013. Characterization of the mechanical properties of chives (*Allium schoenoprasum* L.). *Agron. Colomb.* 31(1), 83-88.
- Quintero, G. and J.F. Acuña. 2014. Incidencia de las películas plásticas en la variación de factores abióticos para producción de lechuga en ambientes protegidos. In: Memorias VI Edición de la conferencia científica internacional sobre desarrollo agropecuario y sostenibilidad. Agrocentro, Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas, Cuba.
- Roy, J.C., T. Boulard, C. Kittas, and S. Wang. 2002. Convective and ventilation transfers in greenhouses, Part 1: the greenhouse considered as a perfectly stirred tank. *Biosyst. Eng.* 83, 12-14. Doi:10.1006/bioe.2002.0107
- Sadras, V.O., L. Echarte, and F.H. Andrade. 2000. Profiles of leaf senescence during reproductive growth of sunflower and maize. *Ann. Bot.* 85, 187-195. Doi: 10.1006/anbo.1999.101.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 2000. Fisiología de las plantas. Vol. 3. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Paraninfo and Thomson Learning, Madrid.
- Sherry, R.A., X.H. Zhou, and S.L. Gu. 2007. Divergence of reproductive phenology under climate warming. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 104, 198-202. Doi: 10.1073/pnas.0605642104.
- Villamizar, F. 2003. Calidad poscosecha y uso del frío en la conservación de hierbas frescas para la exportación. pp. 51-55. In: Memorias curso de extensión teórico práctico “Últimas tendencias en hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco”. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Whittinghill, L.J., D.B. Rowe, M. Ngouajio, and B.M. Cregg. 2013. Evaluation of nutrient management and mulching strategies for vegetable production on an extensive green roof. *Agroecol. Sustainable Food Syst.* 40(4), 297-318. Doi: 10.1080/21683565.2015.1129011

# Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero

## Evaluation of container types on the root growth of coffee (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) in the nursery stage



ARLETTE IVONNE GIL C.<sup>1,3</sup>

LUIS JAVIER DÍAZ M.<sup>2</sup>

**Plántula de café con su sistema radical, crecida en contenedor de plástico.**

Foto: L.J. Díaz M.

### RESUMEN

Con el fin de encontrar alternativas que permitan a los caficultores producir en contenedores reutilizables plántulas más vigorosas y con un sistema radical fuerte y bien formado, se evaluó el crecimiento radical de plántulas de café, cv. Castillo, sembradas en diversos tipos de contenedores de diferentes dimensiones, determinando las variables longitud de raíz pivotante, volumen de raíces, biomasa radical y porcentaje de plantas con deformación en la raíz pivotante, en el municipio de Tibacuy (Cundinamarca). Seis tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones, distribuidos de la siguiente manera: bandeja 3×6 (18 cavidades) de 17,3 cm de profundidad; bandeja 3×6 (18 cavidades) de 21,8 cm de profundidad; bandeja 2×4 (8 cavidades) de 17 cm de profundidad; bandeja 2×4 (8 cavidades) de 21,4 cm de profundidad; bolsa plástica negra de 11×20 cm y bolsa plástica negra de 17×23 cm. Los resultados mostraron diferencias estadísticas para las variables evaluadas debido a que la restricción en el espacio de enraizamiento afectó el crecimiento radical, siendo las plantas sembradas en los contenedores de mayor profundidad las que mostraron mejores características, tales como mayor longitud de raíz pivotante, volumen de raíces y biomasa radical, destacándose aquellas sembradas en la bandeja plástica de 18 cavidades con 21,8 cm de profundidad, lo cual sugiere su utilización en fase de vivero, ya que debido a su característica de reutilización se puede disminuir el impacto ambiental por la utilización de bolsas de polietileno.

<sup>1</sup> Programa de Ingeniería Agronómica, Grupo de investigación PROSAFIS, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá (Colombia).

<sup>2</sup> Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá (Colombia).

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

**Palabras clave adicionales:** longitud de raíz, volumen de raíces, biomasa de raíces, deformación de raíz, bandejas reutilizables.

## ABSTRACT

With the aim of finding alternatives that allow coffee producers to use reusable containers for more vigorous seedlings with a hard and well-formed root system, the root growth of coffee, cv. Castillo, seedlings was evaluated when sown in different types of containers with different dimensions, determining the variables of tap root length, root volume, root biomass and percentage of plants with deformation in the tap root, in the municipality of Tibacuy (Cundinamarca). Six treatments were distributed in a completely randomized block design with four repetitions, distributed as follows: 3x6 seed tray (18 wells) with a 17.3 cm depth; 3x6 seed tray (18 wells) with a 21.8 cm depth; 2x4 seed tray (8 wells) with a 17 cm depth; 2x4 seed tray (8 wells) with a 21.4 cm depth; 11x20 cm black polyethylene bag, and 17x23 cm black polyethylene bag. The results showed statistical differences for the evaluated variables because the restriction in the rooting space affected the root growth, with the plants sown in the containers with the greatest depth having the best characteristics, such as largest root length, root volume and root biomass. Those sown in the plastic seed tray with 18 wells and a depth of 21.8 cm had notable results, which recommends its use in the nursery phase due to the fact that it is reusable and that the environmental impact would be decreased.

**Additional keywords:** root length, root volume, root biomass, root deformation, reusable seed trays.

Fecha de recepción: 24-01-2016

Aprobado para publicación: 14-05-2016

## INTRODUCCIÓN

Los primeros reportes de la historia del café mencionan su origen en África oriental, lo que actualmente es Etiopía, y su domesticación se atribuye al mundo árabe (Tocancipá-Falla, 2010). La primera descripción de una planta de café fue hecha en 1592 por Próspero Alpini y un siglo después Antoine de Jussieu la denominó *Jasminum arabicanum* ya que la consideró un jazmín. Fue Linneo en 1737 quien la clasificó en un nuevo género, *Coffea*, con una sola especie conocida: *C. arabica*. Actualmente se reconocen 103 especies, sin embargo, sólo dos son responsables del 99% del comercio mundial: *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* L. (Fedecafé, 2010).

El café es el cultivo agrícola de mayor importancia en la economía colombiana y se cultiva únicamente la especie *C. arabica* L. El Sistema de In-

formación Cafetera (SICA) registra actualmente más de 564 municipios en 20 departamentos cafeteros y aproximadamente el 1% de la superficie colombiana está cultivada con café (Gómez *et al.*, 1991). El cultivar Castillo está compuesto de numerosas progenies de porte bajo seleccionadas en la transferencia de resistencia del híbrido de Timor a la variedad Caturra; presenta resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk y Br.), es de porte bajo, con una altura media de 1,5 m y el color del cogollo de las hojas es verde a bronceado (Alvarado *et al.*, 2005).

La cafeína (1,3,7-trimetilxantina) es un alcaloide natural producido por *Coffea arabica* y *C. canephora*, que está presente en un amplio rango de bebidas incluidas el café, el té y principalmente las bebidas gaseosas de cola. La cafeína tiene

efectos estimulantes sobre el sistema nervioso central, junto con un rango de otros efectos positivos sobre la salud humana (Vilanova *et al.*, 2015).

Debido a que el cafeto es una planta perenne, su explotación comercial generalmente alcanza hasta 20 años y comprende un ciclo de producción después de la siembra que dura unos seis años, con unos tres ciclos de renovación (Arcila *et al.*, 2007). Las plantas que se consideran de buena calidad para la siembra a campo son aquellas que cuentan con un buen estado fitosanitario, óptimo desarrollo foliar y sistema radical frondoso, haciendo énfasis en la raíz principal la cual debe ser recta (Arcila, 2000).

Uno de los factores que ejerce mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas en vivero es el contenedor, ya que confina las raíces en un volumen fijo de sustrato con un espacio de crecimiento limitado (Alm *et al.*, 1982). Su principal función es la de contener una pequeña cantidad de sustrato, que a su vez abastece a las raíces con agua, aire, nutrientes minerales y además proveer soporte físico (Arizaleta y Pire, 2008). El agua en el contenedor se comporta de manera diferente que el agua en suelo no confinado (Furuta, 1978). Características como el volumen, profundidad y forma actúan sobre la dinámica de crecimiento de las raíces al limitar la disponibilidad de recursos necesarios para su crecimiento: aire, agua y nutrientes (Landis *et al.*, 1990).

Como las plantas se encuentran confinadas en el contenedor, la cantidad de agua disponible es limitada y si la tasa de transpiración excede a la de absorción de la raíz se presenta estrés hídrico (Slatyer, 1967). Las plantas sometidas a un estrés hídrico moderado disminuyen la cantidad de energía consumida por las partes aéreas distribuyendo la mayoría de los asimilados a las raíces, incrementando su crecimiento (Ledent, 2002). Plantas con un adecuado desarrollo radical presentan más tolerancia al estrés en el trasplante

y mejor comportamiento en campo (Weston y Zandstra, 1986).

El vigor relativo del sistema radical se ve reflejado en la morfología y crecimiento de la parte aérea de la planta y por esta razón muchas de las características de los contenedores fueron diseñadas para promover la relación raíz/parte aérea (Escobar, 2007). En etapa de vivero las plantas que se encuentren débiles, cloróticas, con problemas fitosanitarios y malformaciones en la raíz se deben descartar (Arcila y Botero, 1985).

Las bandejas plásticas suelen ser de poliestireno expandido o espuma flex y están disponibles en una variedad de tamaños y formas de cavidad, siendo extremadamente durables ya que tienen una expectativa de vida de más de 10 años (Dumroese *et al.*, 2009). Las celdas son cónicas, de diámetro y longitud variable y cuentan con orificio de drenaje en su base (Allison, 1974).

El Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) recomienda el uso de bolsas plásticas de 2 kg de capacidad (17 cm de diámetro por 23 cm de altura) para un período de hasta 6 meses, pero debido a diversos factores, en la producción comercial la permanencia de la planta en bolsa es de cuatro meses, por lo que se usan de menor capacidad (Salazar-Arias, 1991). La bolsa se rompe durante el trasplante por lo que no son reutilizables, lo cual aumenta los costos de producción (Serrada, 2000). Al usar un contenedor más pequeño el productor pretende reducir los costos de producción, aprovechar mejor el espacio y transportar las plantas fácilmente, pero esto puede afectar su calidad (Salazar-Arias, 1996).

De acuerdo con lo anterior, esta investigación fue realizada con el fin de evaluar la influencia del tipo de contenedor sobre el crecimiento de plantas de café en etapa de vivero, mediante diversos parámetros de raíz como longitud de la raíz pivotante, volumen de raíces, biomasa radical y porcentaje de plantas con deformaciones,

para obtener plantas más vigorosas, con un sistema radical fuerte y bien formado, en contenedores reutilizables, disminuyendo los costos de producción y el impacto ambiental debido al excesivo uso de bolsas plásticas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de esta investigación, primero se realizó una fase de campo y posteriormente una de laboratorio. La fase de campo se llevó a cabo en la granja Alberto J. Williamson del Comité de Cafeteros de Cundinamarca, vereda La Portada, municipio de Tibacuy (Cundinamarca), sobre las coordenadas 4°22'N y 74°26'W, a una altitud de 1.538 msnm, temperatura media de 19,2°C, humedad relativa de 78,1% y precipitación promedio anual de 1.096 mm. La fase de laboratorio se realizó en las instalaciones de la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, en el laboratorio de Fisiología Vegetal.

Se implementó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con seis tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales. Se evaluaron los siguientes tratamientos: bandeja de 18 cavidades (3×6) con 17,3 cm de profundidad (tratamiento 1), bandeja de 18 cavidades (3×6) con 21,8 cm de profundidad (tratamiento 2), bandeja de 8 cavidades (2×4) con 17 cm de profundidad (tratamiento 3), bandeja de 8 cavidades (2×4) con 21,4 cm de profundidad (tratamiento 4), bolsa de polietileno negro de 11×20 cm (tratamiento 5) y bolsa de polietileno negro de 17×23 cm (tratamiento 6) (tabla 1).

El ensayo se desarrolló en la sección 4 de la zona de viveros de la granja, la cual contó con tres camas de 10 m de longitud por 1,2 m de ancho. Las plantas se ubicaron en las camas 1, 2 y 3, en lotes de 100 plantas. Se utilizó malla polisombra del 50% para cubrir el área de la zona de viveros con el fin de proteger a las plántulas del exceso de radiación solar. Se colocaron un total de 24 lotes correspondientes a la totalidad del ensayo.

Como material vegetal se utilizaron plántulas de café (*C. arabica* L. cv. Castillo) de 60 d de edad. El sustrato utilizado para llenar los contenedores fue suelo cernido, cascarilla de arroz y gallinaza en proporción 3:1:1. El suelo utilizado poseía textura franco-arcillosa, pH ligeramente ácido (6,5), contenido medio de materia orgánica (2,7%) y baja conductividad eléctrica (0,27 dS m<sup>-1</sup>). La siembra se realizó con un punzón de madera, teniendo cuidado que la raíz quedara recta y se mantuviera firme. La fertilización dada a las plántulas fue únicamente edáfica, con dosificación de 0,40 g/planta de N, 0,87 g/planta de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 0,08 g/planta de K<sub>2</sub>O. Se aplicó riego por aspersión según las necesidades del cultivo, además de las labores propias de la granja para manejo de malezas, plagas y enfermedades.

Los muestreos se realizaron semanalmente comenzando a los 7 d después del trasplante (ddt) y finalizando a los 112 ddt. El tamaño de la muestra fue de cuatro plantas tomadas al azar dentro de las unidades experimentales. Las muestras se tomaron de las 8:00 a 9:00 h, con el fin de evitar la deshidratación del material vegetal. Las plántulas seleccionadas se retiraban del contenedor y se limpiaban sus raíces con cuidado hasta remover la totalidad del sustrato presente. Una vez limpias se introdujeron en bolsas de papel rotuladas y fueron colocadas en contenedor de icopor para ser llevadas al laboratorio de manera inmediata.

Las variables evaluadas fueron: longitud de la raíz pivotante (en cm, realizada con calibrador), volumen de raíces (en cm<sup>3</sup>, basado en el principio de Arquímedes de desplazamiento de volumen), biomasa radical (en g, determinada en estufa de secado a 80°C hasta peso constante) y porcentaje de plantas (%) con deformación de raíz pivotante (relación entre número de plantas con malformaciones morfológicas de la raíz y el total de plantas muestreadas). El análisis estadístico de los datos fue realizado en el programa SAS versión 9.0 para análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de Tukey con un grado de significancia ( $\alpha$ ) de 0,01.

**Tabla 1. Tratamientos establecidos en la evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*C. arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero.**

Tratamiento	Tipo contenedor
1	Bandeja plástica 3x6 (18 cavidades) de 17,3 cm de profundidad (referencia A-BA18SP)
2	Bandeja plástica 3x6 (18 cavidades) de 21,8 cm de profundidad (referencia A-BA18UP)
3	Bandeja plástica 2x4 (8 cavidades) de 17 cm de profundidad (referencia A-BA8P)
4	Bandeja plástica 2x4 (8 cavidades) de 21,4 cm de profundidad (referencia A-BA8SP)
5	Bolsa polietileno negro de 11x20 cm (volumen de 750 cm <sup>3</sup> )
6	Bolsa polietileno negro de 17x23 cm (volumen de 1.700 cm <sup>3</sup> )

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Longitud de la raíz pivotante

De acuerdo con los resultados obtenidos para esta variable, al final del ensayo (112 ddt) se presentaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0,01$ ) entre tratamientos, teniendo los mayores valores para las plántulas sembradas en bandeja de 21,8 cm de profundidad y la bolsa de 17x23 cm, con 19,75 y 19 cm, respectivamente. Los menores valores se presentaron para aquellas sembradas en bolsa de 11x20 cm con 15,81 cm y bandeja de 17,3 cm de profundidad con 15,12 cm de raíz, como se observa en la tabla 2.

La elongación de la raíz es un proceso continuo que es esencial para el desarrollo de las plantas, que se ve influenciado por las características del medio en el cual se encuentra como la disponibilidad de aire, agua y nutrientes, entre otros (Kafkafi, 2008). Cuando las plantas son producidas en diferentes tipos de contenedores, el crecimiento generalmente está influenciado por el volumen que el contenedor posee para el desarrollo de la raíz (Bilderback, 2001). Todos los contenedores crean una franja húmeda de sustrato y la profundidad de esta capa saturada está

en función de la altura del contenedor y de las propiedades físicas del sustrato (Wallach y Ravi, 2005).

Las plántulas sembradas en contenedores de menor volumen y profundidad presentaron disminución en el desarrollo de la raíz pivotante debido a la limitación de diversos factores, tal como lo corrobora Spomer (1982), debido a que la distribución del volumen del contenedor es de gran importancia en plantas con raíz pivotante fuerte: dos plantas sembradas en contenedores con el mismo volumen pueden mostrar diferencias en el crecimiento de la raíz si la profundidad es diferente (Berenguer *et al.*, 2004). Las raíces son muy sensibles a las condiciones estresantes del suelo, enviando señales hacia la parte aérea, las cuales pueden afectar la conductancia estomática, la expansión celular, la división celular y la tasa de aparición foliar (Passioura, 2002).

Seis acuaporinas homólogas fueron identificadas en tres especies de café (*Coffea arabica*, *C. canephora* y *C. racemosa*), incluidas cuatro proteínas intrínsecas de membrana (*PIP2;1*, *PIP1;2*, *PIP2;1* y *PIP2;2*). La expresión de *PIP2;1* y *PIP2;2* fue evidentemente regulada en hojas y raíces debido al déficit hídrico, sugiriendo el posible rol de estos genes para controlar el estatus hídrico de las plantas y en la recuperación posestrés de plantas irrigadas (Brombini y Mazzafera, 2013).

### Volumen de raíces

Los resultados mostraron que las plántulas de café respondieron a la limitación en el espacio de siembra de acuerdo con su volumen de raíces, presentando mayor desarrollo las que fueron sembradas en contenedores de mayor capacidad. De acuerdo con ello, a los 112 ddt hubo diferencias estadísticas ( $P \leq 0,01$ ) entre tratamientos, para el volumen de las raíces, teniendo que aquellas sembradas en bandejas de 21,4 cm y 21,8 cm de profundidad obtuvieron 6,26 y 6,21 cm<sup>3</sup>, respectivamente (tabla 2). En contraste, el menor volumen se presentó en las ubicadas en bolsa de

**Tabla 2. Efecto del tipo del contenedor sobre la longitud y volumen de raíces de café (*C. arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero, a los 112 ddt.**

Tratamiento	Tipo contenedor	Longitud de raíz pivotante (cm)	Volumen de raíces (cm <sup>3</sup> )
1	Bandeja plástica 3x6 (17,3 cm de profundidad)	15,12 c	4,52 b
2	Bandeja plástica 3x6 (21,8 cm de profundidad)	19,75 a	6,21 a
3	Bandeja plástica 2x4 (17 cm de profundidad)	16,27 bc	5,78 ab
4	Bandeja plástica 2x4 (21,4 cm de profundidad)	18,77 ab	6,26 a
5	Bolsa polietileno negro de 11x20 cm (volumen de 750 cm <sup>3</sup> )	15,81 c	4,63 b
6	Bolsa polietileno negro de 17x23 cm (volumen de 1.700 cm <sup>3</sup> )	19,00 a	5,33 ab

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba Tukey ( $P \leq 0,01$ ).

polietileno de 11x20 cm con 4,63 cm<sup>3</sup> y bandeja de 17,3 cm de profundidad con un valor de 4,52 cm<sup>3</sup>. La figura 1 muestra el volumen de raíces en café, de acuerdo con cada tratamiento evaluado.

Estudios similares realizados en café (*C. arabica* L.) (Arizaleta y Pire, 2008), cacao (*Theobroma cacao* L.) (Gutiérrez *et al.*, 2011), eucalipto (*Eucalyptus viminalis* Labill.) (Al-Zalzaleh, 2009), limón (*Citrus limon* (L.) Burm.) (Ouma, 2006) y pino (*Pinus palustris*) (South *et al.*, 2005), donde se evaluó la limitación del volumen del suelo como origen de restricción radicular, indicaron que las plantas desarrolladas en contenedores pequeños presentaron restricción en el crecimiento radical, ya que la raíz en crecimiento representa el principal vertedero metabólico de fotoasimilados y al limitar su espacio de crecimiento se reduce su fortaleza como vertedero, generando un desequilibrio en la relación fuente-vertedero (Barrett y Gifford, 1995). Zaharah y Razi (2009) encontraron que la restricción de las raíces en mango (*Mangifera indica* cv. Chokanan) contribuyó a la reducción foliar, inhibiendo así el crecimiento de los árboles.

Un suelo compactado presenta reducción en la cantidad de macroporos e incremento en su

densidad, lo que resulta en menor infiltración de agua, además de desfavorecer la profundidad del sistema radical de las plantas, con resultados perjudiciales para su crecimiento, principalmente en situaciones de déficit hídrico (Pereira *et al.*, 2015).

### Biomasa seca radical

Al finalizar el ensayo (112 ddt) los resultados mostraron que las plántulas sembradas en bandejas plásticas de 21,4 cm y 21,8 cm de profundidad acumularon la mayor cantidad ( $P \leq 0,01$ ) de materia seca en las raíces, con 0,82 y 0,81 g, respectivamente, mientras que las ubicadas en bolsa de polietileno de 11x20 cm y en bandeja plástica de 17,3 cm de profundidad obtuvieron valores de 0,61 y 0,60 g respectivamente (tabla 3).

Estos resultados están de acuerdo con trabajos realizados por Coopman (2000), quien afirma que en plantas producidas en contenedores, la biomasa del sistema radical está directamente relacionada con la profundidad, volumen y forma del contenedor. En general, tanto más grande sea el contenedor, más grande será la planta que puede ser producida en él (Kinghorn, 1974).



**Figura 1.** Volumen de raíces en café (*C. arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero, a los 112 ddt. De izquierda a derecha se muestran plántulas sembradas en: bolsa de polietileno negro de 17x23 (tratamiento 6), bolsa de polietileno negro de 11x20 cm (tratamiento 5), bandeja plástica 3x6 de 17,3 cm de profundidad (tratamiento 1), bandeja plástica 3x6 de 21,8 cm de profundidad (tratamiento 2), bandeja plástica 2x4 de 17 cm de profundidad (tratamiento 3) y bandeja plástica 2x4 de 21,4 cm de profundidad (tratamiento 4). Foto: L.J. Díaz M.

Cuando las raíces están confinadas en contenedores que restringen su crecimiento, se incrementa la competencia por recursos esenciales (Peterson *et al.*, 1991a); el incremento en el tamaño de la raíz y la disminución en el espacio de enraizamiento generan competencia por el oxígeno disponible (Peterson *et al.*, 1991b). Al disminuir la profundidad y el volumen del contenedor, la cantidad del espacio poroso disminuye consecuentemente reduciendo la capacidad de retención de agua y aire (Bilderback y Fonteno, 1991). Plantas de ají (*Capsicum annum* L.) sembradas en contenedores más pequeños indujeron floración temprana de corta duración, lo que conllevó a una maduración precoz no deseable debido a una mayor competencia por macronutrientes (Xu *et al.*, 2001).

El contenido de nitrato endógeno en las raíces se ve severamente reducido bajo condiciones de

hipoxia, indicando su movilización. Aunque su transporte a la parte aérea vía xilema se reduce bajo déficit de oxígeno, la severidad de esta disminución depende de la concentración de nitrato en el medio, sugiriendo que al menos algo del nitrato en el xilema proviene del medio. La nitrato-reductasa de las raíces se ve fuertemente reducida bajo hipoxia, pero se recupera rápidamente cuando se vuelve a la normoxia (Brandão y Sodek, 2009).

Los regímenes de irradiación influyen la actividad de la nitrato-reductasa y su partición entre hojas y raíces en plántulas de café (*C. arabica* L.). La actividad de la enzima en hojas tuvo correlaciones positivas con la asimilación del CO<sub>2</sub>, en respuesta a los regímenes de irradiación. Bajo condiciones favorables de asimilación de CO<sub>2</sub>, mayor actividad de la nitrato-reductasa fue observada tanto en hojas como en raíces, y una

tendencia contraria ocurrió bajo condiciones limitantes de CO<sub>2</sub>. Bajo régimen moderado de irradiación las hojas fueron el principal sitio de reducción del nitrato, contribuyendo con el 70% del total de la asimilación del nitrato en la planta (Carelli y Fahl, 2006).

### Porcentaje de plantas con deformación en la raíz pivotante

Los resultados a los 112 ddt presentaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0,01$ ) entre tratamientos, mostrando que las plántulas sembradas en bolsa de polietileno de 17x23 cm obtuvieron el mayor porcentaje de deformación en la raíz pivotante con un 39,06%, en contraste con las ubicadas en bandejas plásticas de 21,8 y 21,4 cm de profundidad, que presentaron los menores valores para esta variable con un 15,63 y 19,93% respectivamente (tabla 3). En la figura 2 se observa la deformación en la raíz pivotante, generando el enrollado de la misma.

Las raíces de las plantas crecen geotrópicamente, pero si encuentran un obstáculo físico al llegar al fondo del contenedor tienden a crecer lateralmente sobre la superficie interna (Burdett, 1979). Para las plántulas de café sembradas en bolsas, la

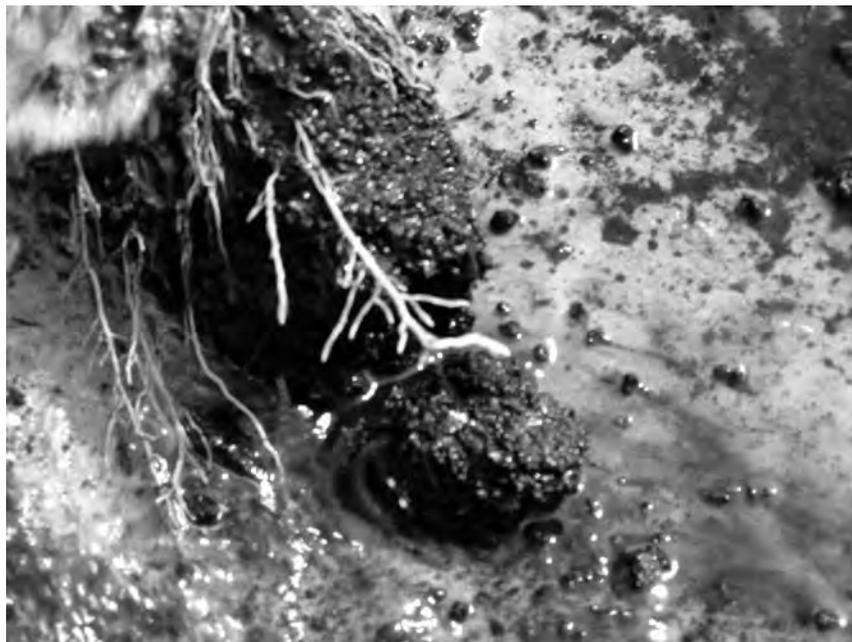
raíz pivotante suele doblarse y crecer de nuevo hacia arriba o enrollarse en el fondo del contenedor, coincidiendo con lo descrito por Ball (1976) en la producción de plántulas de pino (*Pinus* sp.) en bolsa plástica. Los contenedores usados para café deben promover un desarrollo adecuado de la raíz, impidiendo que se doble en el fondo generando “enrollado” al final del envase (Wightman, 2000). Este tipo de deformación genera la denominada “cola de marrano” en las plantas adultas en campo, causando inestabilidad física de las plantas y pérdida de capacidad de absorción de nutrientes (Gaitán *et al.*, 2011). Plántulas de *Quercus suber* L. sembradas en contenedores más profundos presentaron una mayor longitud de la raíz principal, sin deformaciones, con mayor biomasa radical y aérea (Chirino *et al.*, 2008).

Una apropiada profundidad y forma geométrica del contenedor es esencial para obtener una adecuada disponibilidad de agua en la zona radical de las plantas sembradas en estos (Heller *et al.*, 2015) y poder entender los procesos que tienen lugar dentro del sistema continuo raíz-planta-atmósfera, así como las interacciones entre el sustrato de crecimiento, las fases líquida y gaseosa dentro de esta matriz y su estatus nutricional (Raviv *et al.*, 2008).

**Tabla 3. Efecto del tipo del contenedor sobre la biomasa seca radical y porcentaje de plantas con deformación en la raíz pivotante de café (*C. arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero, a los 112 ddt.**

Tratamiento	Tipo contenedor	Biomasa seca radical (g)	Porcentaje de plantas con deformación en la raíz pivotante
1	Bandeja plástica 3x6 (17,3 cm de profundidad)	0,60 b	27,35 b
2	Bandeja plástica 3x6 (21,8 cm de profundidad)	0,81 a	15,63 a
3	Bandeja plástica 2x4 (17 cm de profundidad)	0,76 ab	29,69 b
4	Bandeja plástica 2x4 (21,4 cm de profundidad)	0,82 a	19,93 a
5	Bolsa polietileno negro de 11x20 cm (volumen de 750 cm <sup>3</sup> )	0,61 b	28,13 b
6	Bolsa polietileno negro de 17x23 cm (volumen de 1.700 cm <sup>3</sup> )	0,70 ab	39,06 c

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba Tukey ( $P \leq 0,01$ ).



**Figura 2. Deformación en la raíz pivotante en café (*C. arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero, a los 112 ddt. Foto: L.J. Díaz M.**

## CONCLUSIONES

Las plántulas de café, sembradas en el contenedor de mayor profundidad (21,8 cm) y la bolsa de polietileno de 17×23 cm, presentaron mayor longitud de la raíz pivotante debido a una menor restricción del espacio de crecimiento y un mejor aprovechamiento del recurso hídrico.

El volumen de raíces de las plántulas de café respondió de manera directamente proporcional con la profundidad del contenedor, presentando los menores valores aquellas sembradas en bolsa de polietileno de 11×20 cm y bandeja plástica de 17,3 cm de profundidad.

La mayor acumulación de biomasa en la raíz se presentó en las plántulas de café sembradas en

las bandejas de mayor profundidad debido a una mejor utilización de los recursos esenciales para su crecimiento.

Las plántulas sembradas en bolsas de polietileno de 17×23 cm mostraron los más altos porcentajes de deformación de la raíz pivotante, por lo cual no se recomienda su utilización en fase de vivero por largos períodos de tiempo.

Las plántulas sembradas en bandejas de 21,8 cm de profundidad presentaron los mejores resultados para las variables de crecimiento radicales determinadas en este estudio, por lo que se puede recomendar su uso para la producción comercial de café en etapa de vivero, además de disminuir la contaminación ambiental por bolsas de polietileno ya que son reutilizables por largos períodos de tiempo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allison, C.J., Jr. 1974. Design considerations for the RL single cell system. pp. 233-236. En: Proc. North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium, 26-29 de Agosto 1974. Denver, CO.
- Alm, A., D. Olsen y M. Lacky. 1982. Comparisons after planting of jack pine grown for varying time periods in different container systems. University of Minnesota College of Forestry. Minn. For. Res. Notes 279. St. Paul, MN.
- Alvarado, G., H. Posada y G. Cortina. 2005. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Cenicafé. Avance Técnico* 337, 1-8.
- Al-Zalzaleh, H. 2009. Root and shoot growth of *Acacia saligna* and *Eucalyptus viminalis* as influenced by container geometry. *Eur. J. Sci. Res.* 25, 567-573.
- Arcila, J. 2000. Evite errores en el manejo de almácigos de café. *Cenicafé. Avance Técnico* 274, 1-7.
- Arcila, J. y M. Botero. 1985. Densidad máxima de semilla para los germinadores de café. pp. 32- 56. En: Informe anual de labores de la sección de fitofisiología 1984-1985. *Cenicafé*, Chinchiná, Colombia.
- Arcila, J., F. Farfán, M. Moreno, G. Salazar y E. Hincapié. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. *Cenicafé*, Chinchiná, Colombia.
- Arizaleta, M. y R. Pire. 2008. Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia* 42, 47-55.
- Ball, J.B. 1976. Recipientes de plástico y enrollamiento de raíces. *FAO Roma. Unasyuva* 28 (111), p. 27.
- Barrett, D.J. y R.M. Gifford. 1995. Acclimation of photosynthesis and growth by cotton to elevated CO<sub>2</sub>: interactions with severe phosphate deficiency and restricted rooting volume. *Aust. J. Plant Physiol.* 22, 955-963. Doi: 10.1071/PP9950955
- Berenguer, J.J., M. García Lozano, I. Escobar y M.M. Téllez. 2004. Evaluación del volumen, tiempo de uso y geometría del contenedor en cultivos en fibra de coco. pp. 163-169. Acta VII Jornadas de Sustratos de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas (SECH), Madrid.
- Bilderback, T.E. 2001. Environmentally compatible container plant production practices. *Acta Hort.* 548, 311-318. Doi: 10.17660/ActaHortic.2001.548.35
- Bilderback, T.E. y W.C. Fonteno. 1991. Effects of container geometry and media physical properties on air and water volumes in containers. *J. Environ. Hort.* 5, 180-182.
- Brandão, A.D. y L. Sodek. 2009. Nitrate uptake and metabolism by roots of soybean plants under oxygen deficiency. *Braz. J. Plant Physiol.* 21(1), 13-23. Doi: 10.1590/S1677-04202009000100003
- Brombini, A. y P. Mazzafera. 2013. Aquaporins and the control of the water status in coffee plants. *Theor. Exp. Plant Physiol.* 25(2), 79-93. Doi: 10.1590/S2197-00252013000200001
- Burdett, A. 1979. Juvenile instability in planted pines. *Irish Forestry* 36(1), 36-47.
- Carelli, M.L. y J.I., Fahl. 2006. Partitioning of nitrate reductase activity in *Coffea arabica* L. and its relation to carbon assimilation under different irradiance regimes. *Braz. J. Plant Physiol.* 18(3), 397-406. Doi: 10.1590/S1677-04202006000300006
- Chirino, E., A. Vilagrosa, E. Hernández, A. Matos, A. y V. Vallejo. 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecol. Manage.* 256, 779-785. Doi: 10.1016/j.foreco.2008.05.035
- Coopman, R. 2000. Efecto del tipo de contenedor en las porosidades del sustrato, variables morfofisiológicas y aspectos de manejo en vivero, de plantas de *Pinus radiata* D. Don propagadas a partir de estacas. p. 102. En: Memoria de Título. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- Dumroese, R.K., T. Luna y T.D. Landis (eds.). 2009. Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries. p. 302. En: Nursery management. Vol. 1. Agriculture Handbook 730. USDA, Washington, D.C.
- Escobar, R. 2007. *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. p. 229. En: Manual de viverización. Trama Impresores, Hualpén, Chile.
- Fedecafé. 2010. Historia del café. Federación Nacional de cafeteros de Colombia, Chinchiná, Colombia.
- Furuta, T. 1978. Environmental plant production and marketing. Cox Publishing Company, Arcadia, CA.

- Gaitán, A., C. Villegas, C. Rivillas, E. Hincapié y J. Arzila. 2011. Almacigos de café: calidad fitosanitaria, manejo y siembra en el campo. *Cenicafé. Avance Técnico* 404, 1-7.
- Gómez, G.L., R.A. Caballero y R. Baldión. 1991. Ecotopos cafeteros de Colombia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Bogotá.
- Gutiérrez, M., R. Gómez y N. Rodríguez N. 2011. Comportamiento del crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.), en vivero, sembradas en diferentes volúmenes de sustrato. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 12(1), 33-42.
- Heller, H., A. Bar-Tal, S. Assouline, K. Narkis, S. Suryano, A. de la Forge, M. Barak, H. Alon, M. Bruner, S. Cohen y D. Tsohar. 2015. The effects of container geometry on water and heat regimes in soilless culture: lettuce as case study. *Irrigation Sci.* 33(1), 53-65. Doi: 10.1007/s00271-014-0448-y
- Kafkafi, U. 2008. Functions of the root system. pp. 13-40. En: Raviv, M. y J.H. Lieth (eds.). *Soilless culture: theory and practice*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Kinghorn, J.M. 1974. Principles and concepts in container planting. En: Tinus, R.W., W.I. Stein y W.E. Balmer (eds.). *Proc. North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium*. Great Plains Agricultural Council, Denver, Colorado, pp. 8-18.
- Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald y J.P. Barnett. 1990. Containers and growing Media. *Container Tree Nursery Manual*. Vol. 2. USDA Forest Service, Washington D.C.
- Ledent, J.F. 2002. Déficit hídrico y crecimiento de las plantas: Respuestas al déficit hídrico: Comportamiento morfofisiológico / Modelado del crecimiento de las plantas: Manual. pp. 15-20. Fundación Proinpa; Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima.
- Ouma, G. 2006. Growth responses of rough lemon (*Citrus limon* L.) rootstock seedlings to different container sizes and nitrogen levels. *Agricultural Tropica et Subtropica* 39(3), 182- 188.
- Passioura, J.B. 2002. Soil conditions and plant growth. *Plant Cell Environ* 25(2), 311-318. Doi: 10.1046/j.0016-8025.2001.00802.x
- Pereira, L., A.S. Dalla Cört São Miguel, E.M. Bonfim-Silva, E. Damacena de Souza y F.D. da Silva. 2015. Influence of soil bulk density on shoot and root traits of crotalaria. *Pesqui. Agropecu. Trop.* 45(4), 464-472. Doi: 10.1590/1983-40632015v4538107
- Peterson, T.A, M.D. Reinsel y D.T. Krizek. 1991a. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. 'Better Bush') plant response to root restriction. *J. Exp. Bot.* 42, 1233-1240. Doi: 10.1093/jxb/42.10.1233
- Peterson, T.A, M.D. Reinsel y D.T. Krizek. 1991b. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Better Bush) plant response to root restriction. II. Root respiration and ethylene generation. *J. Exp. Bot.* 42, 1241-1249. Doi: 10.1093/jxb/42.10.1241
- Raviv, M., J.H. Lieth, A. Bar-Tal y A. Silber. 2008. Growing plants in soilless culture: operational conclusions. pp. 545-572. En: Raviv, M. y J.H. Lieth (eds.). *Soilless culture: Theory and practice*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. Doi: 10.1016/B978-044452975-6.50015-0
- Salazar-Arias, J. 1991. Efecto del tamaño de bolsa sobre el desarrollo de "colinos" de café. *Avances Técnicos Cenicafé* 170, 1-4.
- Salazar-Arias, J. 1996. Efecto del tamaño de la bolsa del almacigo sobre la producción de café. *Cenicafé* 47(3), 115-120.
- Serrada, R. 2000. Apuntes de repoblaciones forestales. Fucovasa, Madrid. pp. 18-22.
- Slatyer, R.O. 1967. *Plant-water relationships*. Academic Press, London.
- South, D.B., S.W. Harris, J.P. Barnett, M.J. Hains y D.H. Gjerstad. 2005. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, USA. *Forest Ecol. Manage.* 204(2-3), 385-398.
- Spomer, L. 1982. The effect of container soil volume on plant growth. *HortScience* 17(4), 680-681.
- Tocancipá-Falla, J. 2010. *Cafés* in Colombia: socio-political and cultural forms of representation at the turn of the century. *Int. Soc. Sci. J.* 61(202), 425-436. Doi: 10.1111/j.1468-2451.2011.01770.x
- Vilanova, C., A., Iglesias y M. Porcar. 2015. The coffee-machine bacteriome: biodiversity and colonisation of the wasted coffee tray leach. *Nature Scientific Reports* 5, 17163. Doi: 10.1038/srep17163
- Wallach, R. y M. Raviv. 2005. The dependence of moisture-tension relationship and water availability on irrigation frequency in containerized growing media. *Acta Hort.* 697, 293-300. Doi: 10.17660/ActaHortic.2005.697.36
- Weston, L.A. y B.H. Zandstra. 1986. Effect of root container size and location of production on growth and yield of tomato transplants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(4), 498-501.

- Wightman, K.E. 2000. Prácticas adecuadas para los viveros forestales. Guía Práctica para los viveros comunitarios. Centro Internacional para Investigación en Agroforestería (ICRAF), Nairobi, Kenia.
- Xu, G., S. Wolf y U. Kafkafi. 2001. Interactive effect of nutrient concentration and container volumen on flowering, fruiting and nutrient uptake of sweet pepper. *J. Plant Nutr* 24(3), 479-501. Doi: 10.1081/PLN-100104974
- Zaharah, S. e I.Razi, 2009. Growth, stomata aperture, biochemical changes and branch anatomy in mango (*Mangifera indica*) cv. Chokanan in response to root restriction and water stress. *Sci. Hortic.* 123(1), 58-67. Doi: 10.1016/j.scienta.2009.07.022

# El estrés por boro afecta la fotosíntesis y el metabolismo de pigmentos en plantas. Una revisión

## Boron stress affects photosynthesis and metabolism of plant pigments. A review



DARWIN MORENO-ECHEVERRY<sup>1, 4</sup>  
IVONNE A. QUIROGA<sup>1</sup>  
HELBER ENRIQUE BALAGUERA-LÓPEZ<sup>2</sup>  
STANISLAV MAGNITSKIY<sup>3</sup>

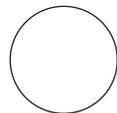
**Deficiencia de B en hojas de plátano.**

Foto: S. Magnitskiy

### RESUMEN

El estrés causado por deficiencia o toxicidad de boro es común en plantas cultivadas. En la actualidad, el papel del boro en la fotosíntesis y sus efectos en el metabolismo de pigmentos es desconocido. La fotosíntesis puede presentar limitación estomática, debido a la disminución en el intercambio gaseoso; y limitación no estomática, que se caracteriza por disminuciones en la actividad de enzimas relacionadas con el ciclo de Calvin y alteraciones en parámetros de la fluorescencia de la clorofila *a*, debido al desacople generado entre las fases foto y síntesis de la fotosíntesis, propiciando un aumento en los contenidos de especies reactivas de oxígeno que afectan negativamente algunas moléculas, estructuras celulares y la eficiencia fotosintética. Así mismo se presenta una alteración a nivel del metabolismo de pigmentos, tales como la composición de clorofila *a*, *b* y total, así como la concentración de otros pigmentos como carotenoides, los cuales están implicados en la tolerancia de plantas a diferentes condiciones de estrés, variando en su expresión de acuerdo a la especie y al estado fenológico de la misma.

**Palabras clave adicionales:** fluorescencia de clorofila, ciclo de Calvin, nutrición mineral, carotenoides, especies reactivas de oxígeno.



<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Maestría en Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Horticultura, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Biología, Universidad El Bosque, Bogotá (Colombia) / Grupo de Investigaciones Agrícolas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia).

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

<sup>4</sup> Autor para correspondencia. [dmorenoe@unal.edu.co](mailto:dmorenoe@unal.edu.co)

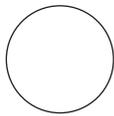
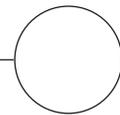
## ABSTRACT

Stress due to the deficiency and toxicity of boron is common in crop plants. Currently, the role of boron in photosynthesis and its effects on pigment metabolism are unknown. Photosynthesis can present stomatal limitations due to a decrease in gas exchange and non-stomatal limitations, characterized by decreases in the activity of enzymes of the Calvin cycle and alterations in chlorophyll fluorescence due to the decoupling generated between the photo phase and synthesis phase of photosynthesis, promoting contents that increase reactive oxygen species that negatively affect some molecules, cellular structures, and photosynthetic efficiency. Likewise, an alteration of the pigment metabolism occurs, changing the composition of a, b, and total chlorophylls, as well as the concentration of other pigments, such as carotenoids, involved in the tolerance of plants to various stress conditions, varying their expression according to the species and phenological stage.

**Additional keywords:** chlorophyll fluorescence, Calvin cycle, mineral nutrition, carotenoids, reactive oxygen species.

Fecha de recepción: 15-12-2015

Aprobado para publicación: 14-05-2016



## INTRODUCCIÓN

El boro (B) es un elemento químico metaloide perteneciente al grupo 13 de la tabla periódica (Guidon *et al.*, 2014). Se considera como un micronutriente esencial para las plantas (Broadley *et al.*, 2012). En la solución del suelo, el B se encuentra en forma de ácido bórico ( $B(OH)_3$ ) altamente soluble en condiciones de pH entre 5,5 y 7,5, por lo cual puede ser lixiviado y perderse del suelo en zonas lluviosas (Camacho *et al.*, 2008). En este sentido, la disponibilidad de B en los suelos de muchas regiones del mundo es limitada, por lo que es frecuente que se presenten síntomas de deficiencia en las plantas (Tanaka y Fujiwara, 2008). Sin embargo, en algunos suelos el B se encuentra en niveles tóxicos, principalmente en suelos regados con agua rica en B, en suelos con mal drenaje y en suelos de regiones áridas y semiáridas donde este nutriente es acumulado como depósito natural (Landi *et al.*, 2013a).

El  $B(OH)_3$  representa cerca de 10% del total del B en el suelo (Bariya *et al.*, 2014) y es la principal

forma en que las plantas absorben este elemento (Tanaka y Fujiwara, 2008). En la planta, el B libre se encuentra en forma de ácido bórico, mientras que en el citoplasma (pH 7,5) cierta cantidad del B libre está en forma de tetrahidroxiborato ( $B(OH)_4^-$ ) (Broadley *et al.*, 2012). Durante mucho tiempo se consideró que el  $B(OH)_3$  era transportado a través de membranas celulares en la planta por un mecanismo de transporte pasivo (difusión simple) (Brown y Shelp, 1997; Miwa y Fujiwara, 2010), debido a su alto coeficiente teórico de permeabilidad ( $8 \times 10^{-6} \text{ cm s}^{-1}$ ) en las células vegetales (Takano *et al.*, 2008), sin embargo, se comprobó a nivel experimental, que la permeabilidad en realidad es más baja ( $4,4 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$ ) (Stangoulis *et al.*, 2001), por lo cual se concluyó que existen otros mecanismos de transporte diferentes a la difusión simple, que funcionan dependiendo de las condiciones de B en el suelo (Tanaka y Fujiwara, 2008). Así, la difusión simple funciona bajo condiciones normales, mientras que bajo condiciones de deficiencia

se pueden presentar el transporte por difusión facilitada a través de canales NIPs y también el transporte activo por transportadores BOR1 (Takano *et al.*, 2002; Takano *et al.*, 2008; Wimmer y Eichert, 2013; Reid *et al.*, 2014).

El B después de ser cargado al xilema, se transporta a otras partes de la planta por la corriente transpiratoria (Blevins y Lukaszewski, 1998; Tanaka y Fujiwara, 2008). Anteriormente se consideraba que el B era inmóvil en el floema (Blevins y Lukaszewski, 1998), sin embargo, estudios recientes han demostrado que algunas plantas que producen altas cantidades de azúcares alcoholes, como sorbitol, manitol y dulcitol pueden movilizar el B a través del floema (Tanaka y Fujiwara, 2008; Lehto *et al.*, 2010), debido a que el ácido bórico forma complejos “B-Poliol” con compuestos biológicos que tienen grupos hidroxilo en configuración *Cis* (*Cis-dioles*), los cuales son móviles en floema (Papadaskis *et al.*, 2004; Camacho *et al.*, 2008; Broadley *et al.*, 2012). Con base en lo anterior, la movilidad del B varía dependiendo de la especie de planta, de tal forma que existen plantas con alta movilidad (tolerantes a la deficiencia) y otras con movilidad restringida (susceptibles) (Brown y Shelp, 1997; Ozturk *et al.*, 2010). Además, la sensibilidad de las plantas a la deficiencia o toxicidad de B, también varía con la edad de la planta, siendo la etapa reproductiva la de mayor sensibilidad (Ahmad *et al.*, 2009); adicionalmente, la capacidad de la planta para desplegar mecanismos para disminuir el efecto del estrés por B varía de acuerdo a la especie (Landi *et al.*, 2013a).

El B ejerce un papel importante a nivel fisiológico y bioquímico sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Ahmad *et al.*, 2009). La principal función del B es como componente estructural de la pared celular, debido a la formación de enlaces con moléculas de ramnogalacturonano II (B-RG-II) (Botta *et al.*, 2007; Takano *et al.*, 2008; Kobayashi *et al.*, 2011). Se ha reportado que más del 90% del B en la planta está localizado en las paredes celulares (Ahmad *et al.*, 2009). No obs-

tante, su función es la menos comprendida entre todos los nutrientes y las funciones que se le han atribuido parten de estudios de deficiencia o toxicidad del elemento, en los cuales se genera un “efecto de cascada” (Reid *et al.*, 2004; Broadley *et al.*, 2012) que afecta diferentes procesos como: desarrollo de semillas y frutos (Ahmad *et al.*, 2009; Agustí, 2013); división y elongación celular (Botta *et al.*, 2007; Ozturk *et al.*, 2010); crecimiento del tubo polínico (Blevins y Lukaszewski, 1998); transporte y metabolismo de azúcares (Bogiani *et al.*, 2013); síntesis de fenoles y de algunas hormonas, como ácido indolacético (Ahmad *et al.*, 2009); metabolismo de ARN, respiración (Broadley *et al.*, 2012); fotosíntesis (Han *et al.*, 2008) y en general, en el crecimiento de plantas (Wimmer y Eichert, 2013). Por tanto, el objetivo fue revisar el estado del arte de los efectos del estrés por B en la fotosíntesis y la síntesis de compuestos antioxidantes.

## EL BORO EN LA FOTOSÍNTESIS

El papel del B en la fotosíntesis no está aún bien definido y los efectos de la deficiencia o toxicidad asociados a este proceso son considerados complejos de naturaleza secundaria (Goldbach y Wimmer, 2007), es decir, que el B al parecer no participa directamente en el proceso de fotosíntesis. En general, la deficiencia y toxicidad por B disminuyen la fotosíntesis en diversas plantas como: algodón (Bogiani *et al.*, 2013), cucurbitáceas (Landi *et al.*, 2013a), albahaca (Landi *et al.*, 2013b), té (Mukhopadhyay *et al.*, 2013), cítricos (Han *et al.*, 2008; Sheng *et al.*, 2009), kiwi (Sotiropoulos *et al.*, 2002) y palma de coco (Pinho *et al.*, 2010). Por el contrario, en *Dittrichia viscosa* (Asteraceae), la deficiencia de B no tuvo ningún efecto en la fotosíntesis, pero sí disminuyó el crecimiento (Stavrianakou *et al.*, 2006), lo que confirma que los efectos del B en la fotosíntesis no se presentan de manera directa, sino que son el resultado de una serie de alteraciones en otros procesos bioquímicos y fisiológicos (Broadley *et al.*, 2012).

En condiciones de deficiencia, se ha reportado la acumulación de almidón y en toxicidad menor actividad de enzimas fotosintéticas, así como la alteración en la capacidad de transporte de electrones (Landi *et al.*, 2013a). Concordando con Guidi *et al.* (2011), quienes afirman que las plantas con exceso de B presentan menor estabilidad en el fotosistema II (PSII), y por lo tanto, menor intercambio de energía entre sus unidades. Sin embargo, el mecanismo por el cual la deficiencia o toxicidad por B afecta la fotosíntesis no se ha dilucidado completamente (Chen *et al.*, 2009), recientes estudios han reportado que incluye limitaciones estomáticas y no estomáticas (Sheng *et al.*, 2009; Bogiani *et al.*, 2013).

### Boro y limitaciones estomáticas de la fotosíntesis

El B afecta el intercambio gaseoso (Pinho *et al.*, 2010), por ejemplo, se ha reportado que la deficiencia o toxicidad por B disminuyen la conductancia estomática ( $g_s$ ), transpiración ( $E$ ) y fotosíntesis neta ( $P_n$ ), especialmente en hojas jóvenes (Bogiani *et al.*, 2013; Landi *et al.*, 2013b; Mukhopadhyay *et al.*, 2013). Al parecer existen diferencias en la magnitud de la disminución de los anteriores parámetros entre la deficiencia y toxicidad. Bajo condiciones de deficiencia de B, se reportó que la  $g_s$  se disminuye entre 35%, 45% y 47%; mientras que la  $P_n$  se disminuye entre 55%, 34% y 78% en plántulas de té (Mukhopadhyay *et al.*, 2013), palma de coco (Pinho *et al.*, 2010) y naranja (Han *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2009), respectivamente. Por su parte, bajo condiciones de toxicidad ( $>100 \mu\text{M}$  en la solución de suelo), la  $P_n$  se disminuye entre 17% en *Cucurbita pepo* (Landi *et al.*, 2013b), 21% a 27% en mandarina (Papadaskis *et al.*, 2004) y 33% en cebada (Reid *et al.*, 2004). Lo anterior sugiere que la  $P_n$  es más sensible a condiciones de deficiencia de B que a condiciones de toxicidad.

La disminución de la  $g_s$  correlaciona positivamente con la reducción de la  $P_n$ , sin embargo, el mecanismo por el cual la deficiencia o toxicidad

por B disminuye la  $g_s$  no se ha dilucidado completamente, pero puede estar relacionado con la inducción del cierre estomático (Landi *et al.*, 2013a; Landi *et al.*, 2013b). En este sentido, bajo condiciones de deficiencia de B, se ha reportado que los daños inducidos en las membranas de las células guarda de los estomas afectan el funcionamiento de las bombas de protones (ATPasa/ $\text{H}^+$ ) (Ahmad *et al.*, 2009; Broadley *et al.*, 2012), ocasionando la disminución en la absorción de  $\text{K}^+$  y favoreciendo la salida pasiva de  $\text{K}^+$  de células guarda de los estomas (Wimmer y Eichert, 2013). Además, Bogiani *et al.* (2013) encontraron que la deficiencia de B disminuye la densidad de estomas y afecta el funcionamiento de los mismos, debido a la acumulación de azúcares en ellos.

### Boro y limitaciones no estomáticas de la fotosíntesis

La concentración intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) incrementa bajo condiciones de deficiencia y toxicidad de B, lo que sugiere que la disminución de la  $P_n$  también se debe a limitaciones no estomáticas (Han *et al.*, 2008; Sheng *et al.*, 2009; Bogiani *et al.*, 2013), probablemente por alteración en varios procesos como: daño en membranas; alteración en la actividad de enzimas involucradas en la fotosíntesis; acumulación de hexosas y almidón en hojas; daños en la estructura de los cloroplastos, alteración en la eficiencia fotosintética, daño en el aparato fotosintético, entre otros. En este sentido, los daños en las membranas celulares ocasionados por la deficiencia de B afectan a las proteínas que participan en la fotosíntesis (Pinho *et al.*, 2010), adicionalmente, se ha reportado que la deficiencia y toxicidad de B disminuyen significativamente las actividades de las enzimas Rubisco (71%-85% de disminución), NADP-GAPDH ( $\sim 90\%$ ) y FBPasa del estroma ( $\sim 73\%$ ), sin presentarse diferencias entre la deficiencia y la toxicidad (Han *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2009).

Además, Chen *et al.* (2014) demostraron con estudios de proteómica, que la deficiencia y

la toxicidad por B afectan negativamente a las proteínas involucradas con las reacciones de luz (OEC23 (Oxygen evolving complex-23 protein of Photosystem II), PSI RC2-1 (photosystem II reaction-center subunit II-1) y subunidad  $\text{H}^+$ -ATPasa), así como algunas relacionadas con la fijación de  $\text{CO}_2$  (Rubisco activasa y FBP aldolasa) de la fotosíntesis en *Arabidopsis thaliana*. Mishra *et al.* (2009) encontraron que durante los primeros 5 días de estrés por deficiencia de B, la concentración de Rubisco, las actividades de Rubisco activasa y OEC23 no cambiaron significativamente con respecto a plantas con suficiencia de B, a pesar de que la  $P_n$  se disminuyó, indicando la importancia de otros factores en la disminución de la fotosíntesis bajo deficiencia de este nutriente.

El mecanismo por el cual el estrés por B afecta a las enzimas que participan en la fotosíntesis es desconocido, sin embargo, puede estar relacionado con la acumulación de hexosas (glucosa y fructosa) y la disminución en la translocación de fotoasimilados en las hojas de las plantas con deficiencia de B (Zhao y Oosterhui, 2002; Bariya *et al.*, 2004; Han *et al.*, 2008), las cuales llevan a la disminución de la expresión de genes que codifican para enzimas de la fotosíntesis (Krapp *et al.*, 1993). En tabaco se demostró que niveles altos de glucosa ( $4,5 \text{ mmol m}^{-2}$ ) en la hoja inhiben la expresión de algunos genes relacionados con fotosíntesis (Herbers *et al.*, 1996), además se ha reportado que la acumulación de glucosa en hojas de naranja deficientes de B es de  $9 \text{ mmol m}^{-2}$  (Han *et al.*, 2008). La acumulación de glucosa está relacionada con el aumento de la actividad de la enzima invertasa (INV), superando la capacidad de la enzima hexoquinasa (HXK) para fosforilar hexosas, con lo cual se desencadena una retroalimentación negativa del ciclo de Calvin (Sheen, 1994; Rolland *et al.*, 2006). En este sentido, Han *et al.* (2008) y Han *et al.* (2009) encontraron que la actividad de INV en hojas de cítricos se aumenta en mayor proporción en condiciones de exceso de B (3,5 veces) que en deficiencia (2 veces) con respecto al control.

Por otro lado, se ha reportado que bajo deficiencia de B además de la acumulación de hexosas, también se aumenta la acumulación de almidón en los cloroplastos, afectando negativamente la ultra-estructura y función de los mismos (Han *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2009; Wimmer y Eichert, 2013). Además, la deficiencia y el exceso de B disminuyen el contenido de clorofilas, la relación Chl *a*/Chl *b*, y el contenido de carotenoides en diferentes especies, con lo cual se disminuye la capacidad fotosintética de la planta (Pinho *et al.*, 2010; Mukhopadhyay *et al.*, 2013; Landi *et al.*, 2013b). La relación de clorofilas se puede ver reducida según Horn *et al.* (2007) por un aumento en el contenido de la clorofila *b* en plantas con toxicidad por B, sugiriendo una pérdida diferencial de los centros de reacción y de las proteínas de la antena captadora de luz.

Adicionalmente, se ha reportado que los daños celulares como consecuencia de la deficiencia o toxicidad por B, como: disminución de la expansión foliar, daños en membranas, clorosis y necrosis, causan reducción significativa de la fotosíntesis (Reid *et al.*, 2004; Pinho *et al.*, 2010). Finalmente, se ha reportado una alteración de la fluorescencia de la clorofila *a* bajo condiciones de estrés por B (Han *et al.*, 2009; Guidi *et al.*, 2011).

### Boro y fluorescencia de la clorofila *a*

La fluorescencia de la clorofila *a* genera una aproximación del desempeño y del estado del aparato fotosintético a nivel del PSII. Por medio de la cinética de Kautsky, la cual es una curva de inducción de fluorescencia que consiste en dos fases, la rápida (OJIP) la cual relaciona principalmente los eventos primarios del PSII, que incluye la óxido-reducción de los aceptores y donadores de electrones ( $\text{Q}_A$ ,  $\text{Q}_B$  y PQ); y la fase lenta (PSMT), asociada con interacciones entre procesos de las membranas de los tilacoides y procesos metabólicos en el estroma del cloroplasto, se puede evidenciar alteraciones en la respuesta fotosintética de las plantas (Maxwell y Johnson, 2000; Baker, 2008; González *et al.*, 2008). En la fase rápida de

la curva se encuentra un pico  $K$  el cual es considerado como el resultado de la inhibición en la donación de electrones desde el agua al aceptor secundario de electrones del PSII, debido posiblemente a una inactivación del complejo productor de oxígeno (OEC), resultado de la liberación del ion manganeso desde este complejo; siendo la amplitud del pico  $K$  un indicador específico del daño en OEC. Han *et al.* (2009) han reportado un pico  $K$  pronunciado para plantas con exceso de B y en menor proporción para plantas con deficiencia de este nutriente, concordando con Mukhopadhyay *et al.* (2013), quienes afirman que la disminución de la fotosíntesis por deficiencia de B puede deberse a limitaciones en la reacción de Hill, limitando la fotólisis del agua y la posterior liberación de oxígeno, lo que altera el flujo de electrones en los aceptores del PSII.

Se ha sugerido que la amplitud de la fase I-P es una medida de la cantidad de aceptores finales reducidos al sitio aceptor del PSI, representando esta fase el último paso y el más lento limitante de la cadena transportadora de electrones fotosintético (Han *et al.*, 2009). Estos investigadores aseguran que la fase I-P que va desde fluorescencia a los 30 milisegundos (F30ms) a fluorescencia máxima (Fm) fue igualmente disminuido tanto por deficiencia como por exceso de B. Por lo tanto, la mayor disminución en la asimilación de CO<sub>2</sub> en hojas con deficiencia de B comparado con exceso, no puede ser atribuido a un aumento en la disminución en los aceptores finales reducidos (Han *et al.*, 2009).

Variaciones en los parámetros relacionados con la fluorescencia de la clorofila *a* se han reportado debido a los diferentes niveles de B en la planta. La eficiencia máxima del PSII (Fv/fm) tiende a disminuir con exceso de B en plantas de *Citrus grandis* y *Ocimum basilicum* (Han *et al.*, 2009; Landi *et al.*, 2013b) y este efecto se ve disminuido en plantas de *Solanum lycopersicum* cuando existen sales presentes en la solución del suelo, las cuales ejercen una función antagonista con el B (Guidi *et al.*, 2011). Sin embargo, Han *et al.* (2009) repor-

tan que este parámetro disminuye aún más en hojas deficientes que con exceso de B, indicando que el PSII es menos inhibido con exceso de este nutriente; concordando con Papadakis *et al.* (2004) quienes afirman que este parámetro no se ve afectado con dosis altas de B. Stavrianakou *et al.* (2006) afirman que con deficiencia no se ve afectado el Fv/fm ni la capacidad fotosintética en plantas de *Dittichia viscosa*. Por lo tanto, bajo condiciones de estrés por B el Fv/fm puede verse afectado dependiendo de la especie, teniendo en cuenta que este índice es un buen indicador del estado inhibitorio del PSII, debido a que refleja la acumulación de centros de reacción del PSII que no están funcionales (Baker, 2008).

Dentro de las vías de disipación de energía se encuentra el quenching no fotoquímico (qNP), el cual aumenta en plantas con altos contenidos de B, indicando que una mayor proporción de energía se está dirigiendo a la vía de la disipación por calor, esto puede estar relacionado con la protección del aparato fotosintético a partir del ciclo de las zeaxantinas, o por el daño mismo que se genera por los diferentes niveles de fotoinhibición (González *et al.*, 2008; Guidi *et al.*, 2011; Landi *et al.*, 2013). Por otro lado, la disminución del quenching fotoquímico (qP) bajo condiciones de exceso de B, está relacionado con la reducción en el rendimiento cuántico fotoquímico del PSII ( $\Phi$ PSII) debido a una alteración en la proporción de centros de reacción abiertos del PSII (Guidi *et al.*, 2011; Landi *et al.*, 2013a).

Así mismo, la tasa de transporte de electrones (TTE) se ve disminuida tanto en bordes de la hoja de *Solanum lycopersicum*, como en el centro de la misma cuando los niveles de B son altos, debido posiblemente a la incapacidad para disipar calor (Guidi *et al.*, 2011) y su disminución varía de acuerdo a la severidad en que la concentración de B se encuentre en la planta. También se ha reportado que la TTE se disminuye cuando se presenta una deficiencia de B, afectando consecuentemente la tasa fotosintética (Han *et al.*, 2009). En general, cuando se presenta un estrés

por B, se disminuye la apertura u oxidación de los centros de reacción del PSII por la baja reoxidación de la  $Q_A$ , y por tanto, no se produce el ATP y NADPH productos de la cadena transportadora de electrones, afectando así el Ciclo de Calvin (Guidi *et al.*, 2011).

Han *et al.* (2009) reportaron que la fotoinhibición se identifica con mayor precisión por un aumento en el flujo de energía disipado por el centro de reacción ( $DI_0/RC$ ) y una disminución en la probabilidad de que un excitón atrapado mueva un electrón en la cadena de transporte de electrones más allá de  $Q_A$  ( $ET_0/TR_0$ ), que por una disminución en  $F_v/f_m$  ( $TR_0/ABS$ ). Se ha encontrado que  $TR_0/ABS$  y  $ET_0/TR_0$  disminuyeron más con exceso de B que con deficiencia, y  $DI_0/RC$  incrementa en mayor medida en plantas con exceso de B, indicando una pérdida en la conectividad entre la energía que atrapa la antena pero que no va al centro de reacción, y por lo tanto se disipa (Turán *et al.*, 2014). Adicionalmente, la disminución de  $TR_0/ABS$  con exceso de B sugiere que los sitios donadores son relativamente más afectados que los sitios aceptores (Turán *et al.*, 2014).

Adicionalmente se logra evidenciar que cuando se presenta un exceso de B se disminuyen diferentes parámetros como: flujo de transporte de electrones ( $ET_0/RC$ ), transportadores totales de electrones ( $S_m$ ), flujo de energía disipada ( $DI_0/RC$ ), flujo de absorción ( $ABS/RC$ ) y el flujo de energía atrapado ( $TR_0/RC$ ). Además, se reducen parámetros como el rendimiento cuántico para el transporte de electrones ( $ET_0/ABS$ ), el rendimiento cuántico para la disipación de la energía ( $\phi D_O$ ), la fracción de complejos liberadores de oxígeno, el índice de desempeño ( $PI_{ABS}$ ) y el índice de desempeño total ( $PI_{ABS-Total}$ ) (Han *et al.*, 2009; Turán *et al.*, 2014).

Con lo anterior, se puede concluir que el PSII es menos fotoinhibido con la deficiencia de B (Han *et al.*, 2009), siendo la cantidad de PSII activos por sección transversal ( $RC/CS_0$ ) el parámetro más afectado bajo esta condición, debido a un

incremento en la fluorescencia mínima ( $F_0$ ). El incremento de  $F_0$  genera la reducción de la fluorescencia variable ( $F_v$ ) y esta se considera que es la característica de inhibición de los aceptores de electrones del PSII, indicando un daño fotoquímico asociado a una pérdida crónica de centros funcionales del PSII (Landi *et al.*, 2013a), a causa de la separación del LHC (Light Harvesting Complex) con el complejo básico del fotosistema, generando un daño irreversible del PSII (Turán *et al.*, 2014). En general, Han *et al.* (2009) concluyeron que los parámetros de fluorescencia de la clorofila *a* son menos afectados por deficiencia de B que por exceso, indicando que bajas cantidades de B en plantas inhiben menos los aceptores del PSII.

### Boro y metabolismo de pigmentos

El contenido de pigmentos en las plantas varía de acuerdo a diferentes limitantes a nivel nutricional y por diferentes condiciones de estrés abiótico (Chutia y Borah, 2012; Giri *et al.*, 2013). Se ha reportado que tanto un exceso como una deficiencia de boro en plantas de tabaco genera una disminución en el contenido de clorofilas totales, disminuyendo las tasas fotosintéticas de la planta debido a la afectación que se da en las reacciones de Hill (Ghanati *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2011). Así mismo, autores como Prabhu y Muthuchenlian (2011) han observado que el porcentaje de disminución del contenido de pigmentos y la disminución en la relación  $chl_a/b$ , es mayor cuando se presenta toxicidad por boro que cuando hay una deficiencia de este micronutriente. Sin embargo, Tewari *et al.* (2009) registraron que para plantas de mora, la concentración de pigmentos se disminuyó bajo condiciones de deficiencia de boro, pero en toxicidad no se observó una disminución significativa en las concentraciones de clorofila *b* y carotenoides, siendo la disminución de carotenoides la implicada en la reducción de la relación carotenoides/clorofilas bajo condiciones de deficiencia de boro. Lo anterior difiere a lo reportado por varios autores, ya que según estudios en plantas de caupí y

pera, el contenido de carotenoides no se ve afectado por deficiencias o excesos de boro (Prabhu y Muthuchenlian, 2011; Wang *et al.*, 2011).

Con respecto a la deficiencia de boro, el contenido de clorofilas se vio disminuido en plantas de coco, posiblemente debido a una alteración en el sistema de síntesis de clorofila y/o a la actividad de la enzima clorofilasa (Pinho *et al.*, 2010). Se conoce que la falta de este elemento en las plantas reduce la capacidad fotosintética como resultado de la disminución en la actividad de las reacciones de Hill, la baja concentración de CO<sub>2</sub> intercelular debido a una disminución en la conductancia estomática, a la menor tasa de transporte de electrones y por supuesto a la reducción de las clorofilas (Zhao y Oosterhuis, 2002). Según Hajiboland y Farhanghi (2010), en plantas de *Brassica rapa* se ha observado que tanto la disminución de la conductancia estomática, como el bajo contenido de clorofilas presentes en las hojas, generan una fotoinhibición importante en plantas deficientes de boro.

En estudios realizados por Hajiboland *et al.* (2011a), en plantas de té bajo condiciones de deficiencia de boro, se observó que el contenido de clorofilas totales disminuyó, pero se presenta un ligero aumento de las clorofilas *b* y los contenidos de carotenoides presentan una tendencia al aumento a medida que las plantas sobreviven con bajas concentraciones de boro. Sin embargo, estos mismos autores en otros estudios han diferenciado la respuesta entre hojas jóvenes y adultas, evidenciando que bajo condiciones de deficiencia de boro en plantas de té, no se afecta la concentración de clorofilas, carotenoides, antocianinas, ni flavonoides en las hojas jóvenes; sin embargo, en hojas adultas se reduce significativamente la relación chl*a/b* y se presenta adicionalmente un aumento en las concentraciones de carotenoides (Hajiboland *et al.*, 2011b). Los carotenoides son pigmentos que juegan un papel fotoprotectivo no solo por la disipación del exceso de energía de las clorofilas en estado triplete, sino también al estar involucrados en el ciclo de

las xantofilas (Casierra-Posada, 2007) y su papel protector al cloroplasto de daños fotooxidativos (Archana *et al.*, 2012). Concordando con lo anterior, en estudios realizados por Hajiboland y Farhanghi (2010) en plantas de nabo, se observó que bajo deficiencia de boro se disminuyó la concentración de carotenoides y clorofilas totales, pero se presentó un aumento en el contenido de antocianinas y compuestos fenólicos libres.

Según lo anterior, autores como Archana *et al.* (2012) reportan que la concentración de carotenoides se disminuye con la deficiencia de boro en diferentes plantas, pero aseguran que la disminución en la relación chl/car en estados tempranos de la deficiencia, puede ser una característica adaptativa para proteger los cloroplastos del daño fotooxidativo, sin embargo en estados tardíos, la relación ch/car se incrementa sugiriendo que los carotenoides se están viendo severamente afectados por la deficiencia de boro (Archana *et al.*, 2012).

Según Archana *et al.* (2012), en plantas de *Catharanthus roseus* la concentración de pigmentos fotosintéticos se disminuye bajo condiciones de deficiencia de boro, debido a los cambios que se inducen en la estructura del cloroplasto que podrían causar la disminución en la concentración de clorofilas *a* y *b*. Sin embargo, estos mismos autores aseguran que la relación chl *a/b* disminuye principalmente en los estados más tempranos de la deficiencia, posiblemente debido a que la clorofila *a* es más afectada que la clorofila *b*, pero en estados tardíos de deficiencia de boro, se revierte esta relación, indicando que la clorofila *b* es más sensible que la *a*, en momentos tardíos de la deficiencia.

Por otro lado, el exceso de boro también altera la composición de pigmentos, debido a la formación de especies reactivas de oxígeno que se producen a través de la clorofila triplete, lo cual puede inducir daños oxidativos, promoviendo la degradación de la clorofila o afectando su biosíntesis (Papadakis *et al.*, 2004). Lo anterior también

lo afirman Han *et al.* (2009), quienes observaron en diferentes estudios que la tasa fotosintética en hojas de cítricos disminuye significativamente cuando las dosis de boro son excesivas, debido a la formación de una gran cantidad de especies reactivas de oxígeno que promueven el daño de las membranas celulares, afectando el metabolismo de la planta.

Según autores como Prabhu y Muthuchelian (2011), bajo condiciones de toxicidad por boro, se incrementa la proporción chl *a/b*, lo que puede estar involucrado con el cambio en la composición de pigmentos del aparato fotosintético, el cual presentaría una menor cantidad de proteínas clorofílicas cosechadoras de la luz; lo cual ha sido reportado como un mecanismo adaptativo de defensa ante diferentes condiciones adversas para las plantas (Asada, 2006). Sin embargo, en otras especies como la pera y algunas brassicáceas, la relación chl *a/b* se disminuye a medida que se aumenta las concentraciones de boro en los tejidos (Wang *et al.*, 2011; Archana, 2013).

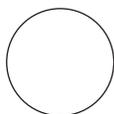
Diferentes investigaciones han revelado que la toxicidad por boro reduce el contenido de clorofilas *a*, *b*, totales y carotenoides, en plantas de pera, mostaza, *Artemisia annua* y diferentes brassicas (Aftab *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2011; Archana, 2013; Varshney *et al.*, 2015). Por otro lado, se observa que los cítricos bajo exceso de boro reducen únicamente la clorofila *b*, sin presentar diferencias significativas en los contenidos de clorofila *a* (Martínez-Cuenca *et al.*, 2015), e incluso en plantas de algodón, no se ve afectado el contenido total de pigmentos cuando estas se

encuentran bajo altas concentraciones de boro en el suelo (Ahmed *et al.*, 2014).

Otros autores investigaron la respuesta de plantas de maíz después de 24 d de siembra sometidas a diferentes dosis elevadas de boro, presentando incrementos en los contenidos de carotenoides y una disminución en los contenidos de clorofila total, principalmente la clorofila *a*. Así mismo se observó un incremento en los contenidos de xantofilas, el cual se ha reportado como un pigmento involucrado en la protección contra el daño oxidativo generado por la toxicidad de boro en plantas juveniles de maíz (Ogunwole *et al.*, 2015).

## CONCLUSIONES

Tanto la deficiencia como el exceso de boro afectan el proceso de la fotosíntesis, ya sea debido a limitaciones de tipo estomático o no estomático. La respuesta a esta condición de estrés genera múltiples mecanismos los cuales varían de acuerdo a la especie y al estado fenológico de la misma, alterando el metabolismo de los diferentes pigmentos en las plantas. Así mismo, la fluorescencia de la clorofila *a* se ha reportado como un indicador esencial y de gran importancia para determinar la magnitud de diferentes tipos de estrés. Para las diferentes dosis de boro se ha identificado que el PSII es alterado tanto en los eventos primarios como en los eventos posteriores asociados principalmente con interacciones entre procesos de las membranas de los tilacoides y los procesos metabólicos en el estroma del cloroplasto.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aftab, T., A. Khan, M. Idrees, M. Naeem y M. Ram. 2010. Boron induced oxidative stress, antioxidant defence response and changes in Artemisinin content in *Artemisia annua* L. J. Agron. Crop Sci. 196: 423-430. Doi: 10.1111/j.1439-037X.2010.00427.x

Agustí, M., A. Martínez, M. Mariano y V. Almelá. 2003. Cuajado y desarrollo de los frutos cítricos. Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

- Ahmed, N., M. Abid, A. Rashid, R. Abou-Shanab y F. Ahmad. 2014. Influence of boron nutrition on membrane leakage, chlorophyll content and gas exchange characteristics in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) J. Plant Nutr. 37, 2302-2315. Doi: 10.1080/01904167.2014.912325
- Ahmad, W., A. Niaz, S. Kanwal y K. Rasheed. 2009. Role of boron in plant growth: a review. J. Agric. Res. 47(3), 329-338.
- Archana, G., K. Singh y N. Pandey. 2012. Susceptibility of periwinkle (*Catharanthus roseus* L. var. nirmal) to boron deficiency. Res. Environ. Life Sci. 5(1), 43-46.
- Archana, N. 2013. Antioxidant responses and water status in *Brassica* seedlings subjected to boron stress. Acta Physiol Plant. 35, 697-706. Doi: 10.007/s11738-012-1110-z
- Asada, K. 2006. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplast and their functions. Plant Physiol. 141: 391-396. Doi: 10.1104/pp.106.082040
- Baker, N. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. Annu. Rev. Plant Biol. 59, 89-113. Doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759
- Bariya, H., S. Bagtharia y A. Patel. 2014. Boron: A promising nutrient for increasing growth and yield of plants. En: Hawkesford, M.J., S. Kopriva y L.J. de Kok (eds.). Nutrient use efficiency in plants. Plant Ecophysiol. 10. Doi: 10.1007/978-3-319-10635-9\_6
- Blevins, D. y K. Lukaszewski. 1998. Boron in plant structure and function. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49, 481-500. Doi: 10.1146/annurev.arplant.49.1.481
- Bogiani, J., A. Estevens y C. Rosolem. 2013. Carbohydrate production and transport in cotton cultivars grown under boron deficiency. Sci. Agric. 70(6), 442-448.
- Botta, A., M. Marcon, C. Marín, N. Sierra, M. Carrion y R. Piñol. 2007. Mejora en cuajado y calibre tras la aplicación de Boro con aminoácidos en diferentes cultivos. Actas Hort. 48, 592-595.
- Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, Z. Rengel y F. Zhao. 2012. Function of nutrients: Micronutrients. pp. 191-248. En: Marschner, P. (ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3<sup>rd</sup> ed. Elsevier, London.
- Brown, P. y B. Shelp. 1997. Boron mobility in plants. Plant Soil 193, 85-101. Doi: 10.1023/A:1004211925160
- Camacho, J., J. Rexach y A. Gonzales-Fonte. 2008. Boron in plants: Deficiency and toxicity. J. Integ. Plant Biol. 50(10), 1247-1255. Doi: 10.1111/j.1744-7909.2008.00742.x
- Casierra-Posada, F. 2007. Photoinhibition: Physiological response of plant to high-irradiance stress. A review. Rev. Colomb. Cienc. Hort. 1(1), 114-123. Doi: 10.17584/rcch.2007v1i1.1150
- Chen, M., S. Mishra, S. Heackathorn, J. Frantz y C. Krause. 2014. Proteomic analysis of Arabidopsis thaliana leaves in response to acute boron deficiency and toxicity reveals effects on photosynthesis, carbohydrate metabolism, and protein synthesis. J. Plant Physiol. 171, 235-242. Doi: 10.1016/j.jplph.2013.07.008
- Chutia, J. y S. Prasad. 2012. Water stress effects on leaf growth and chlorophyll content but not the grain yield in traditional rice (*Oryza sativa* Linn.) genotypes of Assam, India II. Protein and Proline status in Seedlings under PEG induced water stress. Amer. J. Plant Sci. 3, 971-980. Doi: 10.4236/ajps.2012.37115
- Ghanati, F., A. Morita y H. Yokota. 2002. Induction and suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cells. Soil Sci. Plant Nutr. 48, 357-364.
- Giri, S., D. Shrivastava, K. Deshmukh y P. Dubey. 2013. Effect of air pollution on chlorophyll content of leaves. Curr. Agric. Res. J. 1(2), 93-98. Doi: 10.12944/CARJ.1.2.04
- Goldbach, H. y M. Wimmer. 2007. Boron in plants and animals: Is there a role beyond cell-wall structure? J. Plant Nutr. Soil Sci. 170(1), 39-48. Doi: 10.1002/jpln.200625161
- González, S., H. Perales y M. Salcedo. 2008. La fluorescencia de la clorofila *a* como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. REB 27(4), 119-129.
- Guidi, L., E. Degl'Innocenti, G. Carmassi, D. Massa y A. Pardossi. 2011. Effects of boron on leaf chlorophyll fluorescence of greenhouse tomato grown with saline water. Environ. Exp. Bot. 73, 57-63. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2010.09.017.
- Guidon, L., X. Dong, L. Liu., L. Wu., S. Peng y C. Jiang. 2014. Boron deficiency is correlated with changes in cell wall structure that lead to growth defects in the leaves of navel orange plants. Sci. Hort. 176, 54-62. Doi: 10.1016/j.scienta.2014.06.036
- Hajiboland, R. y F. Farhanghi. 2010. Remobilization of boron, photosynthesis, phenolic metabolism and anti-oxidant defense capacity in boron-deficient turnip (*Brassica rapa* L.) plants. Soil Sci. Plant Nutr. 56, 427-437. Doi: 10.1111/j.1747-0765.2010.00478.x

- Hajiboland, R., S. Bastani y S. Bahrami. 2011a. Effect of light intensity on photosynthesis and antioxidant defense in boron deficient tea plants. *Acta Biol. Szegediensis* 55(2), 265-272.
- Hajiboland, R., S. Bastani y S. Bahramid. 2011b. Photosynthesis, nitrogen metabolism and antioxidant defense system in B-deficient tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) plants. *J. Sci.* 22(4), 311-320.
- Han, S., L. Chen, H. Jiang, B. Smith, L. Yang y Y. Xie. 2008. Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. *J. Plant Physiol.* 165, 1331-1341. Doi: 10.1016/j.jplph.2007.11.002
- Han, S., N. Tang., H. Jiang., L. Yang, Y. Li y L. Chen. 2009. CO<sub>2</sub> assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. *Plant Sci.* 176, 143-153. Doi: 10.1016/j.plantsci.2008.10.004.
- Herbers, K., P. Meuwly, W. Frommer, J. Métraux y U. Sonnewald. 1996. Systemic acquired resistance mediated by the ectopic expression of invertase: possible hexose sensing in the secretory pathway. *Plant Cell.* 8, 793-803. Doi: 10.1105/tpc.8.5.793
- Horn, R., G. Grundmann y H. Paulsen. 2007. Consecutive binding of chlorophylls a and b during the assembly in vitro of light-harvesting chlorophyll-a/b protein (LHCIIb). *J. Mol. Biol.* 366, 1045-1054. Doi: 10.1016/j.jmb.2006.11.069.
- 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
- Krapp, A., B. Hofmann, C. Schafêr y M. Sititt. 1993. Regulation of the expression of *rbcS* and other photosynthetic genes by carbohydrates: a mechanism for the 'sink regulation' of photosynthesis? *Plant J.* 3(6), 817-828. Doi: 10.1111/j.1365-313X.1993.00817.x
- Landi, M., D. Remorini, A. Pardossi y L. Guidi. 2013a. Boron excess affects photosynthesis and antioxidant apparatus of greenhouse *Cucurbita pepo* and *Cucumis sativus*. *J. Plant Res.* 126, 775-786. Doi: 10.1007/s10265-013-0575-1.
- Landi, M., A. Pardossi, D. Remorini y L. Guidi. 2013b. Antioxidant and photosynthetic response of a purple-leaved and a green-leaved cultivar of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to boron excess. *Environ. Exp. Bot.* 85, 64-75. Doi: 0.1016/j.envexpbot.2012.08.008
- Lehto, T., T. Ruuhola y B. Dell. 2010. Boron in forest trees and forest ecosystems. *Forest Ecol. Manag.* 260, 2053-2069. Doi: 10.1016/j.foreco.2010.09.028.
- Martínez-Cuenca, M., B. Martínez-Alcántara, A. Quiñones, M. Ruíz, D. Iglesias, E. Primo-Millo, y A. Forner-Giner. 2015. Physiological and molecular responses to excess boron in *Citrus macrophylla* W. *Plos ONE.* 10(7), 1-18. Doi: 10.1371/journal.pone.0134372
- Maxwell, K. y G. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *J. Experimental Botany.* 51(345), 659-668. Doi: 10.1093/jexbot/51.345.659
- Mishra, S., J. Frantz, F. Yu y J. Gray. 2009. Effects of boron deficiency on geranium grown under different nonphotoinhibitory light levels. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 134(2), 183-193. Doi: 10.1007/s11104-011-0888-6
- Miwa, K. y T. Fujiwara. 2010. Boron transport in plants: coordinated regulation of transporters. *Ann. Bot.* 105, 1103-1108. Doi:10.1093/aob/mcq044.
- Mukhopadhyay, M., P. Ghosh y T. Mondal. 2013. Effect of boron deficiency on photosynthesis and antioxidant responses of Young tea plantlets. *Rus. J. Plant Physiol.* 60(5), 633-639. Doi: 10.1134/S1021443713030096
- Ogunwole, A., O. Otusanya, F. Oloyede y T. Olabamiji, T. 2015. Comparative effects of boron toxicity and deficiency on the growth, chlorophyll, protein and some cations accumulation in *Zea mays* seedlings. *Int. J. Innov. Sci.. Res.*17(2), 316-335.
- Ozturk, M., S. Sakcali, S. Gucl y H. Tombuloglu. 2010. Boron and plants. pp. 275-310. En: Ashraf, M. (ed.). *Plant adaptation and phytoremediation.* Springer Books, New York, NY. Doi: 1007/978-90-481-9370-7\_13
- Papadakis, I., K. Dimassi, A. Bosabalidis, I. Therios, A. Patakas y A. Giannakoula. 2004. Effects of B excess on some physiological and anatomical parameters of Navelina orange plants grafted on two rootstocks. *Environ. Exp. Bot.* 51, 247-257. Doi:10.1016/j.plantsci.2003.10.027.
- Pinho, L., E. Campostrini, P. Monnerat, A. Torres, A. Assis, C. Marciano y Y. Bastos. 2010. Boron deficiency affects gas exchange and photochemical efficiency (JPI test parameters) in green dwarf Coconut. *J. Plant Nutr.* 33, 439-451. Doi: 10.1080/01904160903470471.

- Prabhu, M. y K. Muthuchelian. 2011. Effect of boron and high irradiance stresses on chlorophyll, protein and starch content in leaves of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp. P152). *J. Biosciences Res.* 2(2), 55-61.
- 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
- Rolland, F., E. Baena-Gonzalez y J. Sheen. 2006. Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. *Annual Rev. Plant Biol.* 57, 675-709. Doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105441.
- Sheen, J. 1994. Feedback control of gene expression. *Photosynth. Res.* 39, 427-438. Doi: 10.1007/BF00014596
- Sheng, O., S. Song, S. Peng y X. Deng. 2009. The effects of low boron on growth, gas exchange, boron concentration and distribution of 'Newhall' navel orange (*Citrus sinensis* Osb.) plants grafted on two rootstocks. *Sci. Hortic.* 121, 278-283. Doi:10.1016/j.scienta.2009.02.009.
- Sotiropoulos, T., I. Therios, K. Dimmasi, A. Bosabalidis y G. Kofidis. 2002. Nutritional status, growth, CO<sub>2</sub> assimilation, and leaf anatomical responses in two kiwifruit species under boron toxicity. *J. Plant Nutr.* 25(6), 1249-1261. Doi:10.1081/PLN-120004386.
- Stangoulis, J., R. Reid, P. Brown y R. Graham. 2001. Kinetic analysis of boron transport in *Chara*. *Planta* 213, 142-146. Doi: 10.1007/s004250000484
- Stavrianakou, S., G. Liakopoulos y G. Karabourniotis. 2006. Boron deficiency effects on growth, photosynthesis and relative concentrations of phenolics of *Dittrichia viscosa* (Asteraceae). *Environ. Exp.Bot.* 56, 293-300. Doi:10.1016/j.envexpbot.2005.03.007.
- Takano, J., K. Noguchi, M. Yasumori, M. Kobayashi, Z. Gajdos, K. Miwa, H. Hayashi, T. Yoneyama y T. Fujiwara. 2002. Arabidopsis boron transporter for xylem loading. *Nature* 420(21), 337-340. Doi: 10.1016/j.tplants.2008.05.007
- Takano, J., K. Miwa y T. Fujiwara. 2008. Boron transport mechanisms: collaboration of channels and transporters. *Trends Plant Sci.* 13(8), 451-457. Doi:10.1016/j.tplants.2008.05.007.
- Tanaka, M y T. Fujiwara. 2008. Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *Pflugers Arch.* 456, 671-677. Doi: 10.1007/s00424-007-0370-8
- Tewari, R., P. Kumar y P. Sharma, P. 2009. Morphology and oxidative physiology of boron-deficient mulberry plants. *Tree Physiol.* 30: 68-77. Doi: 10.1007/jpln.200700222.
- Turán, M., C. Kayihan, F. Eyidogan, Y. Ekmekci, M. Yucel y H. Oktem. 2014. Evaluation of photosynthetic performance of wheat cultivars exposed to boron toxicity by the JIP fluorescence test. *Photosynthetica* 52(4), 555-563. Doi: 10.1007/s.11099-014-0065-2.
- Varshney, P., Q. Fariduddin y Y. Mohammad. 2015. Boron induced modulation in growth, photosynthesis and antioxidant system in two varieties of *Brassica juncea*. *Int. J. Adv. Res.* 3(10), 819-832.
- Wang, J., S. Tao, K. Qi, J. Wu, H. Wu y S. Zhang. 2011. Change in photosynthetic properties and antioxidant system of pear leaves to boron toxicity. *Afr. J. Biotechnol.* 10(85), 19693-19700. Doi: 10.5897/AJB11.2608
- Wimmer, M. y T. Eichert. 2013. Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Sci.* 203-204, 25-32. Doi: 10.1016/j.plantsci.2012.12.012.
- Zhao, D. y D. Oosterhuis. 2002. Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency. *Field Crops Res.* 78, 75-87. Doi: 10.1016/S0378-4290(02)00095-3

# Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica

## Agricultural water balances in agroclimatic simulation models. An analytical review



JOSÉ ALEJANDRO CLEVES L.<sup>1,3</sup>

JAVIER TORO C.<sup>2</sup>

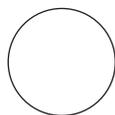
LIVEN FERNANDO MARTÍNEZ B.<sup>2</sup>

**Riego por aspersión de cultivo de sorgo en Buga, Valle del Cauca.**

Foto: J.A. Cleves L.

### RESUMEN

En este artículo se analiza la aplicabilidad de los modelos agroclimáticos de simulación de cultivos CropWat v 8.0 y AquaCrop bajo la ocurrencia de los eventos ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) y de cambio climático. Igualmente se resalta la importancia de estos modelos porque permiten a los agricultores implementar medidas de manejo y ubicación de cultivares teniendo en cuenta las condiciones climáticas para participar desde el contexto territorial en el diseño e implementación de estrategias de mitigación y/o adaptación. De manera complementaria se comparan las diferentes metodologías utilizadas para la determinación de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) y se describen los atributos, características y aplicabilidad en la ecuación Penman-Monteith. Finalmente se define las variables del balance hídrico agrícola, indicando su aplicabilidad en la conservación o aumento de la productividad en diferentes escenarios. Se concluye que estos modelos son herramientas técnicas fundamentales en la planificación de siembras y de cosechas.



**Palabras clave adicionales:** CropWat v 8.0, AquaCrop, rendimiento, planificación, escenarios.

<sup>1</sup> Facultad Seccional Duitama, Escuela Administración de Empresas Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Duitama (Colombia).

<sup>2</sup> Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

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

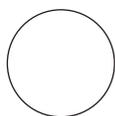
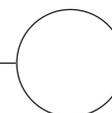
## ABSTRACT

This article analyzes the applicability of the agroclimatic crop simulation models CropWat v 8.0 and AquaCrop in the occurrence of ENSO (El Niño-Southern oscillation) events and climate change. The importance of these models is significant because they help farmers implement management measures and locate cultivars taking into account climatic conditions, thus allowing their participation, from the territorial context, in the design and implementation of strategies for mitigation and/or adaptation. Different methodologies used for determining the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) were compared, and the attributes, characteristics and applicability with the Penman-Monteith equation were described. Finally, the variables of the agricultural water balance were determined, along with their applicability regarding the preservation or the increase of productivity in different scenarios. It was concluded that these models are essential technical tools for planning sowing and harvests.

**Additional keywords:** CropWat v 8.0, AquaCrop, performance, planning, scenarios.

Fecha de recepción: 05-01-2016

Aprobado para publicación: 14-05-2016



## INTRODUCCIÓN

La intensidad de las oscilaciones de la temperatura superficial (TSM) del océano Pacífico en el sector 3.4 asociada a los fenómenos ENOS<sup>4</sup>, tiene una marcada incidencia en la variabilidad climática interanual del territorio colombiano (Córdoba *et al.*, 2015; Espinoza *et al.*, 2009; Lagos *et al.*, 2008; Palacios *et al.*, 2009). El conocimiento de esta anomalía y el uso de herramientas como los modelos de simulación, aportan información relevante para aumentar la resiliencia cultural de los agroecosistemas.

Los modelos de simulación CropWat v8.0 y AquaCrop estiman el requerimiento hídrico de los cultivos (Bouraima *et al.*, 2015; Charchousi *et*

*al.*, 2014; Dechmi *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2015), al igual que su rendimiento o el porcentaje de reducción según las condiciones climáticas o meteorológicas en un lugar y momento determinado (Andarzian *et al.*, 2011; Araya *et al.*, 2010; García-Vila y Fereres, 2012; Vanuytrecht *et al.*, 2014). Son útiles para definir las fechas óptimas de siembra en relación con las predicciones climáticas en condiciones de años análogos bajo la influencia de anomalías climáticas, asociadas al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO o ENOS). Para su aplicación es necesario analizar la información de la fenología, características del cultivo, propiedades hidrofísicas del suelo y manejo agronómico.

<sup>4</sup> El ENOS es un fenómeno dinámico oceánico-atmosférico que consiste en la interacción de las aguas superficiales del océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante. El ENOS está relacionado con alteraciones de las principales variables climatológicas en muchas regiones del mundo, incidiendo significativamente en ecosistemas terrestres y marinos. Tiene dos componentes, un componente oceánico en el cual se diferencian la fase cálida y la fase fría (El Niño, La Niña); y un componente atmosférico cuantificado como la diferencia estandarizada de presiones atmosféricas entre los sectores occidental (Darwin, Australia) y el sector oriental-central del Océano Pacífico Tropical (alrededores de la isla Tahití), denominado Índice de Oscilación del Sur (IOS o SOI) (Solano y Stolz, 2015; Trenberth, 1976; Yuan y Di, 2014).

En Colombia los modelos CropWat v8.0 y Aqua-Crop son los de mayor uso, debido a la difusión hecha por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la academia, los gremios y los productores. Adicionalmente requieren un número reducido de parámetros edáficos, información del cultivo y de variables climáticas en diferentes escalas (diaria, decadal o mensual) y para su ejecución hay disponible un programa de computación o *software* de acceso libre diseñado en versión para Windows® llamado CROPWAT v 8.0, que puede ser consultado y/o descargado de la página web: [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html). Por estas razones son reconocidos mundialmente como modelos robustos y de fácil manejo (Bernal *et al.*, 2012; García *et al.*, 2015).

Los modelos de simulación son herramientas que facilitan la toma de decisiones en los procesos de evaluación de tierras para fines agrícolas, porque estiman el requerimiento hídrico de los cultivos y el rendimiento y su porcentaje de reducción, según las condiciones climáticas o meteorológicas de un lugar en particular (Bernal *et al.*, 2013a; Bernal *et al.*, 2013b; Cortés *et al.*, 2013; Méndez *et al.*, 2013; Bernal *et al.*, 2012).

## BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico se realiza utilizando datos reales o simulados de precipitación e información climatológica, con el fin de calcular el requerimiento hídrico de una zona en particular (Claro, 1991; Santillán *et al.*, 2013; De Souza *et al.*, 2006). Hay diferentes tipos de balances hídricos: climáticos, agroclimáticos, hidrológicos, agroforestales, de cuencas, de drenaje y riego. En el presente documento se hará alusión exclusivamente a los balances hídricos agrícolas.

## Componentes generales del balance hídrico agrícola

En el caso de un suelo con vegetación, el balance hídrico simplificado se calcula como se presenta en la ecuación 1:

$$P = ET + \Delta HS + I + E \quad (1)$$

Donde:

$P$  = Precipitación (más riego, si se suministra).

$ET$  = Evapotranspiración.

$\Delta HS$  = Cambios de la humedad del suelo: (humedad final – humedad inicial).

$I$  = Infiltración de las capas profundas.

$E$  = Escorrentía.

## Precipitación: P

En la mayoría de los casos, la precipitación representa la mayor parte de la totalidad del aporte hídrico al suelo (Claro, 1991). Del agua que se precipita sobre la superficie del terreno, parte es interceptada por la vegetación (intercepción foliar), otra parte se infiltra y se incorpora a la capa radical, un porcentaje percola debajo de las raíces del cultivo, y otra parte escurre sobre la superficie del terreno (Echeverría *et al.*, 2007). La proporción de agua retenida en la capa radical, almacenada en esa zona para ser usada en evapotranspiración del sistema planta-suelo, depende de las características del terreno para captar agua (condiciones físicas y químicas del suelo, grado de humedad, cobertura, pendiente) y de las características de la lluvia (altura, intensidad, duración y frecuencia). Esta porción de la lluvia se denomina precipitación efectiva (Saseendran *et al.*, 2015).

La precipitación efectiva ( $P_e$ ) significa lluvia útil o utilizable, es parte de la precipitación total que satisface directamente las necesidades de agua de los cultivos (Dastane, 1978). La intensidad o la cantidad que se recibe de lluvia no es necesariamente útil o deseable en el momento; una parte puede ser usada mientras que otra puede generar efectos ambientales negativos. Por lo anterior, en los cálculos debe tenerse en cuenta la precipitación efectiva ( $P_e$ ), que es igual a la precipitación ( $P$ ) multiplicada por un coeficiente menor que la unidad. Con base en los datos de velocidad de infiltración y de intensidad de precipitación (ambas variables en función de tiempo) es posible calcular la ( $P_e$ ; ecuación 2) para un determinado evento, igualmente puede llevarse a cabo utilizando la ecuación propuesta por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) (FAO, 1992).

$$P_e = (1,25247 * P_t^{0,82416} - 2,93522) * 10^{0,00095U} * f(2)$$

Dónde:

$P_e$  = Precipitación efectiva mensual (mm).

$P_t$  = Precipitación total mensual (mm).

$U$  = Uso consuntivo medio mensual.

$$f = 0,531747 + 0,011621 * \Delta s - 8,9 * 10^{-5} * \Delta s^2 + 2,3 * 10^{-7} * \Delta s^3$$

Donde:

$\Delta s$  = Dosis de riego neta (mm).

En el contexto agrícola la lluvia se considera efectiva hasta donde satisface las necesidades hídricas para la preparación del terreno, consumo por el cultivo, requerimientos de filtrado salino, y/o necesidades de percolación (como en el arroz y estanques piscícolas).

### Evapotranspiración de referencia: ETo

Corresponde a la evaporación de agua localizada en el suelo y la transpiración de agua de las plantas. La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) (Li *et al.*, 2015; Westerhoff, 2015). La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto en óptimas condiciones fitosanitarias y nutricionales, con una altura uniforme de 0,12 m, una resistencia superficial fija de  $70 \text{ s m}^{-1}$  y un albedo de 0,23, que crece activamente y da sombra totalmente al suelo. La resistencia superficial fija de  $70 \text{ s m}^{-1}$  implica un suelo adecuadamente regado, hasta llegar a capacidad de campo (FAO, 2006; Spano *et al.*, 2009).

La evapotranspiración se expresa en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida por una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser 1 hora, 1 día, 10 días, 1 mes o incluso un completo período de cultivo o un año (FAO, 2006).

Esta variable es fundamental para el cálculo de la evapotranspiración de los cultivos y por lo tanto del balance hídrico, de donde se derivan variables de análisis como época y cantidad de déficit, excesos, almacenaje en el suelo, cambio en el almacenaje y pérdida por escorrentía, entre otras.

### Coefficiente del cultivo: Kc

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se integran en un coeficiente único del cultivo. El coeficiente único del cultivo (Kc) incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo (FAO, 2006), tal como se indica en la ecuación 3.

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (3)$$

Donde:

$ET_c$  = Evapotranspiración real del cultivo.

$ET_o$  = evapotranspiración de referencia.

Algunos factores que afectan los valores de  $K_c$  son: (1) las diferencias en la morfología de la planta, que afecta la intercepción de luz y la resistencia aerodinámica, (2) la fisiología vegetal, incluidos los efectos sobre el número, la distribución y las respuestas de los estomas al ambiente, (3) el sistema de riego que afecta la distribución de la humedad del suelo, (4) la frecuencia del riego y las precipitaciones y (5) la interceptación de rocío y condensación (neblina) que afecta la resistencia del dosel (Spano *et al.*, 2009).

#### Evapotranspiración del cultivo: $ET_c$

La evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) expresa la cantidad total de agua perdida por la superficie de un cultivo en forma de vapor. La evapotranspiración es la suma de la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de la planta (FAO, 1977). Por su parte la  $ET_c$  expresa la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas (FAO, 2006). El cálculo de la  $ET_c$  se representa en la ecuación 4 (Casa *et al.*, 2000; Pereira *et al.*, 2011).

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (4)$$

Donde:

$K_c$  = Coeficiente del cultivo.

$ET_o$  = Evapotranspiración de referencia.

En la tabla 1 se presentan diferentes métodos utilizados para calcular la evapotranspiración, con sus principales atributos y en la tabla 2 pueden consultarse las principales ecuaciones.

## METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico permite integrar las variables del clima para determinar las necesidades de riego en un periodo determinado con el fin de planificar, diseñar u operar la disponibilidad del recurso hídrico en una zona determinada (Guarnizo, 2007). Pérez (1992) plantea que para la estimación del balance hídrico es indispensable el cálculo de la evapotranspiración que se realiza con diferentes metodologías: Holdridge, Budyko, Ivanov, Lorry y Jhonson, Papadakis, Thornthwaite, Linacre, Makkink, Turc, Harvgreaves, Christiansen y Penman.

Un método ampliamente utilizado para el cálculo de la evapotranspiración potencial ( $ET_p$ ) hasta la década de 1960 fue el método empírico de Thornthwaite, el cual fue desarrollado para estimar la  $ET_p$ , usando la temperatura del aire como el principal parámetro (Bruno *et al.*, 2007).

Este método aunque fue ampliamente difundido, presentó inconvenientes conceptuales al no tener en cuenta restricciones como la disponibilidad del agua del suelo y al considerar que su magnitud dependía exclusivamente de las condiciones meteorológicas. En su cuantificación se definieron con poca precisión las características de la superficie evaporante (referencia), lo que condujo a errores al subestimar la evapotranspiración de referencia (real) de un cultivo.

Debido a que la evapotranspiración de algunos cultivos altos es superior a la  $ET_p$  (por ejemplo en zonas áridas y semiáridas), se hizo necesario

introducir el concepto de evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_0$ ) mediante la ecuación de Penman Monteith, según la UNESCO como reportan Castillo *et al.* (2001).

El 26 de mayo de 2000, el panel de expertos de la FAO publicó el documento número 56 titulado “Evapotranspiración del cultivo: guías para la

determinación de los requerimientos de agua de los cultivos” (*Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*), donde se recomienda la adopción del método combinado de Penman-Monteith. Esta propuesta fue validada y aceptada por la comunidad científica mundial (Allen *et al.*, 2006). Debido a la importancia histórica de esta ecuación se presenta a continuación.

**Tabla 1. Comparación de los métodos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia  $ET_0$  (Jensen *et al.*, 1990).**

Tipo de clima	Húmedo			Árido		
	Indicador	Puesto No.	Sobreestimación <sup>1</sup>	Error estándar <sup>2</sup>	Puesto No.	Sobreestimación <sup>1</sup>
<b>Métodos combinados</b>						
Penman-Monteith	1	+ 4%	0,32	1	- 1%	0,49
FAO-24 Penman C=1	14	+ 29%	0,93	6	+ 12%	0,69
FAO-24 Penman (corregido)	19	+ 35%	1,14	10	+ 18%	1,10
FAO-PPP-17 Penman	4	+ 16%	0,67	5	+ 6%	0,68
Penman (1963)	3	+ 14%	0,60	7	- 2%	0,70
Penman 1963, VPD #3	6	+ 20%	0,69	4	+ 6%	0,67
1972 Kimberley Penman	8	+ 18%	0,71	8	+ 6%	0,73
1982 Kymberley Penman	7	+ 10%	0,69	2	+ 3%	0,54
Businger-van Badel	16	+ 32%	1,03	11	+ 11%	1,12
<b>Métodos de radiación</b>						
Priestley Taylor	5	- 3%	0,68	19	- 27%	1,89
FAO-Radiación	11	+ 22%	0,79	3	+ 6%	0,62
<b>Métodos de temperatura</b>						
Jensen-Haise	12	- 18%	0,84	12	- 12%	1,13
Hargreaves	10	+ 25%	0,79	13	- 9%	1,17
Turc	2	+ 5%	0,56	18	- 26%	1,88
SCS Blaney-Criddle	15	+ 17%	1,01	15	- 16%	1,29
FAO Blaney-Criddle	9	+ 16%	0,79	9	0%	0,76
Thornwaite	13	- 4%	0,86	20	- 37%	2,40
<b>Métodos de tanque de evaporación</b>						
Tanque Clase A	20	+ 14%	1,29	17	+ 21%	1,54
Christiansen	18	- 10%	1,12	16	- 6%	1,41
FAO Clase A	17	- 5%	1,09	14	+ 5%	1,25

<sup>1</sup>Sobre o subestimado como porcentaje de datos de 11 sitios con lisímetros, corregidos por el tipo de cultivo de referencia.

<sup>2</sup>Error estándar ponderado de las estimaciones mm día<sup>-1</sup>.

**Tabla 2. Principales ecuaciones para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>).**

Autor	Ecuación	Referencia
Penman	$ET_o = c (W R_n + (1 - W) f(u) (e_a - e_d))$	Penman (1948)
<p>Donde:</p> <p>ET<sub>o</sub>: evapotranspiración de referencia en [mm día<sup>-1</sup>]; W: factor de ponderación relativo a la temperatura; R<sub>n</sub>: radiación neta, corresponde a la diferencia entre todos los ingresos y salidas de radiación. Expresada en equivalente [mm día<sup>-1</sup>]; f(u): función relativa al viento medido a 2 m de elevación sobre el suelo; (e<sub>a</sub>-e<sub>d</sub>): diferencia entre la presión de vapor de saturación para la temperatura media del aire y la presión de vapor actual en [mbar]; c: factor que compensa el efecto de las condiciones climáticas del día y la noche, y se encuentra tabulado para distintas condiciones meteorológicas.</p>		
$ET = \frac{\Delta R_n + \lambda (e_s - e_d) \left[ 0,4 + 0,14 \exp \left( - \left[ \frac{J_D - 173}{58} \right]^2 \right) \right] + \left[ 0,605 + 0,345 \exp \left( - \left[ \frac{J_D - 243}{80} \right]^2 \right) \right] U}{\lambda \rho (\Delta + \gamma)}$		
Kimberley Penman		Wright (1982)
<p>Donde:</p> <p>ET: evapotranspiración (mm día<sup>-1</sup>); R<sub>n</sub>: radiación solar neta (J día<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>); e<sub>s</sub>: presión de saturación de vapor (kPa); e<sub>d</sub>: presión actual de vapor (kPa); U: velocidad del viento (m s<sup>-1</sup>); J<sub>D</sub>: día juliano (día); Δ: pendiente de la curva de la presión de vapor (kPa o C-1); γρ= constante psicrométrica (kPa o C-1); λ= calor latente de vaporización (MJ kg<sup>-1</sup>).</p>		
Priestley Taylor	$ET_o = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{(R_n - G)}{\lambda}$	Priestley y Taylor (1972)
<p>Donde:</p> <p>ET<sub>o</sub>: evapotranspiración de referencia en [mm día<sup>-1</sup>]; α: coeficiente Priestley Taylor (1.26) Δ: pendiente de la curva de la presión de vapor (kPa o C-1); R<sub>n</sub>: radiación neta, corresponde a la diferencia entre todos los ingresos y salidas de radiación; G = flujo termal del suelo (cal cm<sup>-2</sup>); λ= calor latente de vaporización (MJ kg<sup>-1</sup>).</p>		
Jensen-Haise	$E_{tr} = \frac{(C_T(T - T_x) R_s)}{\lambda}$	Jensen y Haise (1963) <a href="http://www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos">http://www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos</a>
<p>Donde:</p> <p>E<sub>tr</sub>: evapotranspiración (en mm día<sup>-1</sup>); C<sub>T</sub>: coeficiente de temperatura (fórmula 2); R<sub>s</sub>: radiación solar total diaria en unidades equivalentes a mm de agua; λ: calor latente de evaporación en (MJ kg<sup>-1</sup>); T<sub>x</sub>: intercepción del eje de temperatura (en °C).</p>		
Turc	$ET_p = \left[ ((0,0239001 \times R_s) + 50) \times \left[ \frac{T_a}{T_a + 15,0} \right] \times \frac{0,4}{30,0} \right]$	Turc (1963)
<p>Donde:</p> <p>ET<sub>p</sub> = evapotranspiración (mm día<sup>-1</sup>); R<sub>s</sub> = radiación solar total diaria (kJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>); T<sub>a</sub> = temperatura diaria del aire (°C).</p>		

## ECUACIÓN DE PENMAN-MONTEITH (PME)

La ecuación de Penman-Monteith ha sido ampliamente evaluada y aceptada por la comunidad científica nacional e internacional

por presentar el menor error estándar y por ser la que más se ajusta a diferentes latitudes y climas, proporciona valores que son consistentes con datos reales de uso de agua de cultivos en diferentes latitudes (Bernal *et al.*, 2013a).

Esta ecuación superó las deficiencias de métodos recomendados anteriormente, incorpora parámetros fisiológicos y aerodinámicos, inclusive se han desarrollado procedimientos para la utilización, con pocos datos climáticos, básicamente se requiere disponer de información sobre las siguientes variables climatológicas (Ficklin *et al.*, 2015): temperatura del aire, humedad relativa del aire o presión de vapor, velocidad del viento e insolación o radiación solar.

El empleo del método de Penman-Monteith proporciona resultados satisfactorios para calcular los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos, al definir con exactitud un componente fundamental del balance hídrico denominado evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_c$ ). Para la determinación de los requerimientos hídricos de cultivos en condiciones de  $ET_c$ , se debe tener en cuenta los coeficientes específicos del cultivo ( $K_c$ ), tal como se refirió anteriormente en la ecuación 4.

El enfoque del modelo Penman-Monteith incluye todos los parámetros de intercambio de energía y flujo de calor (evapotranspiración) de grandes extensiones uniformes de vegetación. La mayoría de los cuales son medidos o pueden calcularse fácilmente a partir de datos meteorológicos (FAO, 2006).

Por lo anterior el método FAO Penman-Monteith es el más adecuado para determinar la evapotranspiración de referencia  $ET_o$ . Se ha recomendado su uso por los equipos de investigación ASCE y europeo por generar resultados relativamente exactos y consistentes en climas áridos y húmedos.

La ecuación y definición de las variables de Penman-Monteith fueron extraídas del documento No. 56 de la FAO y se presenta en la ecuación 5 (Allen *et al.*, 2006).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (5)$$

Donde:

$ET_o$  = evapotranspiración del cultivo de referencia ( $mm \text{ día}^{-1}$ ).

$\gamma^*$  = constante psicométrica modificada utilizada en el método de Penman-Monteith ( $mbar/^\circ C$ ).

$e_s - e_a$  = déficit de presión de vapor ( $mb$ ).

$e_s$  = presión de vapor a saturación a la temperatura promedio del aire ( $mb$ ).

$e_a$  = presión de vapor tomada a la temperatura a punto de rocío ( $mb$ ).

$L$  = calor latente de vaporización ( $cal/g$ ).

$\Delta$  = pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica ( $mbar/^\circ C$ ).

$\gamma$  = constante psicométrica.

$R_n$  = energía de radiación neta ( $cal \text{ cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ).

$T$  = temperatura promedio ( $^\circ C$ ).

$G$  = flujo termal del suelo ( $cal \text{ cm}^{-2}$ ).

$u_2$  = velocidad del viento a 2 m de altura.

La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) provee un estándar de comparación mediante el cual se puede comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones y también se puede relacionar la evapotranspiración de diferentes cultivos.

### Aplicaciones de la ecuación de Penman-Monteith (PMe)

Mediante esta propuesta se estandarizó el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y se describieron los procedimientos para calcular los parámetros. El método está definido para un cultivo hipotético de referencia, similar a la evaporación presentada en una superficie extensa de pasto verde, sano, con una altura uniforme de 12 cm, con crecimiento activo y con continua y oportuna disponibilidad de agua para riego (FAO, 2006; Liang *et al.*, 2008).

El método permite su utilización con datos climáticos limitados, eliminando por lo tanto la necesidad de otros para la estimación de la evapotranspiración. De esta manera se crea una base robusta para la determinación universal de los cálculos de los requerimientos de agua de los cultivos. Las evaluaciones han demostrado que el método de Penman-Monteith es el que menos sobre o subestima la ET<sub>o</sub>; además, estadísticamente presenta menor error estándar en diferentes climas (tropical, árido y húmedo) (Jensen *et al.*, 1990).

La ecuación tiene aplicaciones en los procesos de caracterización climática, al relacionarse la precipitación y la evaporación en escala mensual (Eslava, 1993). Es una herramienta útil en procesos de planeación del uso eficiente del suelo rural, por lo que puede ser incorporado en la formulación de los planes de ordenamiento territorial (POT).

El método Penman-Monteith ha sido incorporado posteriormente a los modelos<sup>5</sup> agroclimáticos de simulación de cultivos CropWat v 8.0 y AquaCrop (Bouraima *et al.*, 2015; Vanuytrecht *et al.*, 2014) que calculan según las condiciones climáticas o meteorológicas del lugar los requerimientos hídricos de los cultivos, los rendimientos estimados y el porcentaje de reducción del rendimiento. Estos métodos se basan en las características del cultivo, propiedades hidrofísicas del suelo y en el manejo agronómico (Stedutto *et al.*, 2009).

### MODELO CROPWAT V 8.0

Es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego con base en datos climáticos y de las características ecofisiológicas del cultivo (Stancalie *et al.*, 2010). Está basado principalmente en la metodología presentada por la FAO en la serie de riego y drenaje, documento 24 (Doorenbos y Pruitt, 1977), el documento 33 (Doorenbos *et al.*, 1979) y en la ecuación de Penman-Monteith, descrita por la FAO en el documento 56 (Allen *et al.*, 2006).

Además, el programa permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos (Stancalie *et al.*, 2010), se ha usado en las diferentes condiciones edáficas y climáticas de las zonas productoras de papa, maíz, arroz, frijol, yuca y pastos (Boshell, 2013; Bernal *et al.*, 2013a; Bernal *et al.*, 2013b; Feng *et al.*, 2007) y en la implementación de un sistema de alertas agroclimáticas tempranas (SAT) para apoyar la toma de decisiones de alternativas tecnológicas de manejo, tendientes a disminuir los efectos de eventos climáticos adversos (Corpoica, 2011; Pérez, 2013).

<sup>5</sup> Los modelos son herramientas para sintetizar el conocimiento, probar hipótesis, describir y entender sistemas complejos y comparar diferentes situaciones, se usan como soporte para la toma de decisiones de manejo y planeación (Marcelis *et al.*, 1998; López *et al.*, 2011).

Este modelo ayuda a definir criterios para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y del cultivo (ET<sub>c</sub>) con datos de variables del clima en versión mensual, decadal y diaria; analizar la lluvia efectiva; posibilita estimar los datos climáticos, en caso de no contar con los valores medidos; efectúa cálculos diarios y decadales de los requerimientos de agua del cultivo basados en algoritmos de cálculo actualizados, incluido el ajuste de los valores del coeficiente del cultivo; calcula las necesidades netas de agua de los cultivos; es útil para la programación de riego y para la elaboración de tablas de balances diarios de agua en el suelo; calcula el porcentaje de disminución del rendimiento del cultivo debido al estrés hídrico que eventualmente presentaría respecto a la predicción climática y finalmente estima la provisión de agua (Levine *et al.*, 1998).

Igualmente el modelo se ha empleado para evaluar la demanda de agua de los cultivos, así como el diseño del plan de riegos mediante la simulación de la reducción del rendimiento potencial<sup>6</sup> (RRP) del cultivo debido al estrés por el déficit de agua (Cavero *et al.*, 2000; Mullick *et al.*, 2011), también se ha usado en estudios regionales con Sistemas de Información Geográfica (SIG) sobre el balance de humedad del suelo, incluyendo información de imágenes de satélite en las áreas de riego en Irán (Jamshid, 2003) y para evaluar la uniformidad en la distribución del agua entre los usuarios al inicio y final de la aplicación de los módulos de riego en el distrito de riego 017, Comarca Lagunera, México (Santamaría *et al.*, 2008), entre otras aplicaciones.

Para mayor información y consulta de ejemplos típicos de aplicación en el contexto colombiano del programa CropWat se puede consultar el siguiente vínculo: <http://dapa.ciat.cgiar.org/>

uso-de-cropwat-para-calcularequerimientos-hidricos-en-frijol-arbustivo.

## MODELO AQUACROP

Es un modelo de gran funcionabilidad para el cálculo del rendimiento de cultivos herbáceos, desarrollado por la División de Tierra y Agua de la FAO, simula la respuesta en el rendimiento de acuerdo al agua transpirada por el cultivo, según el volumen de agua disponible en el suelo, estimado a partir de datos de lluvia y/o riego en el suelo. Permite estimar el balance hídrico/día/mes/ciclo y la precipitación efectiva (Stedutto *et al.*, 2009; Toumi *et al.*, 2015).

Este modelo es útil cuando el agua es un factor limitante, sirve para calcular la lámina neta que se debe aplicar con base en el requerimiento hídrico neto del cultivo, en resumen determina la oferta y demanda hídrica del cultivo, según las propiedades físicas del suelo y del manejo agronómico del cultivo, también permite efectuar programaciones de siembras de acuerdo a condiciones del clima y por lo tanto es fundamental para la planeación del riego (Méndez *et al.*, 2013).

Es de gran aplicabilidad para realizar análisis y/o estudios del rendimiento con base en las condiciones hídricas en determinados periodos; por ejemplo, en condiciones de secano o con la lluvia bajo proyecciones ante cambios estimados en el clima (Tavakoli *et al.*, 2015). También es útil para comparar los rendimientos reales de un año determinado en relación con lo que se hubiera debido obtener “en forma teórica”. En el mismo sentido sirve como herramienta para diseñar u optimizar sistemas de riego, estimando el au-

<sup>6</sup> Una forma de medir el impacto del estrés por déficit de humedad en los cultivos, consiste en estimar la reducción del rendimiento potencial (RRP). Para ello es necesario conocer los valores de RRP bajo un plan de riegos durante el ciclo, que incorporen la información de las variables hidrofísicas del suelo, además de las climatológicas locales (Doorenbos y Pruitt, 1977).

mento del rendimiento debido al agua adicional y su consecuente variación de rentabilidad en relación a la inversión requerida (Bernal *et al.*, 2012).

Este modelo se ha utilizado principalmente en cultivos de caña de azúcar en el departamento de Valle del Cauca, papa en el altiplano de Cundinamarca y Boyacá, arroz en Tolima y Meta y maíz en la zona productora de Córdoba, Valle del Cauca, Tolima y Meta (Bernal *et al.*, 2013a; Bernal *et al.*, 2013b; Cortés *et al.*, 2013).

Respecto a posibilidades de implementación de los modelos CropWat y AquaCrop, en Colombia se ha propuesto para la alimentación de un modelo a través de escenarios de cambio climático y establecer posibles cambios en la producción y rendimiento de cultivos de arroz de riego, maíz tecnificado y papa (Fernández, 2013). Igualmente para identificar cambios en el rendimiento agrícola en función de la variabilidad climática y de los niveles futuros de CO<sub>2</sub> estimados para los cultivos de caña de azúcar en el Valle del Cauca, maíz tecnificado en Córdoba y Meta, papa Diacol Capiro en el altiplano cundiboyacense y maíz amarillo tecnificado en el Tolima y el Valle del Cauca (Bernal *et al.*, 2013a; Bernal *et al.*, 2013b).

Las ventajas de implementar los modelos CropWat y AquaCrop como posibles usos concretos en la agricultura colombiana han sido plateados por Bernal *et al.* (2013a); Bernal *et al.* (2013b); Cortés *et al.* (2013); Méndez *et al.* (2013) y Bernal *et al.* (2012):

- “Desarrollar estrategias de irrigación bajo condiciones de déficit hídrico.
- Estudiar el efecto del rendimiento del cultivo en un lugar, el tipo de suelo, la fecha de siembra.
- Analizar el efecto del rendimiento del cultivo de varias técnicas de manejo de tierras.

- Comparar la disponibilidad contra los rendimientos actuales en un campo, granja o una región, identificar las restricciones que limitan la producción del cultivo y la productividad del agua.
- Predecir impacto del cambio climático en la producción de un cultivo.
- Para escenarios de simulación y propósitos de planificación de los economistas, administradores y gerentes del sector hídrico.
- Para facilitar los análisis del rendimiento del cultivo con base en las condiciones hídricas en determinados periodos de tiempo; ya sea en condiciones de secano ó con la lluvia estimada futura”.

Para mayor información y consulta de ejemplos típicos de aplicación en el contexto colombiano del programa AquaCrop se puede consultar los siguientes vínculos: [www.fao.org/docrep/field/009/i3427s/i3427s.pdf](http://www.fao.org/docrep/field/009/i3427s/i3427s.pdf); [www.fao.org/3/a-i3429s.pdf](http://www.fao.org/3/a-i3429s.pdf)

## CONCLUSIONES

La ecuación propuesta por Penman-Monteith que permite calcular la ETo corresponde a un parámetro agroclimático que condensa y resume la influencia de los parámetros meteorológicos en la productividad de las plantas en condiciones de referencia, que luego pueden acercarse a la realidad mediante la utilización de los Kc de cada especie, teniendo en cuenta las características del suelo.

El parámetro Kc resume los requerimientos de agua de la especie de referencia de acuerdo con las condiciones climáticas locales, por lo que la influencia de los eventos ENOS (El Niño y La Niña) sobre la productividad agropecuaria puede calcularse a partir del análisis de las alteraciones sobre los requerimientos de agua de las especies.

Teniendo en cuenta los cambios que se presentan en la temperatura, humedad del aire, radiación solar y viento, calculadas a través de la ETo y vinculadas con la oferta de lluvias que satisfagan los requerimientos de las especies a través de los balances hídricos agrícolas.

El método de Penman-Monteith y los modelos de simulación agroclimáticos CropWat y AquaCrop son herramientas útiles en los procesos de planeación y de ordenamiento territorial, al facilitar la zonificación agrícola del país, teniendo en cuenta las condiciones climáticas, edáficas y de manejo agronómico de los cultivos.

Estos modelos son una herramienta importante para calcular o predecir el rendimiento esperado de cultivos herbáceos, bajo condiciones climáti-

cas normales o de eventos de variabilidad o cambio climático.

Teniendo en cuenta que los modelos de simulación agroclimáticos han sido diseñados para su aplicación en cultivos agroindustriales, se recomienda su evaluación en cultivos de pequeña y mediana escala asociados a la perspectiva de seguridad y soberanía alimentaria.

Finalmente con el fin de ampliar desde el contexto teórico, conceptual y metodológico los modelos de simulación aplicables en Colombia y países similares, se recomiendan como trabajos futuros: aplicación en cultivos promisorios y con ventajas competitivas, diseño de metodologías genéricas adaptables a las condiciones ecosistémicas y sociales a escala territorial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R., S. Luis, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Documento FAO 56. Serie Riego y Drenaje. FAO, Roma.
- Andarzian, B., M. Bannayan, P. Steduto, H. Mazraeh, M. E. Barati, M. A. Barati y A. Rahnama. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agric. Water Manage.* 100(1), 1-8. Doi: 10.1016/j.agwat.2011.08.023
- Araya, A., S. Habtu, K. M. Hadgu, A. Kebede y T. Dejene. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agric. Water Manage.* 97(11), 1838-1846. Doi: 10.1016/j.agwat.2010.06.021
- Bernal, J., E. Díaz, J. Méndez. 2012. Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos agrícolas en Colombia, en el marco del estudio de impactos económicos del cambio climático (EIECC). CP/ COL/3302. IDEAM, Bogotá.
- Bernal, J., Díaz, J. Méndez, C. Cortés, F. Boshell, P. Mejías, D. Raes, E. Federes y P. Stedutto. 2013a. Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de Caña de Azúcar en el departamento de Valle Del Cauca. FAO Colombia, Bogotá.
- Bernal, J., E. Díaz, J. Méndez, C. Cortés, F. Boshell, P. Mejías, D. Raes, E. Federes y P. Stedutto. 2013b. Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de maíz en los departamentos de Córdoba, Meta, Tolima y Valle del Cauca. FAO Colombia, Bogotá.
- Boshell, F. 2013. Desarrollo de una función agroclimática para estimar la productividad de los cultivos agrícolas en Colombia. CEPAL-Serie Medio Ambiente y Desarrollo 147, Bogotá.
- Bouraima, A., Z. Weihua y W. Chaofu. 2015. Irrigation water requirements of rice using Cropwat model in Northern Benin. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 8(2), 58-64. Doi: 10.3965/j.ijabe.20150802.1290
- Bruno, I., A. Silva, K. Reichardt, D. Dourado-Neto, O. Santos y C. Volpe. 2007. Comparison between climatological and field water balances for a coffee crop. *Sci. Agric.* 64(3), 215-220. Doi: 10.1590/S0103-90162007000300001
- Casa, R., G. Russell y B. Lo Cascio. 2000. Estimation of evapotranspiration from a field of linseed in central Italy. *Agric. For. Meteorol.* 104(4), 289-301. Doi: 10.1016/S0168-1923(00)00172-6

- Castillo, F., F. Castellví, Á. Bosch, J. Cusidó, J. Sánchez, E. Ferreres, A. Gómez, F. López, J. Martínez, P. Pérez, J. Casanellas, P. Montserrat y J. Villar. 2001. *Agrometeorología*. Mundi-Prensa, Madrid.
- Cavero, J., I. Farre, P. Debaeke y J. Faci. 2000. Simulation of maize yield under stress with the EPICphase and CROPWAT models. *Agron. J.* 92(4), 679-690. Doi: 10.2134/agronj2000.924679x
- Charchousi, D., V.K. Tsoukala y M.P. Papadopoulou. 2014. How evapotranspiration process may affect the estimation of water footprint indicator in agriculture? *Desalination Water Treatment* 53(12), 3234-3243. Doi: 10.1080/19443994.2014.934118
- Claro, F. 1991. Balance hídrico. HIMAT, Bogotá.
- Córdoba-Machado, S., R. Palomino-Lemus, S.R. Gámiz-Fortis, Y. Castro-Díez y M.J. Esteban-Parra. 2015. Influence of tropical Pacific SST on seasonal precipitation in Colombia: prediction using El Niño and El Niño Modoki. *Clim. Dyn.* 44(5-6), 1293-1310. Doi: 10.1007/s00382-014-2232-3
- Corpoica. 2011. Sistema piloto de alertas agroclimáticas tempranas (SAT), para el apoyo a la toma de decisiones de alternativas tecnológicas de manejo para disminuir los efectos de eventos climáticos adversos en la Sabana de Bogotá, Colombia. En: Taller de Integración de los Sistemas de Alertas Tempranas Hidrometeorológicas. IDEAM, Corporaciones Autónomas Regionales, Bogotá.
- Cortés, B., J. Bernal, E. Díaz, J. Méndez, F. Boshell, P. Mejía, D. Raes, E. Federes y P. Stedutto. 2013. Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de Arroz en los departamentos de Tolima y Meta. FAO Colombia, Bogotá.
- Dastane, N.G. 1978. Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 25. FAO, Roma.
- De Souza, M.J.H., A. Ribeiro, H.G. Leite, F.P. Leite y R.B. Minuzzi. 2006. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. *Rev. Árvore*, 30(3), 399-410. Doi: 10.1590/S0100-67622006000300010
- Dechmi, F., E. Playán, J.M. Faci, M. Tejero y A. Berbero. 2003. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain II. Irrigation evaluation, simulation and scheduling. *Agric. Water Manage.* 61(2), 93-109. Doi: 10.1016/S0378-3774(03)00021-0
- Doorenbos, J. y W.O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. FAO, Roma.
- Doorenbos, J., A.H. Kassam, C.I.M. Bentvelsen, V. Branscheid, J.M.G.A. Plusje, M. Smith, G.O. Uitenbogaard y H.K. van der Wal. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 33. FAO, Roma.
- Echeverría, C., A. Huber y F. Taberlet. 2007. Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque* 28(3), 271-280. Doi: 10.4067/S0717-92002007000300013
- Eslava, J. 1993. Apuntes de climatología y diversidad climática. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 18(71), 507-538.
- Espinoza, J., J. Ronchail, J. Guyot, G. Cochonneau, F. Naziano, W. Lavado y P. Vauchel. 2009. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Perú, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *Int. J. Climatol.* 29(11), 1574-1594. Doi: 10.1002/joc.1791
- Fernández, M.E. 2013. Efectos del cambio climático en el rendimiento de tres cultivos mediante el uso del Modelo AquaCrop. FONADE, IDEAM y BID, Bogotá.
- FAO. 2006. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Documento 56. FAO, Roma.
- FAO. 1992. CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper 26. FAO, Roma.
- FAO. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Documento 24. FAO, Roma.
- Feng, Z., D. Liu y Y. Zhang. 2007. Water requirements and irrigation scheduling of spring maize using GIS and CropWat model in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Chin. Geogr. Sci.* 17(1), 56-63. Doi: 10.1007/s11769-007-0056-3
- Ficklin, D.L., S.L. Letsinger, H. Gholizadeh y J.T. Maxwell. 2015. Incorporation of the Penman-Monteith potential evapotranspiration method into a Palmer Drought Severity Index Tool. *Computers Geosciences* 85, 136-141. Doi: 10.1016/j.cageo.2015.09.013
- García, J., N. Riaño y S. Magnitskiy. 2015. Simulation of corn (*Zea mays* L.) production in different agricultural zones of Colombia using the AquaCrop model. *Agron. Colomb.* 32(3), 358-366. Doi: 10.15446/agron.colomb.v32n3.45939
- García-Vila, M. y E. Ferreres. 2012. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. *Europ. J. Agron.* 36(1), 21-31. Doi: 10.1016/j.eja.2011.08.003

- Guarnizo, E. 2007. Manejo de aguas. Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (Incoder), Agencia de Cooperación Japonesa (JICA). Bogotá.
- Jamshid, Y. 2003. The integration of satellite images, GIS and CROPWAT model to investigation of water balance in irrigated area. A case study of Salmas and Tasso plain, Iran. International Institute for GEO-Information Science and Earth Observation. Enschede, The Netherlands.
- Jensen, M., R. Burman y R. Allen. 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and reports on engineering practices 70. American Society of Civil Engineers, New York, NY.
- Jensen, M.E. and H.R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. Drainage Div. ASCE* 89, 15-41.
- Lagos, P., Y. Silva, E. Nickl y K. Mosquera. 2008. El Niño - related precipitation variability in Peru. *Adv. Geosci.* 14(3), 231-237. Doi: 10.5194/adgeo-14-231-2008
- Levine, G., A.D. Cruz-Galvan, D. Garcia, C. Garcés-Restrepo y S. Johnson III. 1998. Performance of two transferred modules in the Lagunera región: water relations. International Water Management Institute. Research Report 23. Colombo, Sri Lanka. En: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/44583/2/REPORT23.PDF>; consulta: mayo de 2015.
- Li, F., R. Cao, Y. Zhao, D. Mu, C. Fu y F. Ping. 2015. Remote sensing Penman - Monteith model to estimate catchment evapotranspiration considering the vegetation diversity. *Theor. Appl. Climatol.* Doi: 10.1007/s00704-015-1628-2
- Liang, L., L. Li, L. Zhang, J. Li y B. Li. 2008. Sensitivity of penman-monteith reference crop evapotranspiration in Tao'er River Basin of northeastern China. *Chin. Geogr. Sci.* 18(4), 340-347. Doi: 10.1007/s11769-008-0340-x
- López, M., M. Chaves y V. Flórez. 2011. Modelos de cultivos y modelos fenológicos. pp. 153-177. En: Flórez., V.J. (ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Marcelis, L.F.M, E. Heuvelink y J. Goudriaan. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Sci. Hortic.* 74(1-2), 83-111. Doi: 10.1016/S0304-4238(98)00083-1
- Méndez, J., B. Cortes, J. Bernal, E. Díaz, F. Boshell, P. Mejía, D. Raes, E. Federes y P. Stedutto. 2013. Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de Papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. *FAO Colombia*, Bogotá.
- Mullick, M.R.A., M.S. Babel y S.R. Perret. 2011. Discharge-based economic valuation of irrigation water: Evidence from the Teesta River, Bangladesh. *Irrig. Drain.* 60(4), 481-492. Doi: 10.1002/ird.597
- Palacios-Hernández, E., L.E. Carrillo, A. Filonov, L. Brito-Castillo y C. E. Cabrera-Ramos. 2009. Seasonality and anomalies of sea surface temperature off the coast of Nayarit, Mexico. *Ocean Dynamics* 60(1), 81-91. Doi: 10.1007/s10236-009-0244-z
- Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Royal Soc. London.* 193, 120-145.
- Pereira, A.R., M.B.P. Camargo y N.A. Villa Nova. 2011. Coffee crop coefficient for precision irrigation based on leaf area index. *Bragantia* 70(4), 946-951. Doi: 10.1590/S0006-87052011000400030
- Pérez, A. 1992. Cálculo de la necesidad de agua de las plantas con datos meteorológicos. Ed. Riobamba Pedagógica Freire, Riobamba, Ecuador.
- Pérez, J. 2013. Diseño de un sistema de alertas Agroclimáticas tempranas participativas en la subcuenca Río Piedras del Macizo colombiano. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Priestley, C.H.B. y R.J. Taylor. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mon. Weather Rev.* 100, 81-82.
- Santamaría J, D. Reta, R. Faz y I. Orona. 2008. Reducción del rendimiento potencial en maíz forrajero en calendarios con tres y cuatro riegos. *Terra Latinoamericana.* 26(3), 235-241, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México. En: <http://www.redalyc.org/pdf/573/57313050005.pdf>; consulta: mayo de 2015.
- Santillán Gutiérrez, E., G. Dávila Vázquez, J. De Anda Sánchez y J.J. Díaz Torres. 2013. Assessment of hydric balance through climatic variables, in the Cazonos River Basin, Veracruz, Mexico. *Rev. Ambient. Água.* 8(3), 104-117. Doi: 10.4136/ambi-agua.1147
- Saseendran, S.A., L.R. Ahuja, L. Ma, T.J. Trout, G.S. McMaster, D.C. Nielsen, Q. X. Fang, 2015. Developing and normalizing average corn crop water production functions across years and locations using a system model. *Agric. Water Manage.* 157, 65-77. Doi: 10.1016/j.agwat.2014.09.002
- Silva, V.D.P.R., M.F. Albuquerque, L.E. Araújo, J.H.B.C. Campos, S.L.A. Garcêz y R.S.R. Almeida. 2015. Measurements and modelling of water footprint of sugarcane cultivated in Paraíba State. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 19(6), 521-526.

- Solano, E. y W. Stolz. 2015. El fenómeno ENOS (El niño oscilación del sur), IMN. En: <http://www.imn.ac.cr/educacion/enos.html>; consulta: junio de 2015.
- Spano, D., R.L. Snyder, C. Sirca y P. Duce. 2009. ECOWAT - A model for ecosystem evapotranspiration estimation. *Agric. For. Meteorol.* 149(10), 1584-1596. Doi: 10.1016/j.agrformet.2009.04.011
- Stancalie, G., A. Marica y L. Toullos. 2010. Using earth observation data and CROPWAT model to estimate the actual crop evapotranspiration. *Phys. Chem. Earth* 35(1-2), 25-30. Doi: 10.1016/j.pce.2010.03.013
- Stedutto, P., T. Hsiao, D. Raes y E. Fereres. 2009. AquaCrop - The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying. *Agron. J.* 101(3), 426-437. Doi: 10.2134/agronj2008.0139s
- Tavakoli, A.R., M. Mahdavi Moghadam y A.R. Sepaskhah. 2015. Evaluation of the AquaCrop model for barley production under deficit irrigation and rainfed condition in Iran. *Agric. Water Manage.* 161, 136-146. Doi: 10.1016/j.agwat.2015.07.020
- Toumi, J., S. Er-Raki, J. Ezzahar, S. Khabba, L. Jarlan y A. Chehbouni. 2015. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. *Agric. Water Manage.* 163, 219-235. Doi: 10.1016/j.agwat.2015.09.007
- Trenberth, K. 1976. Spatial versus noise in the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* 112, 323-332.
- Turc, L., 1963. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formulation simplifiée et mise à jour. *Ann. Agron.* 12, 13-49.
- Vanuytrecht, E., D. Raes, P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres, L.K. Heng, M. Garcia, P. Mejias Moreno. 2014. AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. *Environ. Model. Softw.* 62, 351-360. Doi: 10.1016/j.envsoft.2014.08.005
- Westerhoff, R.S. 2015. Using uncertainty of Penman and Penman-Monteith methods in combined satellite and ground-based evapotranspiration estimates. *Remote Sens. Environ.* 169, 102-112. Doi: 10.1016/j.rse.2015.07.021
- Wright, J.L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. *J. Irrig. Drain. Eng.* 108, 57-74.
- Yuan, T. y Y. Di. 2014. Variability of lightning flash and thunderstorm over eastern China and Indonesia on ENSO time scales. *Atmos. Res.* 169, 15-20. Doi: 10.1016/j.atmosres.2015.10.022

## Artículo de reflexión

# Certificación de material vegetal sano en Colombia: un análisis crítico de oportunidades y retos para controlar enfermedades ocasionadas por virus

## Certification of healthy plant material in Colombia: A critical analysis of opportunities and challenges to control virus diseases

MARLON H. RODRÍGUEZ<sup>1, 5</sup>  
NANCY E. NIÑO<sup>2</sup>  
JOSEPH CUTLER<sup>3</sup>  
JULIANE LANGER<sup>3</sup>  
FÁNOR CASIERRA-POSADA<sup>4</sup>  
DIEGO MIRANDA<sup>2</sup>  
MARTINA BANDTE<sup>3</sup>  
CARMEN BÜTTNER<sup>3</sup>



**Fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) con síntomas de virus.**

Foto: C. Büttner

### RESUMEN

Los virus fitopatógenos afectan en gran medida la producción agrícola colombiana. Diferentes estudios indican que las pérdidas económicas causadas por estos problemas fitosanitarios podrían evitarse teniendo un mejor conocimiento de estos patógenos y empleando un procedimiento estándar de manejo preventivo como guía. Los productores, viveros, comercializadores y consumidores, se beneficiarían con productos de calidad, al controlarse las fuentes de transmisión de virus. Los acuerdos de libre comercio han dado lugar a una expansión de la producción agrícola y a la proliferación de cientos de viveros que no pudieron ser objeto de inspección minuciosa por parte del Estado. Este artículo presenta los principales virus que afectan dos importantes frutales exóticos de exportación para Colombia, la uchuva (*Physalis peruviana*) y las pasifloras (*Passiflora* sp.). A su vez, esquematiza un programa de certificación de material vegetal sano para viveros y la creación de un programa nacional de certificación agrícola, dirigido por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); apoyado por universidades con programas en agricultura, centros

<sup>1</sup> Faculty of Life Sciences, Division Phytomedicine, Thae-Institute, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin (Alemania) / Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Francisco de Paula Santander – GICAP, Cúcuta (Colombia).

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia)

<sup>3</sup> Faculty of Life Sciences, Division Phytomedicine, Thae-Institute, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin (Alemania).

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia).

<sup>5</sup> Autor para correspondencia. [mhrodriguez@gmail.com](mailto:mhrodriguez@gmail.com)

de investigación y laboratorios de diagnóstico fitosanitario que proporcionarían un sistema de supervisión y control adecuados, para el material vegetal. Adicionalmente, serían un soporte para las unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria. Esta iniciativa interinstitucional también apoyaría la implementación y ajuste de las resoluciones fitosanitarias del ICA en semillas (R.2046/2003), material de propagación en frutales (R.3180/2009) y transporte interno de material vegetal (R.3973/2016). La competitividad de la agricultura colombiana en los mercados internacionales depende del uso de material vegetal sano.

**Palabras clave adicionales:** viveros, problemas fitosanitarios, uchuva, pasifloras, protección de plantas.

## ABSTRACT

Phytopathogenic viruses greatly affect Colombian agricultural production. Several studies indicate that economic losses caused by these phytosanitary problems could be avoided by having a better understanding of these pathogens and using a standard procedure for preventive management as a guide. Producers, nurseries, distributors and consumers would benefit from quality products by controlling the sources of virus transmission. Free trade agreements have resulted in an expansion of agricultural production and the proliferation of hundreds of nurseries that could not have undergone thorough inspection by the state. This article presents the main viruses that affect two important exotic fruits exported from Colombia, cape gooseberry (*Physalis peruviana*) and Passiflora (*Passiflora* sp.). The article then outlines a certification program for healthy plant material for nurseries and the establishment of a national agricultural certification program, addressed by the Ministry of Agriculture and Rural Development and the Colombian Agricultural Institute (ICA). This program would be also assisted by agricultural universities, research centers and phytosanitary laboratories that would provide monitoring and control systems for the plant material. In addition, it would be a support for municipal agricultural technical assistance units. This inter-agency initiative would also support the implementation and adjustment of phytosanitary ICA resolutions for seeds (R.2046/2003), propagation material in fruit (R.3180/2009) and internal transport of plant material (R.3973/2016). The competitiveness of Colombian agriculture in international markets depends on the use of healthy plant material.

**Additional keywords:** nurseries, phytosanitary problems, cape gooseberry, passion fruit, plant protection.

Fecha de recepción: 15-04-2016

Aprobado para publicación: 14-05-2016

## INTRODUCCIÓN

Los virus tienen una importancia en los programas de control fitosanitario, debido a que no se pueden tratar curativamente por lo que los procedimientos preventivos se convierten en una medida eficiente de manejo. La transmisión viral es distinta para los diferentes tipos de virus, por lo cual un correcto y confiable diagnóstico es indispensable para poder evitar la infección. Estas transmisiones virales pueden ocurrir, por ejem-

plo, en el caso de los potyvirus mediante áfidos, semillas o mecánicamente y en el caso de virus más estables, a través del suelo o el agua (Hong *et al.*, 2014). También es necesario considerar que tanto hongos, nematodos y polen pueden ser transmisores de virus (Büttner *et al.*, 2015).

En este sentido, se debe tener en cuenta que la transmisión de muchos virus se hace mediante

acción mecánica, siendo clave para su control un adecuado manejo de la sanidad en la finca. Esto se logra con procedimientos de desinfección de herramientas y soluciones nutritivas recirculantes, complementadas con buenas prácticas de cultivo y un monitoreo fitosanitario permanente (Bandte *et al.*, 2016).

En Colombia, los patógenos del suelo y los virus de plantas son un serio problema para la producción agrícola. Su importancia ha cobrado relevancia en los últimos años, principalmente por los tratados de libre comercio (TLC) y la situación sociopolítica y económica de la región. Lamentablemente para la agricultura del país, desde la apertura de los mercados en los años noventa, se experimenta un nuevo periodo de comportamiento empresarial similar al denominado “producción-especulación” y que originó las llamadas bonanzas de exportación entre 1850 y 1882 (Ocampo, 1984). En el caso del área fitosanitaria se produjo cierto vacío legislativo y de asistencia técnica que propició el incremento del contrabando de productos agropecuarios y la creación de cientos de viveros de producción de material vegetal que buscaban abastecer la oleada de bonanzas en cultivos con gran demanda para la exportación, pero que en su totalidad, fueron difíciles de inspeccionar por parte del Estado. Finalmente, muchos de estos viveros donde se emplearon prácticas agronómicas deficientes se convirtieron en un foco de multiplicación y diseminación de patógenos del suelo y de virus que contribuyeron a la mayoría de los problemas que actualmente perjudican la calidad y cantidad de la producción agrícola nacional. Si bien es cierto que durante este periodo, diferentes centros de investigación y universidades con programas agrícolas han generado resultados concretos a problemas fitosanitarios, estas instituciones no pueden reemplazar las funciones del Estado y menos gestar programas sustentables sin un apoyo real y permanente del gobierno.

Este manuscrito busca proporcionarle a los diferentes actores que participan dentro del modelo

de producción de frutales exóticos en Colombia (uchuva y pasifloras), una visión acerca de los problemas fitosanitarios ocasionados por virus, con el fin de generar cultura de responsabilidad hacia un modelo de certificación que permita la competitividad y sustentabilidad de la fruticultura en un mercado de exportación especializado para los próximos años.

## PROBLEMAS DE VIROSIS EN LOS FRUTALES EXÓTICOS DE COLOMBIA

En un esfuerzo estratégico por recuperar y re-direccionar la producción del país, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural diseñó la apuesta exportadora agropecuaria 2006-2020 que busca la modernización y la especialización de la estructura productiva a través del aprovechamiento del potencial del campo y las oportunidades de mercado de cada producto promisorio exportable (Fischer y Miranda, 2012). Esta apuesta priorizó 10 grupos de productos, entre los que se encuentran algunos frutales exóticos como pitahaya (*Hylocereus undatus*), mango (*Mangifera indica*), bananito (*Musa acuminata*), lima Tahití (*Citrus latifolia*), feijoa (*Acca sellowiana*), aguacate (*Persea americana*), uchuva (*Physalis peruviana*), piña (*Ananas comosus*), maracuyá (*Passiflora edulis var. flavicarpa*), lulo (*Solanum quitoense*), mora (*Rubus glaucus*), granadilla (*Passiflora ligularis*) y tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006a).

Dentro de este grupo, el maracuyá fue la principal *Passiflora* de exportación en la cual el gobierno centró sus esfuerzos. Esto no indica que haya dejado de lado las otras 500 especies de pasifloras que tienen posibilidades de comercialización a nivel internacional, las cuales son atractivas por sus propiedades culinarias, nutricionales, ornamentales y medicinales. Debido a que Colombia es el centro de diversidad de un grupo importante de estas especies, es prioritario para el país explorar estratégicamente los diferentes mercados para frutos y plantas de este género como gulupa

(*Passiflora edulis*), granadilla, cholupa (*Passiflora maliformis*), badea (*Passiflora quadrangularis*) y curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) (Miranda *et al.*, 2009; Ministerio Agricultura y Desarrollo Rural, 2016b).

Desafortunadamente, este panorama económico se ha nublado en los últimos 5 años y su futuro es incierto, principalmente, por los problemas fitosanitarios que se presentan en todas las áreas productoras del país.

Dejando de lado los patógenos de suelo que son un problema serio y limitante como es el caso de *Fusarium oxysporum* (Forero *et al.*, 2015), entre otros y se centra la atención en las enfermedades causadas por virus, ya a nivel nacional se observan problemas en frutales exóticos como uchuva, curuba, granadilla, maracuyá, tomate de árbol y gulupa, algunos de los cuales forman parte del paquete bandera de nuevos cultivos que el gobierno nacional considera como prioridades de exportación, especialmente hacia la Unión Europea para los próximos 10 años. Estos cultivos son un ejemplo contundente de cómo en sólo 5 años la producción de material vegetal y su transporte sin ningún tipo de supervisión, ha diseminado por más de 15 departamentos los virus *Tomato spotted wild virus* (TSWV), *Tobacco mosaic virus* (TMV), *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Alfalfa mosaic virus* (AMV), *Potato leafroll virus* (PLRV), *Potato virus X* (PVX), *Potato virus Y* (PVY), *Tomato mosaic virus* (ToMV), *Potato virus S* (PVS), *Soybean mosaic virus* (SMV) y *Passion fruit yellow mosaic virus* (PFYMV) (Rodríguez *et al.*, 2008; Benschler *et al.*, 1996; Morales *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2002; Castaño, 2009; Camelo, 2010).

Varios de los virus que afectan económicamente las pasifloras a nivel mundial ya están en Colombia afectando cultivos de este género (tabla 1). Se ha reportado la presencia de los virus *Soybean mosaic virus* (SMV) (Benschler *et al.*, 1996; Morales *et al.*, 2001) y *Passion fruit yellow mosaic virus* (PFYMV) en maracuyá y granadilla (Morales *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2002; Castaño, 2009).

En gulupa, Camelo (2010) reportó *Soybean mosaic virus* (SMV), *Cucumber mosaic virus* (CMV) y *Cowpea aphid-borne mosaic virus* (CABMV) en la región de Sumapaz (Cundinamarca). Hay que tener en cuenta que las regiones de Cundinamarca, Valle del Cauca, Antioquia, Santanderes y Huila son importantes también por tener varios viveros de multiplicación de material vegetal de frutales exóticos, donde en plántulas es común observar síntomas de mosaicos, amarillamientos, manchas cloróticas y puntos cloróticos. En campo, adicionalmente se perciben pérdidas económicas por decoloraciones y deformaciones en frutos. En algunas localidades en particular, como Huila y Santanderes, se han encontrado necrosamientos en frutos y tallos, los cuales se encuentran en estudio en la actualidad, y casos similares han sido reportados en New South Wales Australia, cuando se presentan infecciones mixtas con los virus CMV and *Passionfruit woodiness virus* (PWV) (Liberato y Zerbini, 2016; Pares *et al.*, 1985).

Posiblemente una de las mayores preocupaciones de la comunidad científica es que se repita el caso del cultivo de uchuva, cultivo que hace 15 años se consideraba como la apuesta económica más importante para los agricultores y exportadores en el área de frutales exóticos y cuyos problemas fitosanitarios como los patógenos de suelo y los virus (tabla 2), a través de la multiplicación y traslado de material vegetal sin control alguno, hicieron que se redujera su potencial productivo y también su posibilidad de exportación. Esta situación ocasionó serios problemas económicos y sociales, como consecuencia de esta bonanza especulativa en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santanderes y Antioquia; además, se afectó económicamente la producción de cultivos como papa, tomate, pimentón, hortalizas, flores de corte para exportación y gulupa entre otros, por la contaminación de áreas geográficas importantes con diferentes patógenos del suelo y virus entre los que se destacan *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Pythium* spp., *Ralstonia solanacearum*, *Sclerotinia* spp., *Spongospora subterranea*,

*Pectobacterium* spp., *Xanthomonas* spp., *Pseudomonas* spp., *Phytophthora* spp., los virus TMV, TSWV, CMV, PVY, PVX, AMV, SMV, PVS, así como nematodos, sílfidos y colémbolos. Como ejemplo en una plantación de uchuva en la granja experimental de la Universidad Nacional de Colombia en Mosquera (Cundinamarca), Aguirre-Ráquira *et al.* (2014) observaron mediante microscopía electrónica la presencia de dos partículas virales diferentes y congruentes con la morfología de los géneros Potyvirus y Tobamovirus.

Actualmente, los académicos e investigadores ven con preocupación cómo la historia se está repitiendo pero a una escala mayor en los cultivos de pasifloras, como es el caso del maracuyá, donde la producción se había concentrado principalmente en el Valle del Cauca, Santander, Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Córdoba, Meta, Huila y Magdalena, desde la entrega por parte del ICA de las variedades Venezuela, Brasil y Hawaii en 1966 (CIAT, 2001), pero que recientemente y debido a la especulación de las exportaciones se cultiva en más de 18 departamentos. La falta de material vegetal y la oferta de nuevas variedades han generado que agricultores de diferentes zonas estén introduciendo semillas de manera ilegal provenientes de Kenia, Zimbabue y Sudáfrica o material vegetal desde Brasil y Venezuela, sin tener en cuenta los problemas fitosanitarios a los cuales se expone la producción nacional. La falta de información es evidente, los datos sobre producción y áreas sembradas en Colombia, si bien han mejorado, aún no son confiables, debido a que las cifras existentes se manipulan acorde con el interés de cada organización. Un ejemplo son los datos oficiales y públicos de viveros registrados en el ICA para la producción de material vegetal en frutales, los cuales no superan los 300 a nivel nacional (ICA, 2013). Para el caso del departamento del Huila se reportan 13 viveros. Sin embargo, al visitar la zona productora en noviembre de 2013, se contabilizaron más de 100, donde se producía material de maracuyá, granadilla y gulupa entre otros.

Entre los casos observados están igualmente los del departamento de Norte de Santander, donde entre los años 2012 y 2015, los agricultores podían fácilmente adquirir sin ninguna inspección, plántulas económicas de origen venezolano. De igual manera en la zona fronteriza (Colombia-Venezuela), el primer autor de este artículo observó, que la clínica de plantas de la Universidad Francisco de Paula Santander sede-Cúcuta, ha detectado en múltiples ocasiones mediante pruebas serológicas los virus TMV, CMV, TSWV, ToMV y potivirus en plántulas de tomate transportadas con material vegetal de maracuyá, gulupa y uchuva con destino a Boyacá, Cundinamarca y Santander.

## LA CERTIFICACIÓN COMO HERRAMIENTA DE APOYO PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN COLOMBIA

Es necesario que el gobierno nacional busque soluciones, y los actores involucrados en cada eslabón de la cadena productiva reflexionen y comprendan que son parte activa del problema. Es en este punto, donde la academia debe liderar y proponer alternativas reales que permitan la redefinición y coevolución de la agricultura en Colombia, dentro de un mercado globalizado y especializado. Para tal fin, es necesario implementar programas de certificación, entendido esto como el establecimiento de normas que regulen la producción de material vegetal de buena calidad, la realización de controles técnicos y administrativos para su comercialización e importación y como una herramienta que permita fortalecer la cultura de producción entre los agricultores y su valor en la sociedad. Es importante empezar por la creación de un programa nacional de certificación de material vegetal, el cual debe ser liderado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el ICA y los gremios de ingenieros agrónomos, apoyados por las universidades, centros de investigación y laboratorios de sanidad vegetal del país. Su implementación deberá integrar de manera dinámica a los diferentes

**Tabla 1. Virus reportados que infectan especies del género *Passiflora*.**

Género	Virus	País de reporte	Reporte
Begomovirus	<i>Passion flower little leaf mosaic virus</i> (PLLMV)	Brasil, Uganda	Ochwo-Ssemakula <i>et al.</i> , 2012; Novaes <i>et al.</i> , 2003
	<i>Passionfruit severe leaf distortion virus</i> (PSLDV)	Brasil	Ferreira <i>et al.</i> , 2010
candidate Begomovirus	<i>Giant grenadilla malformation virus</i>	Colombia	Morales <i>et al.</i> , 2000
unassigned	<i>Papaya leaf curl Guangdong virus</i> (PaLCuGDV)	Taiwán	Cheng <i>et al.</i> , 2014; Cheng <i>et al.</i> , 2015
	<i>Euphorbia leaf curl virus</i> (EuLCV)	Taiwán, Corea del Sur	Kil <i>et al.</i> , 2016; Cheng <i>et al.</i> , 2014
Carlavirus	<i>Passiflora latent virus</i> (PLV)	Alemania, Nueva Zelanda	Tang <i>et al.</i> , 2008; Schnepf <i>et al.</i> , 1961
Cucumovirus	<i>Cucumber mosaic virus</i> (CMV)	Australia, Hawaii (USA)	Dragich <i>et al.</i> , 2014; Taylor <i>et al.</i> , 1964
Nepovirus	<i>Tomato ringspot virus</i> (TORSV)	Perú, Uganda	Ochwo-Ssemakula <i>et al.</i> , 2012; Koenig <i>et al.</i> , 1986
Potyvirus	<i>Passionfruit woodiness virus</i> (PWV)	Australia, Brasil	Barbosa, 2016; McKnight, 1953
	<i>Cowpea aphid-borne mosaic virus</i> (CABMV)	Sudáfrica, Brasil	Barbosa, 2013; Brand y von Wechmar, 1993
	<i>Soybean mosaic virus</i> (SMV)	Colombia	Ocampo <i>et al.</i> , 2013; Benschel <i>et al.</i> , 1996; Morales <i>et al.</i> , 2001
	<i>Passion fruit crinkle virus</i> (PCV)	Costa Marfil, Taiwán	Cheng <i>et al.</i> , 2015; De Wijs, 1974; Chang y Lin, 1989
candidate Potyvirus	<i>Passion fruit mottle virus</i> (PFMoV)	Taiwán, Florida (USA)	Baker y Jones, 2007; Chang, 1992
candidate Potyvirus	<i>Passiflora ringspot virus</i> (PFRSV)	Costa Marfil, Colombia	Camelo, 2010; De Wijs, 1974
unassigned	<i>East Asian passiflora virus</i> (EAPV)	Japón	Chiaki <i>et al.</i> , 2016; Iwai <i>et al.</i> , 2006
unassigned	<i>Sri Lankan passion fruit mottle virus</i> (SLPMoV)	Sri Lanka, Uganda	Ochwo-Ssemakula <i>et al.</i> , 2012; Dassanayake y Hicks, 1992
Tymovirus	<i>Passion fruit yellow mosaic virus</i> (PFYMV)	Colombia, Uganda	Ochwo-Ssemakula <i>et al.</i> , 2012; Morales <i>et al.</i> , 2001; Morales <i>et al.</i> , 2002
candidate Rhabdoviridae	<i>Passion fruit green spot virus</i> (PGSV)	Brasil	Fischer y Rezende, 2008; Kitajima, 1986
candidate Rhabdoviridae	<i>Passion fruit vein clearing virus</i> (PVCV)	Brasil	Gioria, 2003; De Ribamar <i>et al.</i> , 2001
Tobamovirus	<i>Tobacco mosaic virus</i> (TMV)	India, Australia	Parkinson <i>et al.</i> , 2015; Mali y Vyanjane, 1980
	<i>Maracuja mosaic virus</i> (MarMV)	India, Uganda	Ochwo-Ssemakula <i>et al.</i> , 2012; Mali y Vyanjane, 1980
unassigned	<i>Purple granadilla mosaic virus</i> (PGMV)	Brasil	Fischer y Rezende, 2008; Chagas <i>et al.</i> , 1984

**Tabla 2. Virus reportados que infectan uchuva (*Physalis peruviana*).**

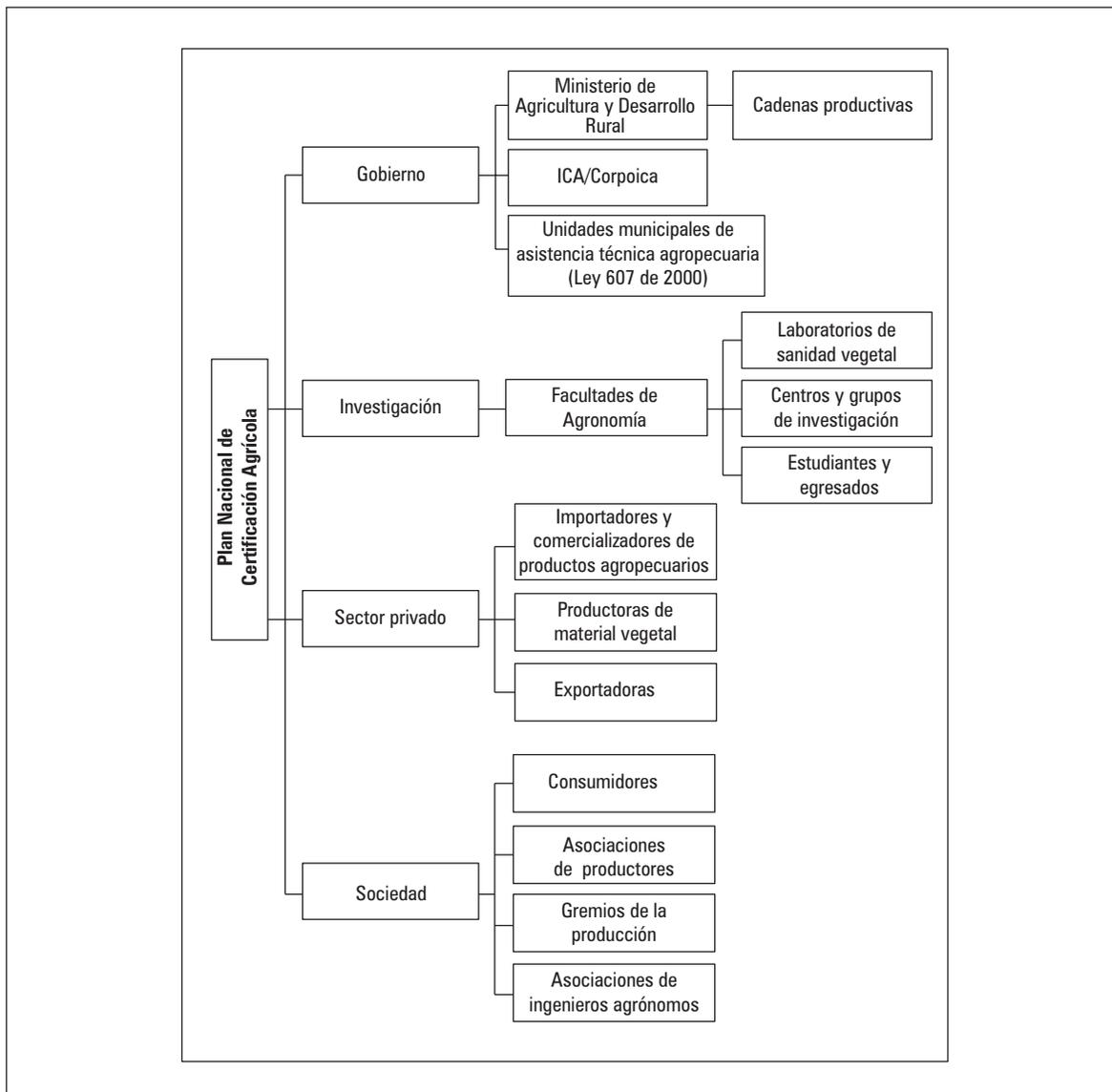
Género	Virus	País de reporte	Reporte
Tobamovirus	<i>Tobacco mosaic virus</i> (TMV)	India, Colombia	Capoor y Sharma, 1965; Gómez <i>et al.</i> , 1997; De la Rotta <i>et al.</i> , 2016
Potyvirus	<i>Peru tomato mosaic virus</i> PTV	Perú	Fribourg, 1979
	<i>Colombian datura virus</i> (CDV)	Hungría	Salamon <i>et al.</i> , 2002; Salamon y Palkovics, 2004
	<i>Potato virus Y</i> (PVY)	Hungría, Colombia	Sakimura, 1953; Horvath, 1970; De la Rotta <i>et al.</i> , 2016; Kisten <i>et al.</i> , 2016
Crinivirus	<i>Tomato Chlorosis Virus</i> (TOCV)	Portugal	Trenado <i>et al.</i> , 2007
Tospovirus	<i>Tomato Chlorotic Spot Virus</i> (TCSV)	Brasil	Eiras <i>et al.</i> , 2012
Tospovirus	<i>Tomato Spotted Wilt Virus</i> (TSWV)	Sudáfrica	Graca <i>et al.</i> , 1985; Gutiérrez <i>et al.</i> , 2015; Perea <i>et al.</i> , 2010
Polerovirus	<i>Potato leafroll virus</i> (PLRV)	USA	Natti <i>et al.</i> , 1953
Cucumovirus	<i>Cucumber Mosaic Virus</i> (CMV)	Nueva Zelanda, Colombia	Chamberlain, 1939; De la Rotta, 2014; Daza y Rodriguez, 2006
Potexvirus	<i>Potato virus X</i> (PVX)	Hungría, Colombia	Horvath, 1970; Zapata <i>et al.</i> , 2005; Gutiérrez <i>et al.</i> , 2015
	<i>Potato spindle tuber viroid</i> (PSTVd)	Turquía, Alemania, Australia	Hadidi <i>et al.</i> , 1976; Verhoeven <i>et al.</i> , 2009; Van Brunschot <i>et al.</i> , 2014

actores que participan en la producción agrícola nacional, sin dejar de lado a las empresas multinacionales de semillas, productos fitosanitarios y entidades internacionales que regulan la legislación en materia de sanidad vegetal (figura 1).

La certificación no debe ser vista sólo como un requisito obligatorio el cual termina siendo un documento para poder producir o comercializar productos agrícolas en Colombia. Su función principal debe ser la de generar una cultura de responsabilidad, con la cual podemos cambiar las malas prácticas agronómicas que no deben ser transmitidas a las nuevas generaciones. Así mismo, la certificación debe interactuar de manera dinámica con la sociedad a través de un programa de sensibilización, para que esta reconozca el esfuerzo y apoye el valor económico de producir alimentos de calidad, respetando los recursos naturales de la nación.

A su vez en esta herramienta el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, y el ICA que

juegan un papel fundamental, pueden supervisar en tiempo real los problemas agrícolas con el fin de planificar y establecer políticas nacionales oportunas en favor de la protección de la riqueza natural y la competitividad agrícola del país. Los demás actores tienen que asumir su papel dentro del sistema para que la información fluya de manera permanente y articulada. Las universidades con programas relacionados con la agricultura deben comprometerse a formar profesionales con responsabilidad social activa y para esto es fundamental integrar en sus programas académicos asignaturas adicionales a la práctica profesional que permitan la interpretación y el análisis de las normativas agrícolas para dar soporte a las unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria, como parte obligatoria de la implementación de un programa de certificación. La integración de las universidades con los centros de investigación y los laboratorios de sanidad vegetal dentro de una red apoyada por el ICA y el gobierno nacional, permitirá la supervisión del territorio nacional



**Figura 1. Propuesta para la integración de actores dentro del plan nacional de certificación agrícola.**

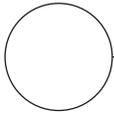
y le dará al agricultor la posibilidad de acceder a una asistencia técnica real y oportuna. Este trabajo interinstitucional será el soporte para la implementación y supervisión de las resoluciones del ICA sobre semillas (R.2046/2003), producción de material de propagación de frutales (R.3180/2009) y transporte de material vegetal (R.3973/2016) en el territorio nacional. A su vez, detectará los vacíos jurídicos que hay en las normas para su pronta corrección.

Las cadenas productivas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural deben cumplir con su función de enlace y apoyar la integración del pequeño agricultor por medio de asociaciones. La certificación será una herramienta de apoyo para las cadenas, ya que permitirá que todos los actores participen bajo las mismas reglas rompiendo con el ciclo especulativo. La implementación de la certificación facilitará la adaptación a las nuevas regulaciones internacionales sobre tolerancia a residualidad de pro-

ductos químicos y elementos pesados en la producción agrícola que será uno de los problemas críticos para la exportación hortofrutícola de Colombia.

Finalmente, la certificación debe cumplir un bien social, rompiendo el paradigma agrícola convencional de consumo por volumen y proyectarlo hacia un sistema de producción sostenible y ami-

gable con el ambiente, permitiéndole al pequeño agricultor interactuar con la sociedad dentro de un ambiente enfocado a la calidad de los productos hortofrutícolas. El valor de esta integración será reconocido por las próximas generaciones que podrán disfrutar de una mejor calidad de vida al consumir frutas y vegetales producidos responsablemente.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre-Ráquira, W., D. Borda y L. Hoyos-Carvajal. 2014. Potyvirus affecting uchuva (*Physalis peruviana* L.) in Centro Agropecuario Marengo, Colombia. *Agr. Sci.* 5, 897-905.
- Baker, C.A. y L. Jones. 2007. A new Potyvirus found in *Passiflora* incense in Florida. *Plant Dis.* 91(2), 227-227. Doi: 10.1094/PDIS-91-2-0227A
- Bandte, M., M.H. Rodríguez, J. Schuch, U. Schmidt y C. Büttner. 2016. Plant virus in irrigation water: reduced dispersal of virus using sensor-based disinfection. *Irrig. Sci.* 34, 221-224. Doi: 10.1007/s00271-016-0500-1
- Barbosa, N.C.S. 2016. Anatomia foliar e diversidade genética em *Passiflora* spp. (*Passifloraceae* L.) resistentes ao Cowpea aphid-borne mosaic virus (CABMV). Tesis de doctorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador de Bahia, Brasil.
- Barbosa, N.C.S. 2013. Anatomia foliar comparada de quatro espécies de *Passiflora* L. (*Passifloraceae*) infectadas pelo vírus do endurecimento dos frutos do maracujazeiro. Trabajo de grado. Universidade Federal da Bahia, Salvador de Bahia, Brasil.
- Benschler, D., S.S Pappu, C.L. Niblett, F.M. Varón de Agudelo, E. Hodson y R.F. Lee. 1996. A strain of soybean mosaic virus infecting *Passiflora* spp. in Colombia. *Plant Dis.* 80(3), 258-262. Doi: 10.1094/PD-80-0258
- Brand, R.J. y M.B. von Wechmar. 1993. Characterization of two viruses implicated in the woodiness disease complex of South African passionfruit: Cucumber mosaic virus and a new Potyvirus. *J. South. Afr. Soc. Hort. Sci.* 3, 28-33.
- Büttner, C., S. von Barga y M. Bandte. 2015. Phytopathogenic viruses. pp. 115-122. En: Lugtenberg, B. (ed.). *Principles of plant-microbe interactions microbes for sustainable agriculture*. Springer Verlag, Berlin.
- Camelo, G. 2010. Detección e identificación de los virus patógenos de cultivos de Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en la región del Sumapáz (Cundinamarca). Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Capoor, S.P. y D.C. Sharma. 1965. Purple leaf disease of beet. *Indian Phytopathology* 18(1), 88-89.
- Castaño-Zapata, J. 2009. Enfermedades importantes de las pasifloráceas en Colombia. pp. 223-244. En: Miranda, D., G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra, W. Piedrahíta y L.E. Flórez (eds.). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2001. Propuesta para un programa de frutas tropicales. En: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54538>; consulta: marzo de 2016.
- Chagas, C.M., P.P. Joazeiro, M. Kudamatsu y J. Vega. 1984. Mosaico do maracujá-roxo, uma nova virose no Brasil. *Fitopatología Bras.* 9, 241-247.
- Chamberlain, E.E. 1939. Cucumber-mosaic (Cucumis virus 1 of Smith 1937). *N.Z. J. Sci. Tech. A* 21, 74-90.
- Chang, C.A. 1992. Characterization and comparison of Passion fruit mottle virus, a newly recognized Potyvirus, with Passion fruit woodiness virus. *Phytopathology* 82, 1358-1363. Doi: 10.1094/Phyto-82-1358
- Chang, C.A. y H.H. Lin. 1989. Passion fruit crinkle virus, a new Potyvirus isolated from passionfruit in Taiwan. *Plant Prot. Bull.* 31, 409-410.
- Cheng, Y.H., T.C. Deng, C.C. Chen, C.H. Chiang y C.A. Chang. 2015. First report of Euphorbia leaf curl virus and Papaya leaf curl Guangdong virus on

- passion fruit in Taiwan. *Phytopathology* 105(7), 1026-1032. Doi: 10.1094/PDIS-05-13-0554-PDN
- Cheng, Y.H., T.C. Deng, C.C. Chen, C.H. Chiang y C.A. Chang. 2014. First report of Euphorbia leaf curl virus and Papaya leaf curl Guangdong virus on passion fruit in Taiwan. *Plant Dis.* 98(12), 1746-1746.
- Chiaki, Y., T. Fukumoto, M. Nakamura y H. Iwai. 2016. Population genetics analysis of East Asian *Passiflora* virus on Amami Oshima Island. *Eur. J. Plant Pathol.* 144(1), 109-120. Doi: 10.1007/s10658-015-0755-z
- Dassanayake, E.M. y R.G.T. Hicks. 1992. Sri Lankan Passion fruit mottle virus, a Potyvirus infecting golden passion fruit in Sri Lanka. *Ann. Appl. Biol.* 120(3), 459-469. Doi: 10.1111/j.1744-7348.1992.tb04906.x
- Daza, P.A. y P.A. Rodríguez. 2006. Enfermedades de origen viral en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en el Departamento de Cundinamarca. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- De la Rotta, M.C. 2014. Enfermedades de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). En: Carvalho, C.P. y D.A. Moreno (eds.). *Physalis peruviana: fruta andina para el mundo*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED, Limencop SL, Alicante, España.
- De la Rotta, M.C., K. Quevedo y D. Miranda. 2016. Principales problemas ocasionados por enfermedades en el cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). pp. 51-68, 78. En: Miranda, D., C. Carranza y G. Fischer (eds.). *Problemas de campo asociados al cultivo de uchuva (Physalis peruviana L.)*. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- De Ribamar, J.N., N.T.V. Junqueira, D. Avila y M.J. Charchar. 2001. Incidência e distribuição do vírus do endurecimento dos frutos do maracujazeiro no Cerrado do Brasil Central. Embrapa Cerrados, Planaltina, Brasil.
- De Wijs, J.J. 1974. A virus causing characterization of Passionfruit Crinkle Potyvirus - a newly found virus infecting passion fruit 353 ringspot of *Passiflora edulis* in the Ivory Coast. *Ann. Appl. Biol.* 77, 33-40. Doi: 10.1111/j.1744-7348.1974.tb01385.x
- Dragich, M., M. Melzer y S. Nelson. 2014. Cucumber Mosaic Virus in Hawaii. *Plant Disease* PD 101, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawai'i at Mānoa, Hawai'i.
- Eiras, M., I.F. Costa, A.L. Chaves, A. Colariccio y R. Harakava. 2012. First Report of a Tospovirus in a commercial crop of cape gooseberry in Brazil. *New Disease Reports* 25, 25. Doi: 10.5197/j.2044-0588.2012.025.025
- Ferreira, S.S., D.R. Barros, M.R. De Almeida y F.M. Zerbini. 2010. Characterization of Passion fruit severe leaf distortion virus, a novel begomovirus infecting passion fruit in Brazil, reveals a close relationship with tomato-infecting begomoviruses. *Plant Pathol.* 59, 221-230. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2009.02205.x
- Fischer, G. y D. Miranda. 2012. Introducción. pp. 10-15. En: Fischer, G. (ed.). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Produmedios, Bogotá.
- Fischer, I.H. y J.A. Rezende. 2008. Diseases of passion flower (*Passiflora* spp.). *Pest Technol.* 2(1), 1-19.
- Forero, R., E. Ortiz, W. de León, J.C. Gómez y L. Hoyos-Carvajal. 2015. Análisis de la resistencia a *Fusarium oxysporum* en plantas de *Passiflora maliformis* L. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 9(2), 197-208. Doi: 10.17584/rcch.2015v9i2.4174
- Fribourg, C.E. 1979. Host plant reactions, some properties, and serology of Peru tomato virus. *Phytopathology* 69(5), 441-445. Doi: 10.1094/Phyto-69-441
- Gioria, R. 2003. Caracterização biológica, serológica e molecular de uma estirpe do Passion Fruit Woodiness Virus (PWV) que infecta sistemicamente algumas cucurbitáceas. Tesis de doctorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Gómez, J.E., F. Morales y J. Arroyave. 1997. Mosaic disease of *Physalis peruviana* in Colombia. *ASCOLFI Informa* 23(6), 52.
- Graca, J., T.N. Trench y M.M. Martin. 1985. Tomato spotted wilt virus in commercial Cape gooseberry (*Physalis peruviana*) in Transkei. *Plant Pathol.* 34(3), 451-453. Doi: 10.1111/j.1365-3059.1985.tb01390.x
- Gutiérrez, P.A., J.F. Alzate y M.M. Montoya. 2015. Complete genome sequence of an isolate of Potato virus X (PVX) infecting Cape gooseberry (*Physalis peruviana*) in Colombia. *Virus Genes* 50(3), 518-522. Doi: 10.1007/s11262-015-1181-1
- Hadidi, A., D. Jonesf, D. Gillespiet, F. Wong-Staalt y T. Dienert. 1976. Hybridization of Potato spindle tuber viroid to cellular DNA of normal plants. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 73(7), 2453-2457. Doi: 10.1073/pnas.73.7.2453
- Hong, C., G.W. Moorman, W. Wohanka y C. Büttner (eds.). 2014. *Biology, detection, and management of plant pathogens in irrigation water*. APS Press, St. Paul, MN.
- Horvath, J. 1970. Reaction of *Physalis* species to plant viruses. I. The Cape Gooseberry as a symptomless

- carrier of Potato virus X and Y. *Acta Phytopathology Acad. Sci. Hungaricae* 5(1), 65-72.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2013. Base de datos de viveros registrados en Colombia Feb-2013. En: <http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Certificacion-de-Semillas/Base-de-datos-de-Viveros-registrados-Feb-2013.aspx>; consulta: marzo de 2016.
- Iwai, H., Y. Yamashita, N. Nishi y M. Nakamura. 2006. The Potyvirus associated with the dappled fruit of *Passiflora edulis* in Kagoshima prefecture, Japan is the third strain of the proposed new species East Asian *Passiflora* virus (EAPV) phylogenetically distinguished from strains of Passion fruit woodiness virus. *Arch. Virol.* 151(4), 811-818. Doi: 10.1007/s00705-005-0659-x
- Kil, E.J., H. Seo, H.S. Byun, S.S. Suh, T.K. Lee, K.Y. Lee y C.S. Kim. 2016. First report of Euphorbia leaf curl virus in passion fruits in South Korea and its natural occurrence in papaya. *Plant Dis.* 100(4), 865. Doi: 10.1094/PDIS-08-15-0854-PDN
- Kisten, L., V. Moodley, A. Gubba y P.L. Mafongoya. 2016. First report of Potato virus Y (PVY) on *Physalis peruviana* in South Africa. *Plant Dis.* 100(7), 1511. Doi: 10.1094/PDIS-12-15-1442-PDN
- Kitajima, E.W., C.M. Chagas y O.A. Crestani. 1986. Enfermedades de etiología viral e asociadas a organismos do tipo micoplasma em maracujazeiro no Brasil. *Fitopatol. Bras.* 11, 409-432.
- Koenig, R. y C.E. Fribourg. 1986. Natural occurrence of tomato ringspot virus in *Passiflora edulis* from Peru. *Plant Dis.* 70(3), 244-245. Doi: 10.1094/PD-70-244
- Ley 607 Republica de Colombia. 2000. Por medio de la cual se modifica la creación, funcionamiento y operación de las unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria (UMATA), y se reglamenta la asistencia técnica directa rural en consonancia con el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología. Diario Oficial No. 44.113, de 3 de agosto de 2000. En: <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Leyes/Ley%20607%20de%202000.pdf> consulta: abril de 2016.
- Liberato, J.R. y F.M. Zerbini. 2016. Diseases of passionfruit (*Passiflora* spp.). The American Phytopathological Society En: <http://www.apsnet.org/publications/commonnames/Pages/Passionfruit.aspx>; consulta: abril de 2016.
- Mali, V.R. y N.T. Vyanjane. 1980. Occurrence of tobacco mosaic virus on passionflower (*Passiflora caerulea*). *Ind. J. Mycol. Plant Pathol.* 11, 112-114.
- McKnight, T. 1953. The woodiness virus of the passion vine (*Passiflora edulis* Sims). *Queensl. J. Agr. Sc.* 10, 4-35.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2016a. Apuesta Exportadora Agropecuaria 2006-2020 República de Colombia. Ed. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. En: <http://www.bibliotecadigital.agronet.gov.co/jsui/streams/11348/6004/1/006.pdf>; consulta: abril de 2016.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2016b. Sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadenas. *Passifloras*. En: <http://sioc.minagricultura.gov.co/index.php/art-inicio-cadena-pasifloras/?ide=27>; consulta: abril de 2016.
- Miranda, D., G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra, W. Piedrahíta y L.E. Flórez (eds.). 2009. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá.
- Morales, F.J., I. Lozano, M. Castaño, J. Arroyave, A.C. Velasco y F. Varon. 2002. Partial characterization of a Tymovirus infecting passion fruit in Colombia, South America. *J. Phytopathology* 150(4-5), 292-296.
- Morales, F.J., I. Lozano, C. Muñoz, M. Castaño y F. Arroyave. 2001. Caracterización molecular de los virus que afectan el maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) y otras *Passifloras* en Colombia. *Fitopatol. Colomb.* 25(2), 99-102.
- Morales, F.J., C. Muñoz, M. Castaño y C.A. Velasco. 2000. Geminiviruses transmitted by whitefly in Colombia. *Fitopatol. Colomb.* 24(½), 95-98.
- Natti, J.J., H.C. Kirkpatrick y A.F. Ross. 1953. Host range of Potato leaf roll virus. *Amer. Potato J.* 30(3), 55-64.
- Novaes, O.S., J. Freitas-Astua, V.A. Yuki, E.W. Kitajima, L.E.A. Camargo y J.A.M. Rezende. 2003. Partial characterization of a bipartite Begomovirus infecting yellow passion flower in Brazil. *Plant Pathol.* 52, 648-654.
- Ocampo, J., R. Urrea, K. Wyckhuys y M. Salazar. 2013. Exploración de la variabilidad genética del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como base para un programa de fitomejoramiento en Colombia. *Acta Agron.* 62(4), 352-360.
- Ocampo, J.A. 1984. Colombia y la economía mundial 1830-1910. Ed. Siglo Veintiuno, Bogotá.

- Ochwo-Ssemakula, M., T. Sengooba, J.J. Hakiza, E. Adipala, R. Edema, M.G. Redinbaugh y S. Winter. 2012. Characterization and distribution of a Potyvirus associated with passion fruit woodiness disease in Uganda. *Plant Dis.* 96(5), 659-665.
- Pares, R.D., A.B. Martin y R.D. Fitzell. 1985. Virus-induced tip necrosis of passion fruit (*Passiflora edulis Sims*). *Aust. Plant Pathol.* 4(4), 76-78.
- Parkinson, L.E., K.S. Crew, J.E. Thomas y E.K. Dann. 2015. Efficacy of acibenzolar-S-methyl (Bion®) treatment of Australian commercial passionfruit, *Passiflora edulis* f. sp. *flavicarpa*, on resistance to Passionfruit woodiness virus (PWV) and activities of chitinase &  $\beta$ -1, 3-glucanase. *Aust. Plant Pathol.* 44(3), 311-318.
- Perea D., M., N.C. Rodríguez, G. Fischer, M. Velásquez y Y. Micán G. 2010. Uchuva *Physalis peruviana* L. (Solanaceae). pp. 466-490. En: Perea D., M., L.P. Matallana R. y A. Tirado P. (eds.). *Biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Rodríguez, M., N. Niño, C. Carranza, O. Lancho, D. Miranda y S. Magnitskiy, S. 2008. Detection of virus in the principal producing zones of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the municipalities of Fómeque, Fusagasuga and Villa de Leyva (Colombia). *Acta Hort.* 821, 175-180.
- Sakimura, K. 1953. Potato virus Y in Hawaii. *Phytopathology* 43(4), 217.
- Salamon, P. y L. Palkovics. L. 2004. Occurrence of Colombian datura virus in *Brugmansia* hybrids, *Physalis peruviana* L. and *Solanum muricatum* Ait. in Hungary. *Acta Virologica* 49(2), 117-122.
- Salamon, P., L. Palkovics y G.J. Kövics. 2002. Colombian Datura Virus (cdv): occurrence of a new dangerous Potyvirus in Hungary. pp. 70-78. 7. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum, 16-17 October 2002, Debrecen, Hungary.
- Schnepf, E. y J. Brandes. 1961. Über ein Virus aus *Passiflora spec.* *J. Phytopathology* 43, 102-105. Doi: 10.1111/j.1439-0434.1961.tb01970.x
- Tang, J., G.R.G. Clover, B.J.R. Alexander y B.D. Quinn. 2008. First report of *Passiflora* latent virus in banana passionfruit (*Passiflora tarminiana*) in New Zealand. *Plant Dis.* 92(3), 486. Doi: 10.1094/PDIS-92-3-0486C
- Taylor, R.H. y K.A. Kimble. 1964. Two unrelated viruses which cause woodiness of passion fruit (*Passiflora edulis Sims*). *Aust. J. Agr. Res.* 15, 560-570. Doi: 10.1071/AR9640560
- Trenado, H.P., I.M. Fortes, D. Louro y J. Navas-Castillo. 2007. *Physalis ixocarpa* and *P. peruviana*, new natural hosts of Tomato chlorosis virus. *Eur. J. Plant Pathol.* 118(2), 193-196. Doi: 10.1007/s10658-007-9129-5
- Van Brunshot, S.L., J.T.L. Verhoeven, D.M. Persley, A.D.M. Geering, A. Drenth y J.E. Thomas. 2014. An outbreak of Potato spindle tuber viroid in tomato is linked to imported seed. *Eur. J. Plant Pathol.* 139(1), 1-7. Doi: 10.1007/s10658-014-0379-8
- Verhoeven, J.T.J., M. Botermans, J.W. Roenhorst, J. Westerhof y E.T.M. Meekes. 2009. First report of Potato spindle tuber viroid in Cape Gooseberry (*Physalis peruviana*) from Turkey and Germany. *Plant Dis.* 93(3), 316-316. Doi: 10.1094/PDIS-93-3-0316A
- Zapata, J.L., A. Saldarriaga, M. Londoño y C. Díaz. 2005. Las enfermedades limitantes en cultivo y poscosecha de la uchuva y su control. pp. 97-110. En: Fischer, G., D. Miranda, W. Piedrahíta y J. Romero (eds.). *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. en Colombia*. Unibiblos, Bogotá.

## Nota científica

# Efecto del agua tratada magnéticamente en el desarrollo y la producción de cúrcuma (*Curcuma longa* L.)

## Effect of magnetically treated water on the growth and production of curcuma (*Curcuma longa* L.)

ORLANDO ZÚÑIGA<sup>1</sup>

JHONY ARMANDO BENAVIDES<sup>1, 3</sup>

CRISTIAN ORLANDO JIMÉNEZ<sup>1</sup>

MAURICIO ALEJANDRO GUTIÉRREZ<sup>1</sup>

CELINA TORRES<sup>2</sup>



**Plantas de cúrcuma de tres meses de edad.**

Foto: J.A. Benavides

### RESUMEN

La cúrcuma es un cultivo promisorio para la región del Valle del Cauca (Colombia), el cual demanda una alta disponibilidad del recurso hídrico para obtener rendimientos óptimos. La irrigación es un factor fundamental para lograr tales rendimientos, por tal motivo una de las tareas más importantes es la de asegurar la disponibilidad de agua en todo su ciclo vegetativo. Con el propósito de evaluar nuevas tecnologías que contribuyan al mejoramiento de la producción de este cultivo, este trabajo examinó la respuesta del agua tratada magnéticamente (ATM) en el desarrollo fisiológico y la producción de la cúrcuma. Para la estimulación del agua se utilizaron dos magnetizadores instalados en serie dentro de un circuito de recirculación. En las pruebas se establecieron tres tiempos de exposición al campo magnético (10, 15 y 30 min), un testigo recirculado sin magnetizadores y un testigo absoluto sin recircular. Se empleó un diseño unifactorial completamente al azar. El sistema de magnetización fue acoplado a un sistema de riego por goteo, aplicándose durante tres meses a plántulas de cúrcuma en condiciones de invernadero. Los resultados mostraron que el tiempo de recirculación del ATM durante 30 min con una inducción magnética de 156 mT generó un incremento estadísticamente significativo en la longitud de la planta, el número de rizomas, el número de macollos, la masa fresca y la masa seca, superior a los demás tratamientos. De acuerdo a estos resultados, la aplicación de ATM podría ser considerada como una tecnología promisoriosa para mejorar el rendimiento del cultivo de cúrcuma.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Física, Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales y de la Tierra (ILAMA), Universidad del Valle, Santiago de Cali (Colombia).

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Biología, Grupo de Investigación en Biología de Plantas y Microorganismos, Universidad del Valle, Santiago de Cali (Colombia).

<sup>3</sup> Autor para correspondencia: [jhony.benavides@correounivalle.edu.co](mailto:jhony.benavides@correounivalle.edu.co)

**Palabras clave adicionales: biomagnetismo, tecnología agroambiental, campo magnético.**

## ABSTRACT

*Curcuma longa* is a promising crop for the region of Valle del Cauca (Colombia), which demands a high availability of water resources in order to obtain optimum yields. Irrigation is a key factor in achieving such yields; for that reason, one of the more important tasks is to ensure the availability of water throughout the vegetative cycle. With the aim of evaluating new technologies that contribute to the improvement of the production of this crop, this paper examined the effect of magnetically treated water (MTW) on the physiological growth and production of *C. longa*. For the water stimulation, two magnetizers, installed in series within a recirculation circuit, were used. Three exposure times to the magnetic field were used (10, 15 and 30 min), along with a recirculated control treatment without magnetrons and an absolute control treatment without recirculation. The experiment design was completely randomized with one factor. The magnetization system was attached to a drip irrigation system; the treatments were applied for three months to *C. longa* plants under greenhouse conditions. The results showed that the recirculation time of MTW for 30 min with a magnetic induction of 156 mT resulted in a statistically significant increase in the length of the plants, the number of rhizomes, the number of tillers, the fresh weight and the dry weight, higher than that of the other treatments. According to these results, the application of magnetized water could be regarded as a promising agro-environmental technology that improves crop yield in *C. longa*.

**Additional keywords:** bio-magnetism, agro-environmental technology, magnetic field.

Fecha de recepción: 21-11-2015

Aprobado para publicación: 14-05-2016

## INTRODUCCIÓN

La dependencia de fertilizantes de síntesis química para la producción agrícola competitiva es una de las mayores dificultades que enfrenta la agricultura convencional. Según el documento Conpes 3577 (2009), se acepta que los fertilizantes son un componente importante en los costos de producción de la actividad agropecuaria, afectando directamente el precio de comercialización de los productos y el margen de ganancia del agricultor. El precio que debe pagar un agricultor por fertilizantes minerales en una zona remota es mucho más alto que el precio del mercado mundial a causa del transporte, distribución y otros costos de transacción asociados

(Kotschi, 2015), lo que en muchas ocasiones no se traduce en un mayor valor de compra para el agricultor (Pérez, 2014). En este sentido se hace necesario impulsar el desarrollo de tecnologías innovadoras que propicien la disminución del uso de fertilizantes minerales a la vez que mejoren la eficiencia en el uso del agua de riego y las condiciones del suelo para los cultivos.

La tecnología evaluada en la presente investigación corresponde al uso del campo magnético sobre agua de riego. La tecnología del ATM genera efectos incrementales sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto es debido a que los

cambios en las propiedades físicas y químicas del agua tratada magnéticamente (ATM) alteran directa o indirectamente el crecimiento y desarrollo de las plantas. Varios autores han encontrado que la exposición previa del agua de riego a un campo magnético (CM) conduce a un aumento de la productividad vegetal y a ciertos cambios en su fisiología (Maheshwari y Grewal, 2009; Al-Khazan *et al.* 2011; Abou El-Yazied *et al.* 2012; Hozayn *et al.* 2013; Mahmood y Usman, 2014).

Un CM aplicado al agua de riego mejora las características de crecimiento de las plantas (Maheshwari y Grewal 2009), la funcionalidad de las raíces (Aladjadjiyan, 2010), además, tiene una marcada influencia en la composición química de las plantas (Radhakrishnan y Kumari, 2012), afecta la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Maheshwari y Grewal, 2009) y activa las enzimas de las plantas (Alikamanoglu y Sen, 2011) influyendo, por tanto, en su temprana producción y mejora de rendimiento. Consecuentemente, la aplicación de CM puede ser usada como una alternativa a los métodos químicos de tratamiento de plantas para mejorar la eficiencia en la producción.

Se ha encontrado que el tratamiento magnético del agua tiene un efecto positivo en el mejoramiento de la calidad de la misma. Maheshwari y Grewal (2009) reportaron que dicho tratamiento amortigua los efectos deletéreos de agua reciclada de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y de agua salina, usadas para riego agrícola con 1.500 ppm y 3.000 ppm de NaCl aplicadas a plantas de apio (*Apium graveolens*) y fríjol (*Phaseolus vulgaris*), respectivamente y con un campo magnético de 3,5 a 136 mT. El rendimiento y productividad en plantas de apio y de fríjol cultivadas con este tipo de aguas se vio incrementado casi al nivel de aquellas regadas con agua de calidad, y por encima de las que solo recibieron agua sin tratamiento magnético, bajo condiciones controladas de invernadero. Estos resultados son congruentes con lo reportado por Marei *et al.* (2014) quienes al emplear agua

salina para riego tratada con CM evidenciaron un incremento importante en el rendimiento y en la eficiencia en el uso del agua (EUA) en un cultivo de ají (*Capsicum annum L.*).

Khoshravesh *et al.* (2011) investigaron los efectos del ATM y la salinidad del agua de riego en la distribución de la humedad sobre el suelo bajo riego por goteo. Ellos demostraron que la humedad media del suelo, a diferentes profundidades del mismo, bajo el sistema de goteo con el tratamiento de ATM, fue mayor en comparación con el tratamiento de riego con agua sin magnetizar con una diferencia significativa del 5%. Hilal *et al.* (2013) indican que el tratamiento magnético de agua para riego agrícola dependerá de la intensidad del campo magnético, la composición de las sales disueltas y la velocidad en que cruza la fuente del campo.

Hozayn *et al.* (2013) indicaron que la aplicación de ATM en un cultivo de remolacha azucarera indujo incrementos significativos en el rendimiento de raíces (masa, longitud y diámetro) en 21,53; 5,68 y 16,23% respectivamente, al ser comparado con el agua sin magnetizar. Los resultados obtenidos por diferentes autores confirman los efectos benéficos de campos magnéticos de baja frecuencia sobre el crecimiento de las raíces y las hojas de la remolacha azucarera (Vasilevski, 2003; Rochalska *et al.*, 2008).

Hozayn *et al.* (2011) luego de regar cultivos de trigo, lino, garbanzo y lenteja con ATM, encontraron que todas las plantas exhibieron un incremento notable en el desarrollo vegetativo y en sus constituyentes bioquímicos. Además, los resultados obtenidos indican que el número de bandas proteínicas aumentó con el uso de ATM en comparación con la no tratada. Además de lo anterior, el tratamiento con ATM incrementó los rendimientos de todos los cultivos evaluados. Los incrementos de rendimiento de semilla/planta en los cultivos de monocotiledóneas alcanzaron el 10 y 33,33% para el lino y el trigo respectivamente, y en los cultivos de dicotiledóneas se al-

canzaron valores de 26,92 y 46,62%, para lenteja y garbanzo, respectivamente comparados con los cultivos regados con agua no tratada.

La heterogeneidad de las especies y tipos de plantas, condiciones físico-químicas del agua utilizada para riego agrícola, tipos de suelo, condiciones locales y la falta de un modelo físico así como de unos protocolos estandarizados para el tratamiento de la tecnología de magnetización con fines agrícolas es muy compleja, de ahí que sean necesarias más investigaciones a nivel local para obtener información suficiente como para generar curvas detalladas que integren la intensidad del campo, el tiempo de exposición y la respuesta en cultivos promisorios como lo es el de la cúrcuma sobre unidades y frecuencias de riego definidas y diferenciadas.

El objetivo de este trabajo de investigación estuvo encaminado a evaluar la respuesta del cultivo de la cúrcuma bajo condiciones de invernadero a la aplicación de la tecnología de ATM y determinar el tiempo de exposición óptimo de recirculación para obtener mejores respuestas agronómicas en un cultivo de cúrcuma.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó bajo condiciones de invernadero en el vivero ILAMA ubicado en la granja experimental de la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR de la Universidad del Valle, Cali, la cual se encuentra a una altitud de 995 msnm y ubicada a 3°22'33,55"N y 76°31'58,43"W; cuenta con una temperatura promedio anual de 23°C, humedad relativa del 73%, precipitación promedio anual de 908 mm y 162 h en promedio de brillo solar.

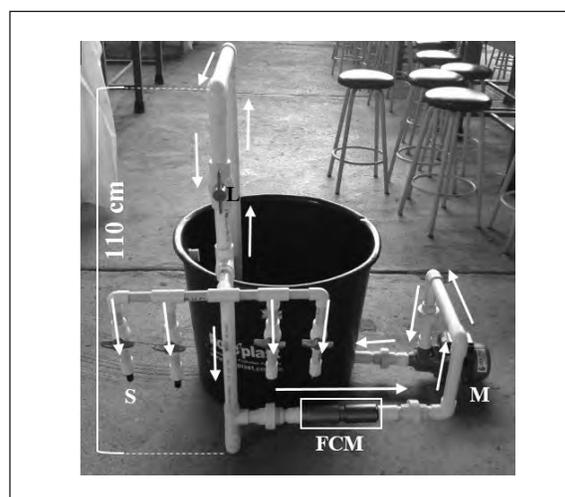
### Aplicación del tratamiento magnético

El sistema de recirculación para agua de riego cuenta con dos magnetizadores marca Quantum Biotek modelo Omni Water System de 2,54 cm

de diámetro conectados en serie. La intensidad del campo se midió con el teslámetro LD Didactic GmbH (Huerth, Alemania) reportando una inducción magnética de 156 militeslas (mT) y una electrobomba Titán modelo QB60 (Taizhou Ouke Pump, Zhejiang, China) con caudal máximo de 36 litros por minuto usada para impulsar el agua en el circuito. La inducción magnética se estableció luego de revisar varias investigaciones que utilizan valores intermedios (entre 90 y 250 mT) con resultados interesantes (De Souza *et al.*, 2005, 2006; Flórez *et al.*, 2007; Racuciu *et al.*, 2008; Domínguez-Pacheco *et al.*, 2010; Vashisth *et al.*, 2010; Bhardwaj *et al.*, 2012). Para el almacenamiento del agua se utilizó un recipiente plástico de 100 L y un sistema de tubería de PVC de 2,54 cm de diámetro con cinco válvulas de control de flujo (figura 1).

### Diseño experimental

El ensayo se ajustó a un diseño unifactorial de múltiples niveles dispuestos completamente al azar con el factor: tiempo de recirculación a un campo magnético constante (156 mT) y tres ni-



**Figura 1.** Circuito de recirculación de agua con magnetizadores. L: llave de paso de agua, S: salida del ATM hacia el sistema de riego, FCM: fuente de campo magnético, M: motobomba eléctrica, las flechas indican el flujo de recirculación de entrada/salida.

veles (10, 15 y 30 min) de recirculación. Se contó con un tratamiento testigo (T) que fue recirculado sin los magnetizadores acoplados al sistema y un testigo absoluto (Ta) que no fue recirculado ni magnetizado y se obtuvo de un sistema de riego alterno.

Para el desarrollo del montaje experimental se preseleccionaron rizomas de *Curcuma longa* L., provenientes de la vereda El Limonar en el municipio de Dagua, Valle del Cauca, Colombia. Las unidades experimentales para todos los tratamientos consistieron en plántulas de cúrcuma que se pregerminaron en arena de río durante un mes. Se dispusieron tres réplicas para el T y el Ta y cinco réplicas para los tres tratamientos restantes, obteniendo un total de 21 unidades experimentales.

Una vez las plántulas desarrollaron una hoja verdadera, se trasplantaron en bolsas plásticas, con 15 kg de suelo proveniente de la vereda El Limonar, municipio de Dagua Valle del Cauca. En la tabla 1 se exponen los resultados de la caracterización físico-química del suelo utilizado

Para la aplicación de los tratamientos se implementó un sistema de riego localizado de alta frecuencia, que permitió la aplicación inmediata del agua después de la magnetización. Se utilizó manguera de 16 mm para conducir el agua desde el dispositivo de estimulación hasta las plantas de cúrcuma, donde se aplicó utilizando goteros con caudal medio de 2 L h<sup>-1</sup>. Se regó con una frecuencia fija de aplicación de 3 días.

La cantidad de agua aplicada resultó del cálculo de la demanda hídrica, teniendo en cuenta las condiciones climáticas de una estación cercana

del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Utilizando los *software* Climwat y Cropwat de la FAO, fue posible determinar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>r</sub>) crítica, con un valor de 3,8 mm día<sup>-1</sup>. Y posteriormente se determinó la evapotranspiración real del cultivo (ET<sub>c</sub>) de cúrcuma a partir de la ecuación 1.

$$ET_c = ET_r * K_c \quad (1)$$

Donde K<sub>c</sub> es el coeficiente del cultivo, que posee diferentes valores según la etapa fisiológica del cultivo. La demanda hídrica expresada en necesidades diarias (N<sub>d</sub>) en L día<sup>-1</sup>, resultó del cálculo según la ecuación 2.

$$N_d = \frac{ET_c * A_h}{E_a * CU} \quad (2)$$

Donde, A<sub>h</sub> es el área de humedecimiento, E<sub>a</sub> la eficiencia de aplicación y CU el coeficiente de uniformidad.

Se evaluaron las siguientes variables de respuesta: longitud de la planta (cm), número de rizomas, número de macollos, masa fresca (g) y masa seca (g). Después de 7 d de trasplante se tomaron mediciones de longitud de la planta. Las mediciones de longitud de la planta se realizaron cada 2 a 5 d, tomando en consideración la distancia entre el nivel del suelo de la matera hasta el punto de inserción de la hoja central más joven. La cosecha se llevó a cabo 109 d después de la siembra. La masa fresca se midió con la balanza analítica Ohaus Traveler (Ohaus, Parsippany, NJ), posteriormente, las plantas se trocearon y se empacaron por separado en bolsas de papel. Las bolsas se guardaron durante 7 d a una temperatura de 90°C en el horno 40GC de Quincy Lab. (Chicago, IL) garantizando así un porcentaje de hume-

**Tabla 1. Caracterización físico-química del suelo utilizado.**

Arena	Limo	Arcilla	CO	Textura	pH	CE	P	S	Fe	K	Ca	Mg	Na	Al	CICE
%						dS m <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>			cmol(+) kg <sup>-1</sup>					
40	22	38	2,4	Fr-Ar	5,2	0,12	1,3	7,2	150	0,2	3,8	3,6	0,2	0,07	7,9

dad cercano al 10%. Se registró la masa seca con la balanza analítica Ohaus Traveler.

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza a los datos obtenidos con un nivel de confianza del 95% y una vez verificada, se siguió con la comparación entre medias con el test de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) con el paquete estadístico Minitab versión 16.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Longitud de la planta

El tratamiento 156 mT-30 min presentó los mejores resultados en todas las mediciones realizadas en el periodo de evaluación. Este tratamiento superó al Ta y al T en 48,9% y 44,9%, respectivamente. Con respecto al tratamiento 156 mT-10 min y al de 156 mT-15 min, el tratamiento 156 mT-30 min los superó en 37,4% y en 38,4%, respectivamente.

El efecto de la aplicación de campo magnético al agua contribuye al aumento de la disponibilidad de nutrientes disueltos. El-Kholy *et al.* (2015) analizaron el efecto del ATM sobre un cultivo de banano Williams (*Musa sp.*) con dos niveles diferentes de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (100 y 80% de la dosis recomendada) encontrando un incremento positivo en todos los parámetros de estudio con una tendencia similar con la dosis recomendada en comparación con las plantas regadas con agua sin tratar; por su parte Hilal *et al.* (2013) encontraron que el uso de agua de riego magnetizada incrementó significativamente las concentraciones de  $K^+$  sobre el suelo en comparación al testigo, donde la mayor concentración de  $K^+$  se halló a una profundidad de 15 a 30 cm mientras que las menores concentraciones se encontraron en la superficie del suelo (0-5 cm).

La toma de nutrientes por la cúrcuma tiene el siguiente orden:  $K > N > Mg > Ca$  (Rethinam

*et al.*, 1994) y la producción promedio de rizomas secos de  $5,5 t ha^{-1}$  remueve 91 kg de N, 16,9 kg de  $P_2O_5$  y 245 kg de  $K^+$  (Sadanandan *et al.*, 1996), lo que demuestra que este cultivo consume altas cantidades de  $K^+$  para su desarrollo fisiológico. El suelo contó con niveles medios de  $K^+$  (Rojas *et al.*, 1992; Andrades y Martínez, 2014) (tabla 1), no obstante, fue con el tratamiento 156 mT-30 min con el que la planta alcanzó una mayor altura con respecto a los demás tratamientos (figura 2), esto podría indicar un aumento en la disponibilidad del  $K^+$  debido al riego con ATM, hecho que concuerda con resultados obtenidos por Mahmood y Usman (2014).

### Número de rizomas

El tratamiento que mostró la mayor diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0,05$ ) en el número de rizomas corresponde al tratamiento 156 mT-30 min que superó al Ta y al T en un 126 y 171,2%, respectivamente (tabla 2).

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

### Número de macollos

Para el número de macollos, el tratamiento 156 mT-30 min superó ( $P \leq 0,05$ ) al Ta y al T en un 90,9 y 110% respectivamente (tabla 2). Hozayn *et al.* (2011) sugirieron que el tratamiento magnético sobre agua de riego promueve la absorción de N, P y K e incrementa el número de raíces, el grosor de tallo y número de macollos, lo cual guarda concordancia con los resultados obtenidos.

Para que la cúrcuma generara un buen número de macollos, la planta debía estar sana, a este respecto, Moussa (2011) al evaluar el efecto del ATM a una intensidad de 30 mT aplicada sobre un cultivo de fríjol común (*Phaseolus vulgaris*), concluyó que esta puede mejorar la cantidad y calidad del cultivo, al estimular el sistema de defensa, la actividad fotosintética y la eficiencia de

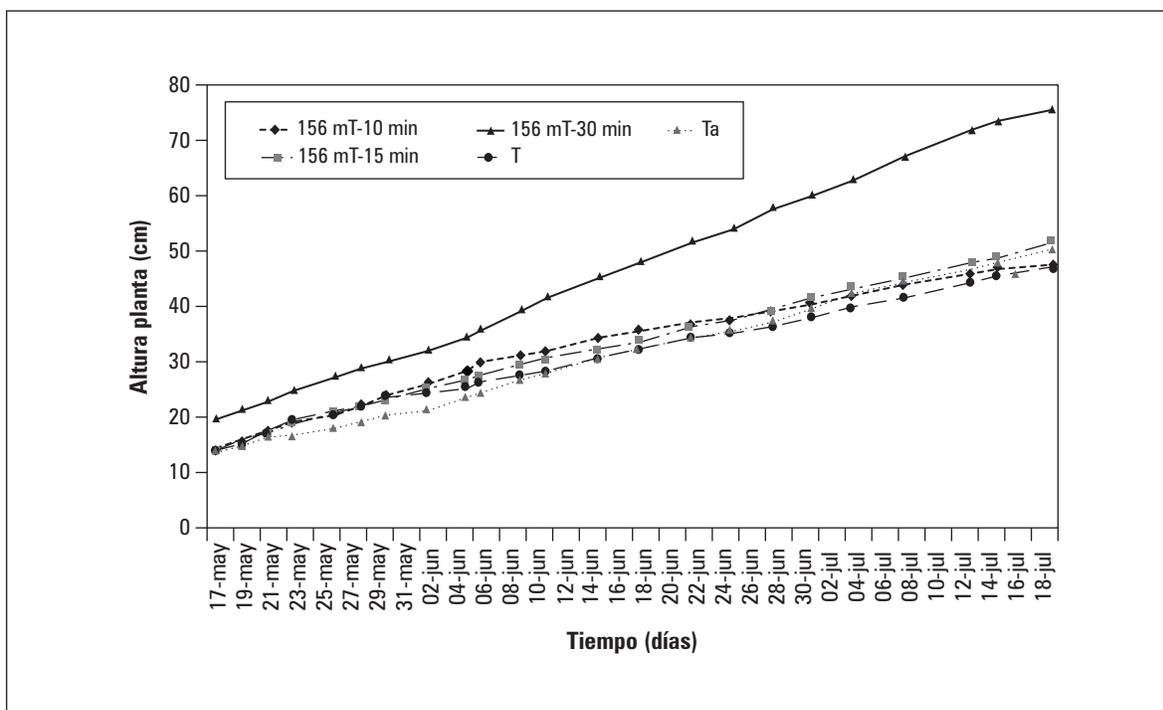


Figura 1. Altura de planta de cúrcuma vs. tiempo.

Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Niveles del tratamiento	N	Número de rizomas	Número de macollos	Masa fresca (g)	Masa seca (g)
Tiempo de exposición (min)	30	5	22,6 a	7a	984,18 a	85,64 a
	15	5	14,8 b	5 b	761,84 b	72,32 ab
	10	5	13,8 bc	4,8 b	739,5 b	72,3 ab
Ta		3	10 bc	3,6 bc	548,3 c	55,37 b
T		3	8,3 c	3,3 c	489,37 c	51,97 b

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

translocación de los fotoasimilados en la planta, dando como resultado el desarrollo de plantas de mayor tamaño y con producciones de rizomas superiores al testigo absoluto.

### Masa fresca y seca

Tanto la masa fresca como la masa seca presentaron los mejores resultados ( $P \leq 0,05$ ) con el tratamiento 156 mT-30 min. Para la masa fresca, el tratamiento con mayor diferencia significativa

superó a Ta y al T en 101,1 y 79,5%, respectivamente, mientras que para la masa seca, el tratamiento 156 mT-30 min superó en promedio a Ta y al T en 54,7 y 64,8%, respectivamente.

Una de las posibles explicaciones del efecto positivo observado en el tratamiento magnético se halla en las propiedades paramagnéticas de los átomos en las células y pigmentos de las plantas, es decir, los cloroplastos. En un campo magnético externo, los momentos magnéticos de estos

átomos se alinean con la dirección del campo. Las propiedades magnéticas de las moléculas determinan su habilidad de absorber la energía del campo magnético, para luego transformarla en otro tipo de energía y transferirla luego a otras estructuras en las células de la planta, generando así su activación. Los efectos magnéticos en plantas pueden ser explicados con la estructura de la resonancia del ciclotrón de iones y los modelos de radicales pares, dos mecanismos que también juegan un importante papel en la magnetorrecepción de otros organismos (Galland y Pazur, 2005).

## CONCLUSIONES

El mejor resultado obtenido sobre las variables de respuesta analizadas (altura de la planta, número de rizomas, número de macollos, masa fresca y masa seca) fue obtenido con ATM con una inducción magnética de 156 mT durante 30 min.

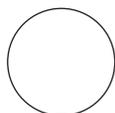
La óptima mitigación de los detrimentos que causan factores adversos al emplearse ATM abre una puerta a su uso extendido en la agricultura. En particular, el tratamiento magnético de aguas de riego es una alternativa aplicable en Colom-

bia, donde se presentan condiciones de baja calidad del agua, presencia de sales e inmovilidad de nutrientes en el suelo. Adicionalmente, esta tecnología podría optimizar el uso del agua en cultivos, ya que amortigua los efectos de una oferta hídrica limitada.

Si bien hacen falta más investigaciones a nivel local y nacional que den cabal explicación acerca de la interacción ATM-suelo-planta, el conocimiento actual permite presentar a la tecnología de ATM como una alternativa con altas potencialidades para la producción agrícola.

## AGRADECIMIENTOS

La presente investigación fue desarrollada con recursos provenientes del Sistema General de Regalías en el marco del proyecto “Desarrollo de un Sistema Agroindustrial Rural Competitivo en una Bioregión del Valle del Cauca” a cargo del Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales y de la Tierra ILAMA, adscrito a la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad del Valle, sede Meléndez, Cali, Colombia.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou El-Yazied, A., A.M. El-Gizawy, S.M. Khalf, A. El-Satar y O.A. Shalaby. 2012. Effect of magnetic field treatments for seeds and irrigation water as well as N, P and K levels on productivity of tomato plants. *J. Appl. Sci. Res.* 8(4), 2088-2099.
- Aladjajyan, A. 2010. Influence of stationary magnetic field on lentil seeds. *Int. Agrophys.* 24(3), 321-324.
- Alikamanoglu, S. y A. Sen. 2011. Stimulation of growth and some biochemical parameters by magnetic field in wheat (*Triticum aestivum* L.) tissue cultures. *Afr. J. Biotechnol.* 10(53), 10957-10963. Doi: 10.5897/AJB11.1479
- Al-Khazan, M., M.B. Abdullatif y N. Al-Assaf. 2011. Effects of magnetically treated water on water status, chlorophyll pigments and some elements content of Jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) at different growth stages. *Afr. J. Environ. Sci. Tech.* 5(9), 722-731. Doi: 10.5897/AJEST11.117
- Andrades, M. y M.E. Martínez. 2014. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. 3ª ed. Servicio de Publicaciones, Universidad de la Rioja, La Rioja, España.
- Bhardwaj, J., A. Anand y S. Nagarajan. 2012. Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds.

- Plant Physiol. Biochem. 57, 67-73. Doi: 10.1016/j.plaphy.2012.05.008
- CONPES. 2009. Documento CONPES 3577. Política nacional para la racionalización del componente de costos de producción asociado a los fertilizantes en el sector agropecuario. En: Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), <http://www.andi.com.co/es/PC/SobProANDI/Documentos%20Sobre%20Procultivos%20ANDI/Conpes%20-%20Fertilizantes-3577-18-%20Marzo-2009.pdf>; consulta: Abril de 2016.
- De Souza, A., D. García, L. Sueiro, L. Licea y E. Porras. 2005. Pre-sowing magnetic treatment of tomato seeds: effects on the growth and yield of plants cultivated late in the season. Span. J. Agric. Res. 3(1), 113-122. Doi: 10.5424/sjar/2005031-131
- De Souza, A., D. García, L. Sueiro, F. Gilart, L. Licea y E. Porras. 2006. Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. Bioelectromagnetics 27(4), 247-257. Doi: 10.1002/bem.20206
- Domínguez-Pacheco, A., C. Hernández-Aguilar, A. Cruz-Orea, A. Carballo-Carballo, R. Zepeda-Bautista y E. Martínez-Ortíz. 2010. Semilla de maíz bajo la influencia de irradiación de campos electromagnéticos. Rev. Fitotecn. Mex. 33(2), 183-188.
- El-Kholy, M.F., S. Samia y A.A. Farag. 2015. Effect of magnetic water and different levels of NPK on growth, yield and fruit quality of Williams banana plant. Nat. Sci. 13(7), 94-101.
- Flórez, M., M.V. Carbonell y E. Martínez. 2007. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. Environ. Exp. Bot. 59(1), 68-75. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2005.10.006
- Galland, P. y A. Pazur. 2005. Magnetoreception in plants. J. Plant Res. 118(6), 371-389. Doi: 10.1007/s10265-005-0246-y
- Hilal, M.H., Y.M. El-Fakhrani, S.S. Mabrouk, A.I. Mohamed y B.M. Ebead. 2013. Effect of magnetic treated irrigation water on salt removal from a sandy soil and on the availability of certain nutrients. Int. J. Eng. Appl. Sci. 2(2), 36-44.
- Hozayn, M., A.A. Abd El Monem, A.M.S. Abdul Qados y E.M. Abd El-Hameid. 2011. Response of some food crops to irrigation with magnetized water under greenhouse condition. Aust. J. Basic Appl. Sci. 5(12), 29-36.
- Hozayn, M., A.A. Abd El Monem, R.E. Abdelraouf y M. Abdalla. 2013. Do magnetic water affect water efficiency, quality and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plant under arid regions conditions? J. Agron. 12(1), 1-10. Doi: 10.3923/ja.2013.1.10
- Khoshravesh, M., B. Mostafazadeh-Fard, S.F. Mousavi y A.R. Kiani. 2011. Effects of magnetized water on the distribution pattern of soil water with respect to time in trickle irrigation. Soil Use Manage. 27(4), 515-522. Doi: 10.1111/j.1475-2743.2011.00358.x
- Kotschi, J. 2015. A soiled reputation. Adverse impacts of mineral fertilizers in tropical agriculture. Heinrich Böll Foundation Publisher, Berlin.
- Maheshwari, B.L. y H.S. Grewal. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. Agr. Water Manage. 96(8), 1229-1236. Doi:10.1016/j.agwat.2009.03.016
- Mahmood, S. y M. Usman. 2014. Consequences of magnetized water application on Maize seed emergence in sand culture. J. Agr. Sci. Tech. 16, 47-55.
- Marei, A., D. Rdaydeh, D. Karajeh y N. Abu-Khalaf. 2014. Effect of using magnetic brackish water on irrigated bell pepper crop (*Capsicum annum* L.) characteristics in Lower Jordan Valley/West Bank. J. Agr. Sci. Tech. 4, 830-838. Doi: 10.17265/2161-6256/2014.10.005
- Moussa, H.R. 2011. The impact of magnetic water application for improving common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production. New York Sci. J. 4(6), 15-20.
- Pérez, J.P. 2014. Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Departamento de Biociencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Racuciu, M., D. Creanga e I. Horga. 2008. Plant growth under static magnetic field influence. Roman. J. Phys. 53(1-2), 353-359.
- Radhakrishnan, R. y B.D.R. Kumari. 2012. Pulsed magnetic field: A contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean. Plant Physiol. Bioch. 51, 139-144. Doi: 10.1016/j.plaphy.2011.10.017
- Rethinam, P., K. Sivaraman y P.K. Sushama. 1994. Nutrition of turmeric. pp. 477-489. En: Advances in Horticulture. Vol. 9. Plantation and spice crops. Part 1 Malhotra Publishing House, New Delhi, India.
- Rochalska, M., K. Grabowska y A. Ziarnik. 2008. Impact of low frequency magnetic fields on yield and quality of sugar beet. Int. Agrophysics 23(2): 163-174.

- Rojas A., M. Ramírez, R. Lora, E. Amézquita y L. Sánchez. 1992. Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación. ICA, Ed. Produmedios, Mosquera, Colombia.
- Sadanandan, A.K. y S. Hamza. 1996. Response of four turmeric (*Curcuma longa* L.) varieties to nutrients in an oxisol on yield and curcumin content. J. Plantation Crops 24 (Suppl.) 120-125.
- Vashisth, A. y S. Nagarajan. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. J. Plant Physiol. 167(2), 149-156. Doi: 10.1016/j.jplph.2009.08.011
- Vasilevski, G. 2003. Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. Bulg. J. Plant Physiol. 29, 179-186.

## 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), y de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) con frecuencia semestral 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 A<sub>2</sub>:

- *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: gersfischer@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 (--- ó —), 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*. 4<sup>th</sup> ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA.
- **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*. 3<sup>rd</sup> 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 (numero), 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). Institucion educativa, ciudad, país si la ciudad no es capital. Ejemplo: Hernández, M. 2001. Conservacion del fruto de araza (*Eugenia stipitata* McVaugh) durante la poscosecha mediante de aplicacion de diferentes tecnicas. Tesis de doctorado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

## 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,  $\text{kg ha}^{-1}$ ). 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  $20 \text{ g L}^{-1}$ , y *no*  $20 \text{ g P L}^{-1}$  ni  $20 \text{ g P/L}$ .
  - o El rendimiento en peso seco fue de  $5 \text{ g día}^{-1}$ , y no  $5 \text{ g}$  de peso seco  $\text{día}^{-1}$ .
  - o Se aplicaron  $25 \text{ g ha}^{-1}$  del ingrediente activo, y no  $25 \text{ g i.a./ha}$ .
  - o Cada planta recibió  $20 \text{ g ha}^{-1}$  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:  $10^\circ\text{C/h}$  o  $10 \text{ L/matera}$ ). 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,  $1 \text{ kg}$  y  $25 \text{ kg}$ ). Deje un espacio entre el valor numérico y el símbolo (por ejemplo,  $35 \text{ g}$  y no  $35\text{g}$ ). En una serie de medidas ponga la unidad al final así: entre  $14$  y  $20^\circ\text{C}$  ó hileras a  $3$ ,  $6$  y  $9 \text{ m}$ , pero  $14\%$ ,  $16\%$  y  $18\%$ .

El estilo admitido en *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* para algunas unidades de medida se indica en la tabla de abreviaturas y símbolos (ver ASHS Publications Style Manual, [http://www.ashs.org/downloads/style\\_manual.pdf](http://www.ashs.org/downloads/style_manual.pdf); consulta: junio de 2011 o *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4(1), 2010, pp. 181-184 ).

## EDITORIAL POLICY

The *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* (Colombian Journal of Horticultural Science) is the official scientific journal of the Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas (SCCH) (Colombian Society for Horticultural Science; country member of ISHS), and the Faculty of Agricultural Sciences of the Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), and is published biannually 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](mailto:gerfischer@gmail.com) (editor Gerhard Fischer).

### Languages, units, and style

The official languages of the Journal are Spanish, English and Portuguese. In the case of English manuscripts, British or American English spelling and terminology may be used, but either should be consistently used throughout the article. The metric system (SI) should be consistently utilized throughout the manuscript. All abbreviations should be explained when they first appear in the manuscript. The style of writing should be impersonal, in the past tense for the introduction, procedures and results.

### Title and authors

The title should be accompanied by the English translation if the article's text is in Spanish or Portuguese and vice-versa. The scientific name of plants and animals should be italicized and written in Latin with the generic name starting with a capitalized letter and including the descriptor's name. Under the titles, the authors' names (first and last names) should be listed in the order in which they contributed to the investigation and preparation of the manuscript. On the bottom of the first page (footnote) of the article, the current

affiliations and addresses (including city, state, and institutions) of each author and the corresponding author with his/her e-mail should appear.

### **Abstract, “resumen”, and additional keywords**

The abstract should briefly describe the problem, the methods used, the justification and the relevant results obtained; and should not exceed 250 words written in a single paragraph. The “resumen” should be written in Spanish (or Portuguese) and the “abstract” should include an English translation. It’s obligatory to accompany the abstract with a maximum of six keywords, which have not been used in the title. Equally, when translated into English, the additional keywords may not appear in the English-version of the title.

### **Introduction**

The text should contain the current situation of the problem, its definition and review of the studied area, the objectives and justification for the research. Common names of plants and animals must be accompanied with the corresponding scientific ones, plus the abbreviation of the species author surname when mentioned for the first time.

### **Materials and methods**

Besides a clear, precise and sequential description of the materials used for the research (plant or animal materials, agricultural or laboratory tools), this section illustrates the procedures and protocols followed, and the experimental design chosen for the statistical analysis of the data.

### **Results and discussion**

The results shall be presented in a logical, objective, and sequential order, using text, tables and figures. The latter two should be easily understandable and self-explanatory, regardless of a thorough explanation in the text. The graphics should be two-dimensional and prepared in black and white, using varying tones to illustrate variations between columns. Diagram curves must be prepared in black, dashed or continuous lines (- - - or \_\_\_\_\_), using the following conventions: ■, □, ◆, 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. 4<sup>th</sup> ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA.
- **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, Bogotá.

### International unit system (SI) or metric unit system

The *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* requires the use of SI units (Système international d'unités).

The numbers of multiplication and the negative numbers of the superscripts should be used only in conjunction with SI units (for example, kg ha<sup>-1</sup>). Do not place non-SI units in SI units, because the units are mathematical expressions. Reorganize the phrase respectively, for example:

P at 20 g L<sup>-1</sup>, but not 20 g P L<sup>-1</sup>, nor 20 g P/L.

The yield measured in dry mass was 10 g d<sup>-1</sup>, but not 10 g of dry mass d<sup>-1</sup>.

The active ingredient was applied at 25 g ha<sup>-1</sup>, but not 25 g a.i./ha.

Each plant received water at 30 g ha<sup>-1</sup>, but not irrigation was applied at 30 g H<sub>2</sub>O/ha per plant.

The slant line (/) is a symbol of mathematic operation that means "division"; in science, it may be substituted by the word "per" in the meaning of "per each" and indicates rates or degrees. Use the slant line to connect SI units with non-SI units (for example: 10°C/h or 10 L/plant). Never use the raised period and slant line in the same expression. If you mix SI and non-SI units, use the slant line first and then the word "per" in the second terminus. Never use two or more slashes (/) or the word "per" more than once

in the same phrase to avoid redundancy, for example: irrigation/day per plant should be changed to: each plant was irrigated two times per day. For the totally verbal units, use one slash, such as: three flowers/plant or 10 fruits/branch.

To cite units based on names, use lowercase, such as: “one siemens represents...”. However, Celsius units should be written with the first letter capitalized.

Use the same abbreviation or symbol for the singular and plural forms of a unit (for example, 1 kg and 25 kg). Leave a blank space between the numerical value and the symbol (for example, 35 g, but not 35g), except for a percentage or °C, such as: between 14 and 20°C or growth up to 3, 6, and 9 m, but 14%, 16%, and 18%).

The style adopted by the *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* for some units of measurements refers to the table of abbreviations and symbols of ASHS Publications Style Manual, [http://www.ashs.org/downloads/style\\_manual.pdf](http://www.ashs.org/downloads/style_manual.pdf), accessed June 2011 or can be consulted in *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4(1), 2010, pp. 181-184.

## POLÍTICA EDITORIAL

A *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* é o órgão científico oficial da *Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas – SCCH* (adscrita à *International Society for Horticultural Science – ISHS*), e da Faculdade de Ciências Agrárias da *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)*. Trata-se de uma publicação semestral 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](mailto: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*. 4<sup>th</sup> ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA.
- **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*. 3<sup>rd</sup> 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.

## Sistema Internacional de Unidades (SI) ou sistema métrico

A *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* requer a utilização das unidades do SI.

- Os números sobrescritos negativos só podem ser utilizados com unidades do SI (por exemplo, kg ha<sup>-1</sup>). Não interrompa a notação das unidades do SI com palavras ou símbolos que não lhe pertencem, já que ela consiste mesmo em expressões matemáticas. Quando for necessário, deve-se reordenar a expressão de forma adequada, por exemplo assim:

P a 20 g L<sup>-1</sup>, em lugar de 20 g de P L<sup>-1</sup>, ou de 20 g de P/L.

O rendimento em peso seco foi de 5 g dia<sup>-1</sup>, em lugar de 5 g de peso seco dia<sup>-1</sup>.

Aplicaram-se 25 g ha<sup>-1</sup> de ingrediente ativo, em lugar de 25 g i.a./ha.

Cada planta recebeu 20 g ha<sup>-1</sup> de água, em lugar de 20 g H<sub>2</sub>O/ha por planta.

- A barra (/) é um símbolo que, em matemática, significa “dividido por”; em ciência é usada como um substituto da preposição “com” no sentido de “para cada” e é usado para mostrar taxas ou proporções. Utilize a barra para ligar unidades do SI com aquelas que não pertencem a este sistema (por exemplo, 10°C/h ou 10 l/vaso). Nunca use números negativos sobrescritos e a barra na mesma expressão. Se as unidades SI estiverem juntas na mesma expressão com unidades que não são do SI, use primeiro a barra e, em seguida, a palavra “por”. Nunca use a barra (/) ou a palavra “por” mais de uma vez na mesma frase, já que eles são termos equivalentes; por exemplo, ao expressar *escovadas/dia por planta*, convém re-escrever a frase: *cada planta foi escovada duas vezes por dia*. Para unidades totalmente verbais, use uma barra, como em três flores/planta ou 10 frutos/galho.
- Para citar unidades baseadas em nomes, use minúscula, como em: “um siemens representa...”. No entanto, os graus Celsius (°C) e graus Brix (°Brix) devem ser capitulados.
- Use a mesma abreviatura ou símbolo para as formas em singular ou plural de uma determinada unidade (por exemplo, 1 kg e 25 kg). Deixe um espaço entre o valor numérico e o símbolo (por exemplo, 35 g e não 35g). Numa série de medidas expressadas com a mesma variável, coloque esta ao final, como em: *entre 14 e 20°C ou linhas a 3, 6 e 9 m*; porém, no caso das percentagens, escreva *14%, 16% e 18%*.

O estilo admitido pela *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* para algumas unidades de medida está indicado na tabela de abreviaturas e símbolos (ver *ASHS Publications Style Manual*, [http://www.ashs.org/downloads/style\\_manual.pdf](http://www.ashs.org/downloads/style_manual.pdf), acessado em junho 2011; ou *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4(1), 2010, pp. 181-184).



## SUSCRIPCIÓN

### Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas

Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad Nacional de Colombia

A.A. 14490, Bogotá-Colombia

Fax: 571 - 316 5000 ext. 19041

soccolhort@gmail.com, gerfischer@gmail.com



---

*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 2016** (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*

---

## Editorial

7

### Sección de frutales

#### *Spondias tuberosa* trees grown in tropical, wet environments are more susceptible to drought than those grown in arid environments

Árboles de *Spondias tuberosa* que crecen en ambientes húmedos de las zonas tropicales son más susceptibles a la sequía que los cultivados en ambientes áridos

Werner Camargos Antunes, Keila Rêgo Mendes, Agnaldo Rodrigues de Melo Chaves, Jean Pierre Ometto, Alfredo Jarma-Orozco y Marcelo Francisco Pompelli

#### Índices de crecimiento en plantas de mora (*Rubus alpinus* Macfad) bajo diferentes sistemas de poda

Growth rates in blackberry (*Rubus alpinus* Macfad) plants under different pruning systems

Brigitte Liliana Moreno-Medina, Fánor Casierra-Posada y Michael Blanke

#### Efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B sobre la acumulación y distribución de la masa seca en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.) var. ICA Palmira II en fase de vivero

Effect of N, P, K, Mg, Ca and B deficiencies on the accumulation and distribution of dry mass in guava plants (*Psidium guajava* L.) var. Palmira ICA II in the nursery phase

Sindy Lorena Dussán, Daniel Andrés Villegas y Diego Miranda

#### Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) en respuesta al sombrío y anegamiento

Biomass and root development response of lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) plants to shading and waterlogging

William Andrés Cardona, Luis Gabriel Bautista-Montealegre, Nixon Flórez-Velasco y Gerhard Fischer

### Sección de hortalizas

#### Efecto de ácidos hidroxycarboxílicos en la biorregulación del estrés causado por herbicidas en el cultivo de tomate

Effect of hydroxy-carboxylic acids on the bio-regulation of stress caused by herbicides in tomato crops

Jorge A. Rodríguez y Guido Plaza

#### Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (*Ipomoea batatas* Lam.)

Blanching treatment effect on the enzymatic activity of polyphenoloxidase in two varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.)

Guillermo Arrázola-Paternina, Armando Alvis-Bermúdez y Carlos García-Mogollón

#### Efecto de la densidad poblacional sobre el rendimiento de ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir.) tipo exportación

Effect of population density on the yield of export-type white yams (*Dioscorea rotundata* Poir.)

Dairo Javier Pérez P. y Rodrigo Orlando Campo A.

#### Efecto de la labranza en la estabilidad estructural y resistencia a la penetración en un Inceptisol sembrado con arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en Boyacá

Effect of tillage on the structural stability and resistance to penetration of a Inceptisol planted with arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) in Boyaca

Yomaira Liney Pinto-Acero, Javier Giovanni Álvarez-Herrera y Fabio Emilio Forero-Ulloa

### Sección de plantas aromáticas

#### Effect of greenhouse heights on the production of aromatic herbs in Colombia. Part 1: Chives (*Allium schoenoprasum*)

Efecto de la altura del invernadero en la producción de hierbas aromáticas en Colombia. Parte 1: Cebollín (*Allium schoenoprasum* L.)

Nelson Bustamante, John Fabio Acuña y Diego Valera

113

### Sección de otras especies

#### Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero

Evaluation of container types on the root growth of coffee (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) in the nursery stage

Arlette Ivonne Gil C. y Luis Javier Díaz M.

125

### Artículo de revisión

#### El estrés por boro afecta la fotosíntesis y el metabolismo de pigmentos en plantas. Una revisión

Boron stress affects photosynthesis and metabolism of plant pigments.

A review

Darwin L. Moreno-Echeverry, Ivonne A. Quiroga, Helber Enrique Balaguera-López y Stanislav Magnitskiy

137

#### Los análisis de balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica

Agricultural water balances in agroclimatic simulation models.

An analytical review

José Alejandro Cleves L., Javier Toro C. y Liven Fernando Martínez B.

149

### Artículo de reflexión

#### Certificación de material vegetal sano en Colombia: un análisis crítico de oportunidades y retos para controlar enfermedades ocasionadas por virus

Certification of healthy plant material in Colombia: A critical analysis of opportunities and challenges to control virus diseases

Marlon H. Rodríguez, Nancy E. Niño, Joseph Cutler, Juliane Langer, Fánor Casierra-Posada, Diego Miranda, Martina Bandte y Carmen Büttner

164

### Nota científica

#### Efecto del agua magnetizada en el desarrollo y la producción de cúrcuma (*Curcuma longa* L.)

Effect of magnetically treated water on the growth and production of curcuma (*Curcuma longa* L.)

Orlando Zúñiga Escobar, Jhony Armando Benavides, Cristian Orlando Jiménez, Mauricio Alejandro Gutiérrez y Celina Torres

176

### Política editorial | Instrucciones para los autores

186

### Editorial policy | Instructions to authors

190

### Política editorial | Instruções aos autores

195

### Suscripción

201

