

REVISTA

TEMAS AGRARIOS

ISSNe: 2389-9182



"VIGILADA MINEDUCACIÓN"

Volumen 26 No. 2 Julio - Diciembre 2021



Facultad de Ciencias Agrícolas - Universidad de Córdoba

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

REVISTA TEMAS AGRARIOS

JOURNAL TEMAS AGRARIOS

JAIRO MIGUEL TORRES OVIEDO	Ph.D.	RECTOR
OSCAR ARIZMENDI MARTÍNEZ	Esp.	VICERRECTOR ACADÉMICO
NICOLAS MARTÍNEZ HÚMANEZ	Ph.D.	VICE. DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
RODRIGO ORLANDO CAMPO ARANA	Ph.D.	EDITOR

APOYO EDITORIAL – EDITORIAL ASSISTANT

ISIDRO ELIAS SUAREZ PADRÓN	Ph.D	Traductor
HERMES ARAMENDIZ TATIS	Ph.D.	Apoyo editorial
OMAR CASTILLO NÚÑEZ	Ph.D.	Apoyo editorial
ROBERTO CABRALES	M.Sc.	Decano
CLAUDIA LÓPEZ DÍAZ	M.Sc.	Asistente editorial
JOSÉ VILLALBA ARTEAGA	M.Sc.	Asistente editorial
ANA ESPINOSA LÓPEZ	Lic.	Asistente editorial

COMITÉ EDITORIAL - EDITORIAL COMMITTEE

Marcelo Francisco Pompelli	Ph.D.	Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE - Brasil
Jairo Castaño Zapata	Ph.D.	Universidad de Caldas, Manizales, Colombia
Ramón Jaimez Arellano	Ph.D.	Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela
Wilmer Tezara Fernández	Ph.D.	Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela
Reginaldo de Carvalho	Ph.D.	Universidad Federal Rural de Pernambuco Recife, PE - Brasil

COMITÉ CIENTÍFICO - SCIENTIFIC COMMITTEE

Juan L. Silva	Ph. D.	Mississippi State University. Starkville, USA
Nelio José Andrade	Ph. D.	Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil
Olman Murillo Gamboa	Ph. D.	TEC. Cartago, Costa Rica
Franco Alirio Vallejo	Ph. D.	Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Colombia
Alfredo Jarma Orozco	Ph. D.	Universidad de Córdoba, Montería, Colombia

©**TEMAS AGRARIOS**

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
ISSN 0122-7610 e ISSNe 2389-9182

Periodicidad y fecha de publicación:	Semestral, Julio de 2021
Admitida en las Bases Bibliográficas:	Emerging Sources Citation Index, REDIB, Ulrichs Web, MIAR, Latindex, DOAJ, AGORA, PERIODICA, Clarivate Analytics, CABI, Crossref, EBSCO, BIBLAT, Agris-FAO, AmeliCA, EBSCO Discovery Service, Dialnet, Index Copernicus, Google Académico, Sherpa y Romero.
Portada:	Cultivo de Mango Tommy, Profesor Carlos Cardona, FCA.
Dirección:	Carrera 6 No. 77 - 305 Montería - Colombia
Dirección electrónica:	revistatemasagrarios@correo.unicordoba.edu.co
Página Web:	https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios
Forma de adquisición:	Canje, suscripción, acceso abierto
Formato:	215,9 mm x 279,4 mm
Reproducción e impresos:	Se autoriza la fotocopia de artículos para fines de uso académico o interno de las instituciones, citando la fuente. Para impresos dirija la solicitud a Revista Temas Agrarios , Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Apartado aéreo No 354
Diseño y Diagramación:	Ana Espinosa López, Claudia López Díaz, José Villalba Arteaga. Equipo Editorial revista Temas Agrarios. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba. revistatemasagrarios@correo.unicordoba.edu.co
Versión Digital.	

La Revista Temas Agrarios tiene como objetivo divulgar resultados de investigaciones en materia de ciencia, tecnología e innovación en las áreas agrícolas y agroalimentaria. Estos deben ser inéditos en producción de cultivos, poscosecha, agroindustria, sanidad vegetal, fisiología de cultivos, fitomejoramiento y recursos genéticos, suelos agua y mecanización, economía agrícola, mercadeo de productos agrícolas, ambiental y ciencia y tecnología de alimentos. Con una periodicidad semestral.

The Agrarian Issues journal aims to disseminate results of research in science, technology and innovation in agricultural and agri-food areas. These must be unpublished in crop production, post-harvest, agroindustry, plant health, crop physiology, plant breeding and genetic resources, water and mechanization soils, agricultural economics, marketing of agricultural products, environmental and food science and technology. With a biannual periodicity.

Indexada en / Indexed in:



Conocimiento Abierto sin fines de lucro propiedad de la academia



Financiada por/ Sponsored by:
Universidad de Córdoba

REVISTA **TEMAS AGRARIOS**

Volumen 26 (2) Julio-Diciembre 2021

CONTENIDO

Editorial: Temas Agrarios y la publicación continua..... 115

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Extracción de nutrientes del mango cv. Tommy Atkins en suelos Entisoles e Inceptisoles del departamento del Tolima, Colombia.

Yacomelo Hernández Marlon José, Abaunza González Carlos Alberto, Polanco Diaz Eliseo, Arenas-Rubio Isueh, Correa Álvarez Ender Manuel, Jaramillo Bonilla Sair..... 117

Crecimiento foliar y comportamiento diario de la fotosíntesis en plantas de fique cv Ceniza (*Furcraea cabuya* Trelease).

Cadena-Torres Jorge, Barragan Quijano Eduardo, Romero Ferrer Jorge Luis, Mercado Kelly..... 129

Efecto de diferentes tipos de fertilizantes en el crecimiento del maíz criollo, Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquia.

Cardona Restrepo Karen Tatiana, Escobar Posada Esteban Augusto, Ramírez Franco Liliana Andrea, Rivera Hernández Juan Felipe..... 140

Sensoramiento remoto del rendimiento agrícola en caña de azúcar en Cacocum, Cuba.

García Reyes Roberto Alejandro, Villazón Gómez Juan Alejandro, Rodríguez Rubio Alberto Willian... 152

Variaciones morfométricas de semillas y alternativas físico-químicas en la germinación de tamarindo (*Tamarindus indica* L.).

Hernández Murillo Jenry Rafael, Iguaran Díaz Camilo, Aramendiz Tatis Hermes, Espitia Camacho Miguel, Cardona Ayala Carlos..... 160

Caracterización del sistema productivo de cítricos, con énfasis en la enfermedad huanglongbing, en Ponedera, Atlántico.

Gómez-Correa Juan C, Robledo-Buriticá Jacobo, Parra-Fuentes Madeleyne, Brochero-Bustamante Carlos E, Guzmán-Sánchez Luisa F, Pérez-Artiles Lumey..... 170

Eficiencia de dos consorcios bacterianos para el control de *Spongospora subterranea* f sp. subterranea en cultivos de papa *Solanum tuberosum* var. andígena.

Ortiz Muñoz Yoldi Dalila, Rodríguez Rodríguez Luis Francisco..... 182

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Biotecnología en caña de flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.). Una planta de interés cultural.

Suarez-Padrón Isidro E, López-Díaz Claudia M..... 190

Instrucciones para los autores..... 203

JOURNAL TEMAS AGRARIOS

Volume 26 (2) July - December 2021

CONTENTS

Editorial: Temas Agrarios and continuous publication..... 115

ARTICLES ORIGINAL

Nutrient extraction from mango cv. Tommy Atkins in Entisols and Inceptisols soils of the department of Tolima, Colombia.
Yacomelo Hernández Marlon José, Abaunza González Carlos Alberto, Polanco Diaz Eliseo, Arenas-Rubio Isueh, Correa Álvarez Ender Manuel, Jaramillo Bonilla Sair..... 117

Foliar growth and daily behavior of net photosynthesis in fique plants cv Ceniza (*Furcraea cabuya* Trelease).
Cadena-Torres Jorge, Barragan Quijano Eduardo, Romero Ferrer Jorge Luis, Mercado Kelly..... 129

Effect of different types of fertilizers on the growth of Creole corn, Capachi morado, in the municipality of Andes, Antioquia.
Cardona Restrepo Karen Tatiana, Escobar Posada Esteban Augusto, Ramírez Franco Liliana Andrea, Rivera Hernández Juan Felipe..... 140

Remote sensing of crop yield sugarcane in Cacocum, Cuba.
García Reyes Roberto Alejandro, Villazón Gómez Juan Alejandro, Rodríguez Rubio Alberto Willian... 152

Morphometric variations of seeds and physical- chemical alternatives in the germination of tamarind (*Tamarindus indica* L.).
Hernández Murillo Jenry Rafael, Iguaran Díaz Camilo, Aramendiz Tatis Hermes, Espitia Camacho Miguel, Cardona Ayala Carlos..... 160

Characterization of the citrus production system, with emphasis on Huanglongbing disease, in Ponedera, Atlántico.
Gómez-Correa Juan C, Robledo-Buriticá Jacobo, Parra-Fuentes Madeleyne, Brochero-Bustamante Carlos E, Guzmán-Sánchez Luisa F, Pérez-Artiles Lumey..... 170

Efficiency of two bacterial consortia for the control of *Spongospora subterranea* f sp. *subterranea* in potato crops *Solanum tuberosum* var. *andigena*.
Ortiz Muñoz Yoldi Dalila, Rodríguez Rodríguez Luis Francisco..... 182

ARTICLE REVIEW

Biotechnology on arrow cane (*Gynerium sagittatum* Aubl.). A plant of cultural interest.
Suarez-Padrón Isidro E, López-Díaz Claudia M..... 190

Instructions for authors..... 208

Editorial

Temas Agrarios y la publicación continua

Las revistas científicas colombianas vienen siendo clasificadas nacionalmente, de acuerdo a los criterios formulados por el Índice Bibliográfico PUBLINDEX; es así como en la convocatoria No. 768 de 2016, de 583 revistas nacionales que se inscribieron, solamente fueron clasificadas 246 (42,2%). Las revistas no clasificadas, 57,8 %, entre las cuales se encuentra Temas Agrarios, han tenido que hacer grandes esfuerzos para subsistir pues la no categorización nacional ha conducido a que los investigadores nacionales prefieran las revistas indexadas para difundir sus investigaciones.

El comité editorial de Temas Agrarios, desde el 2016, viene haciendo ajustes para cumplir con la indexación nacional sin lograrlo aun; sin embargo, ha continuado con su plan de mejoramiento y se ha indexado en varias bases a nivel internacional como DOAJ, DIALNET, CLARIVATE, CABI, REDIB, EBSCO, CROSSREF, MIAR. Esto ha permitido que investigadores extranjeros envíen sus artículos científicos a Temas Agrarios. Otro cambio importante fue pasar de formato en papel a revista electrónica, dándole agilidad en la difusión sus publicaciones dentro de la política de acceso abierto “Open Access”.

En el formato electrónico, usando la plataforma OJS, se continuó con la misma estrategia del formato impreso, como es la de la publicación del número una vez se haya cumplido con el número de artículos aprobados por los pares evaluadores y aprobados por el comité editorial. Esto ha ocasionado retrasos en la publicación de los artículos, por lo que, a partir del próximo volumen, se introduce un nuevo cambio editorial pasando a la publicación continua. Esta consiste en subir uno a uno los artículos en la página web de la revista, una vez hayan cumplido con las aprobaciones de los pares evaluadores, correcciones por parte de los autores, y aprobación por el comité editorial.

La publicación continua permitirá difundir rápidamente los artículos aprobados, los cuales pueden ser corregidos, si así lo amerita, antes de que se cierre la publicación definitiva del número. Esto beneficiará a los autores, pues los artículos estarán disponibles en la página web de la revista y podrán ser citados, dándole rápidamente impacto al artículo y a la revista. La rápida visibilidad permitirá evitar la pérdida de vigencia del artículo, pues puede ocurrir que otros investigadores publiquen resultados similares a su trabajo, perdiendo así la exclusividad.

En este número, se publican ocho artículos, cinco en Fisiología y Producción, uno en Sanidad Vegetal, uno en Biotecnología y uno en Socioeconómicas. En Fisiología Vegetal y producción se publican artículos de especies tropicales, dos de ellos se refieren a la medición de variables de crecimiento de cultivos nativos de maíz y fique, en el departamento de Antioquía. En mango *Tommy Atkins* se examina la determinación de la capacidad extractora de nutrientes en diferentes tipos de suelo del departamento del Tolima; otra especie es la caña de azúcar con un modelo de estimativas de la producción empleando sensoramiento remoto. Finalmente, un artículo plantea

varias estrategias amigables con el ambiente para acelerar la germinación y desarrollo de plántulas de tamarindo.

En Sanidad Vegetal se publica un artículo que se refiere al manejo de la sarna polvosa de la papa, empleando control biológico con cepas de *Bacillus* spp. aportando resultados promisorios al reducir la enfermedad en un 19%. En el área de la Biotecnología se presenta una revisión en la cual se destacan resultados de investigación alrededor de la multiplicación y conservación de germoplasma de la caña flecha, empleando la biotecnología, concluyendo sobre la eficiencia de estos métodos para la conservación del germoplasma y para la propagación masiva de cualquier variedad de esta especie.

En Socio económicas se presenta una interesante investigación referente a la caracterización de los productores de cítricos del municipio Ponedera, Atlántico, relacionándolos con el riesgo de sus cultivos de ser afectados con la enfermedad HLB, enfermedad limitante de la producción que ha presentado pérdidas en dicha región hasta del 50%.

Temas Agrarios agradece a los autores que confiaron en esta revista, para que sus investigaciones sean difundidas; así como a los evaluadores, que participaron con sus aportes en los ajustes y correcciones de los artículos.

Rodrigo Orlando Campo Arana
Editor, Ingeniero Agrónomo; M.Sc; Ph. D.

Extracción de nutrientes del mango cv. Tommy Atkins en suelos Entisoles e Inceptisoles del departamento del Tolima, Colombia.

Nutrient extraction from mango cv. Tommy Atkins in Entisols and Inceptisols soils of the department of Tolima, Colombia.

Marlon José Yacomelo Hernández^{1*} ; Carlos Alberto Abaunza González² ; Eliseo Polanco Díaz² 
Isueh Arenas-Rubio¹ ; Ender Manuel Correa Álvarez¹ ; Sair Jaramillo Bonilla² 

Recibido para publicación: agosto 23 de 2021 - Aceptado para publicación: octubre 11 de 2021

RESUMEN

El mango cv. Tommy Atkins es cultivado en el departamento del Tolima, principalmente, lugar donde expresa su mejor comportamiento agronómico y calidad de la fruta. El objetivo fue evaluar el estado nutricional de las plantas y cuantificar la extracción de nutrientes por la fruta de mango Tommy Atkins en función del orden de suelo donde se cultiva. Las concentraciones de cada nutriente variaron entre fases muestreadas y de órgano (hojas, flor y fruto) en función del orden del suelo donde es cultivado (Entisol e Inceptisol). La mayor extracción por cada mil kilogramos cosechado de fruta fue de potasio (K) seguido de nitrógeno (N) en los seis muestreos evaluados independientemente del orden de suelo (K, Entisol, E2=2,39 kg t⁻¹, E3=2,07 kg t⁻¹ y E4=2,00 kg t⁻¹; Inceptisol E2=2,58 kg t⁻¹, E3=2,40 kg t⁻¹ y E4=2,05 kg t⁻¹; N, Entisol, E2=1,56 kg t⁻¹, E3=1,65 kg t⁻¹, E4=1,46 kg t⁻¹ e Inceptisol E2=1,52 kg t⁻¹, E3=1,01 kg t⁻¹ y E4=1,69 kg t⁻¹). La extracción total de nutrientes por el mango cv. Tommy Atkins, por cada mil kilogramos cosechados fue cercana a 4,3 kg de nutrientes en suelos de orden Entisol y 4,5 kg de nutrientes en suelos de orden Inceptisol, siendo el orden de extracción K>N>P>Ca>Mg>S en suelos Entisol y K>N>Ca>P>Mg>S en suelos Inceptisol.

Palabras clave: Entisol; Extracción de nutrientes; Inceptisol; Nutrientes.

ABSTRACT

Mango cv. Tommy Atkins is mainly grown in the department of Tolima, a place where it expresses its best agronomic behavior and quality of the fruit. The objective was to evaluate the nutritional status of the plants and quantify the extraction of nutrients by plants of Tommy Atkins mango fruit based on the soil order where is grown. The concentrations of each nutrient varied between samples and organ phases (leaves, flower, and fruit) depending on the order of the soil where it is cultivated (Entisol and Inceptisol). The highest extraction per one thousand kg of harvested fruit was potassium (K) followed by nitrogen (N) in the three phases independently evaluated of the soil order (K, Entisol, E2 = 2.39 kg t⁻¹, E3 = 2.07 kg t⁻¹ and E4 = 2.00 kg t⁻¹; Inceptisol E2 = 2.58 kg t⁻¹, E3 = 2.40 kg t⁻¹ and E4 = 2.05 kg t⁻¹; N, Entisol, E2 = 1.56 kg t⁻¹, E3 = 1.65 kg t⁻¹, E4 = 1.46 kg t⁻¹ and Inceptisol E2 = 1.52 kg t⁻¹, E3 = 1.01 kg t⁻¹ and E4 = 1.69 kg t⁻¹). The total extraction of nutrients by mango cv. Tommy Atkins, for one thousand kg of harvested fruit was close to 4.3 kg of nutrients in soils of the Entisol order and 4.5 kg of nutrients in soils of the Inceptisol order. The extraction order was K>N>P>Ca>Mg>S.

Key words: Entisol; Nutrient extraction; Nutrients; Inceptisol.

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. Centro de Investigación Caribía, Sevilla, Santa Marta, Colombia.

²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. Centro de Investigación Nataima, Espinal, Ibagué Tolima.

*Autor de correspondencia: Marlon José Yacomelo Hernández

Correo: myacomelo@agrosavia.co

Cómo citar

Yacomelo Hernández, M.J., Abaunza González, C.A., Polanco Díaz, E., Arenas-Rubio, I., Correa Álvarez, E.M. y Jaramillo Bonilla, S. 2021. Extracción de nutrientes del mango cv. Tommy Atkins en suelos Entisoles e Inceptisoles del departamento del Tolima, Colombia. *Temas Agrarios* 26(2): 117-128. <https://doi.org/10.21897/rta.v26i2.2842>



Temas Agrarios 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) se encuentra distribuido en el mundo alrededor de las regiones tropicales y subtropicales (Bekele *et al.*, 2020). En el 2018 la producción mundial de mango representó más del 50% de la producción mundial de las frutas tropicales (FAO, 2020). En Colombia el área reportada en el año 2019 fue aproximadamente de 33 mil hectáreas, alcanzando una productividad de 300 mil toneladas. Entre los cultivares sembrados está la cv. Tommy Atkins, establecida en el departamento del Tolima en un área aproximada de 7000 mil hectáreas, con rendimientos promedios de 15,80 toneladas por hectárea (Minagricultura, 2020).

Entre los factores que influyen en la sostenibilidad de las fincas productoras de mango y que están muy relacionados con la calidad y producción de la fruta, se encuentran las propiedades del suelo, las condiciones climáticas y las estrategias de fertilización (Khan y Ahmed, 2020), sin embargo, es preciso indicar que en la actualidad la mayoría de los productores fertilizan sin tener en cuenta los requerimientos nutricionales de las plantas, el estado nutricional actual del cultivo y la fertilidad del suelo, pudiendo estar aplicando de más o menos del requerimiento, lo cual puede afectar procesos fisiológicos y metabólicos (Berdanier y Berdanier, 2015; Souri y Aslani 2018; Souri y Bakhtiarizade, 2019).

El nitrógeno (N) y el potasio (K) son nutrientes esenciales para la producción de frutos de mango porque promueven el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo. El nitrógeno, estimula la formación de yemas florales y yemas que producirán frutos debido al aporte de aminoácidos, proteínas, compuestos nitrogenados, vitaminas y pigmentos. El potasio, permite promueve el incremento del contenido de carbohidratos y proteínas, lo

que permite un llenado de frutos por medio de la promoción del almacenamiento de azúcar, almidones y el transporte de foto asimilados a los frutos, aumenta la resistencia a sequías, heladas, plagas y enfermedades (Zamora, 2021).

Ante lo expuesto anteriormente es posible realizar un diagnóstico sobre la nutrición de las plantas, mediante un análisis no destructivo, donde se midan las concentraciones de los diferentes elementos químicos en las hojas (análisis foliar), pues existe una relación muy estrecha entre la concentración de los nutrientes en el tejido vegetal y el crecimiento o rendimiento de las plantas cultivadas (Osorio, 2014).

Otro indicador disponible para generar programas de fertilización es la restitución de nutrientes en función de los requerimientos nutricionales por fase fenológica (Faria *et al.*, 2016; Salehin *et al.*, 2020) y de la extracción de nutrientes realizada por el fruto (Obreza y Morgan, 2008; Li *et al.*, 2017). El objetivo de este trabajo fue caracterizar las concentraciones de nutrientes en los diferentes órganos de la planta y cuantificar la extracción de nutrientes por la fruta de mango Tommy Atkins en suelos Entisoles e Inceptisoles en el departamento del Tolima, en función del orden de suelo donde se cultiva y de la etapa fenológica de la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en cuatro fincas productoras de mango Tommy Atkins del departamento del Tolima, dos ubicadas en suelos de orden Entisoles y dos en Inceptisoles. Los suelos de orden Inceptisol de taxonomía Typic Haplustepts, ubicados en relieves de abanico reciente, de material parental de sedimentos aluviales que cubren depósitos de toba, caracterizados por presentar baja evolución pedogenética,

moderadamente profundos, de texturas medias. Morfológicamente presentan un perfil de tipo A-B-C moderadamente desarrollados. El horizonte A, se caracteriza por presentar un espesor que varía entre 15 y 20 cm, con estructura en bloques subangulares finos y medios, textura franca y color pardo grisáceo muy oscuro.

El horizonte B presenta estructura en bloques angulares medios, de espesor mayor a 65cm, color pardo oscuro y textura franca. El horizonte C aparece después de los 65 cm de profundidad, es de textura franco arcillo arenosa y sin estructura (IGAC, 2004).

De acuerdo con la caracterización química de los suelos estos presentan bajo contenido de materia orgánica (1 – 2%), con pH neutros en los primeros 10cm de profundidad (15 cm) y ligera a moderadamente acida a partir de los 10cm según clasificación de Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993); las bases totales y la capacidad de intercambio catiónica son medias a través del perfil, saturación de bases entre 13,30 y 50 % y contenido de fósforo bajos (<20 ppm). Las propiedades físicas presentan densidad aparente promedio de 1,56 g cm⁻³ en los primeros 10 cm aumentando en profundidad hasta 1,62 g cm⁻³ y porosidad total de 35,1% en los primeros 10cm de profundidad, con predominio de microporos (20,8%) sobre los Mesoporos (9,7%) y Macroporos (4,6%) (Tabla 1).

Los suelos Entisoles grupo taxonómico Typic Ustorthents, se desarrollaron a partir de esquistos, son moderadamente profundos, con limitaciones por la presencia de fragmentos de roca en el perfil, de buen drenaje, de textura moderadamente finas a medias, gravillosos a muy gravillosos a partir de los 25 cm. Morfológicamente presentan horizontes de tipo A-C, sin estructura. El horizonte A tiene de 16 a 25 cm de espesor, color pardo grisáceo oscuro y textura franca. El horizonte C compuesto por dos o tres

subhorizontes que varía de 30 a 45 cm de espesor, de colores pardo grisáceo oscuro y pardo amarillento oscuro, textura franca gravillosos, sin estructura. Presentan una reacción neutra en los primeros 55 cm y ligeramente acida en el resto del perfil. Densidad aparente de 1,61g cm⁻³ en los primeros 10cm de profundidad y aumentando hasta 1,69g cm⁻³ a profundidades superior a los 40 cm y porosidad total de 36,7%, siendo los Macroporos (4,1%), Mesoporos (9,8%) y Microporos (22,8%) (Tabla 1).

En cada finca seleccionada por grupo de suelo se seleccionó un grupo de 10 árboles con productividad mayor a 530 kg fruta · árbol⁻¹. En todos los árboles se realizó un seguimiento durante dos ciclos de cosecha (dos años). El ciclo de cosecha se separó en tres muestreos por año; los cuales fueron realizados a los 30, 90 y 110 días después de la floración (tiempo óptimo de cosecha). En cada árbol seleccionado durante cada muestreo (6 en total, tres por año) se cosecharon 20 frutos del tercio medio de la copa para determinar la extracción de nutrientes por el fruto en cada una de las fases. Se tomó el peso fresco total de biomasa fresca y seca de fruto, y se cuantificó la cantidad de biomasa seca correspondiente a una tonelada de fruto fresco. Conociendo la concentración de nutrientes en el tejido vegetal, se cuantificó la cantidad de nutrimentos que se extrae por cada mil kilogramos de fruta.

Adicionalmente, en el año 2 en cada muestreo se tomaron 10 hojas de brotes no fructíferos, en ramas del tercio medio del árbol, por cada punto cardinal (40 hojas por árbol), de edad comprendida entre 6 y 7 meses (hoja más baja de un brote nuevo), de acuerdo con Campos y Calderón (2016). Por otra parte, se realizó un muestreo de inflorescencias para caracterizar los contenidos de nutrientes en ellas.

Tabla 1. Características físico químicas de los suelos cultivados con mango Tommy Atkins en el departamento del Tolima.

Nutriente	Concentración	Nutrientes	Concentración
pH	6,58 ± 0,26	K (cmol(+) kg ⁻¹)	0,21 ± 0,03
CE (dS m ⁻¹)	0,14 ± 0,03	Na (cmol(+) kg ⁻¹)	<0,14 ± 0,00
MO (%)	1,07 ± 0,31	Fe (mg kg ⁻¹)	38,61 ± 5,15
P (mg kg ⁻¹)	8,47 ± 4,56	Cu (mg kg ⁻¹)	<1 ± 0,00
S (mg kg ⁻¹)	2,24 ± 0,74	Mn (mg kg ⁻¹)	4,68 ± 0,85
CICE	4,44 ± 0,91	Zn (mg kg ⁻¹)	1,85 ± 0,80
Ca (cmol(+) kg ⁻¹)	3,29 ± 0,78	B (mg kg ⁻¹)	0,25 ± 0,05
Mg (cmol(+) kg ⁻¹)	0,86 ± 0,12		
Propiedades físicas			
Textura	AF	Porosidad total (%)	35,1 ± 2,72
Da (gcm ⁻³)	1,56 ± 0,08 Aumenta en profundidad	Macroporos (%)	4,6 ± 2,60
		Microporos (%)	20,76 ± 2,56
pH	6,37 ± 0,30	K (cmol(+) kg ⁻¹)	
CE (dS m ⁻¹)	0,12 ± 0,03	Na (cmol(+) kg ⁻¹)	
MO (%)	0,54 ± 0,21	Fe (mg kg ⁻¹)	
P (mg kg ⁻¹)	12,70 ± 0,77	Cu (mg kg ⁻¹)	
S (mg kg ⁻¹)	1,75 ± 0,35	Mn (mg kg ⁻¹)	
CICE	2,39 ± 0,61	Zn (mg kg ⁻¹)	
Ca (cmol(+) kg ⁻¹)	1,70 ± 0,46	B (mg kg ⁻¹)	
Mg (cmol(+) kg ⁻¹)	0,63 ± 0,20		
Propiedades físicas			
Textura	FA	Porosidad total (%)	36,7 ± 2,87
Da (gcm ⁻³)	1,61 ± 0,09 Aumenta en profundidad	Macroporos (%)	4,1 ± 2,62
		Microporos (%)	22,8 ± 2,59

*Métodos de extracción (**pH**: VC-R-004 Versión 03, **CE**: NTC 5596:2008, **MO**: Walkey & Blackg, **P**: VC-R-007 Versión 2, **Ca**, **Mg**, **K** y **Na**: ID-R-072 Versión 5, **Fe**: NTC 5526:2007, **Al**: KCl, **B** y **S**: Fosfato monobásico de calcio.

Fuente: Elaboración propia.

En el tejido foliar y fruto de cada muestra se cuantificaron las concentraciones de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), Calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu) y hierro (Fe). Los métodos empleados para la extracción de nutrientes en tejido foliar fueron; **1)** Digestión cerrada nítrico: peróxido (5:1:2) / Espectrometría de emisión de plasma inductivamente acoplado para P, K, Ca, Mg, Na, S, Fe, Cu, Mn y Zn, **2)**

EPA 351,3 modificado para N, **3)** NTC 5404 modificado para B.

Se realizó un análisis descriptivo (media y coeficiente de variación - CV) para conocer la variabilidad de las concentraciones de los nutrientes en tejido foliar y en la fruta. Se realizó un análisis de varianza con medidas repetidas empleando modelos mixtos considerando la estructura de

covarianza autorregresiva heterogénea de primer orden. Se usó un nivel de significancia de 0,05 y en caso de encontrarse diferencias estadísticamente significativas se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey – Kramer. Todos los análisis fueron realizados empleando el procedimiento Glimmix de SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC) y la agrupación de letras se generó empleando el macro pdmix800.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se resumen los promedios y coeficientes de variación de las concentraciones de los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, B, Cu y Fe en los diferentes órganos muestreados en las plantas de mango Tommy Atkins en el departamento del Tolima, por cada muestreo realizado durante el año 2. Las concentraciones de cada nutriente variaron entre muestreos y de órgano (hojas, flor y fruto). En el muestreo 1 en hojas nutrientes que presentaron mayor variación fueron B y Mn con CV de 46,40% y 38,73%. En el muestreo 1 en fruto Cu y Zn con CV de 40,80 % y 35,15 % y en hojas Mn y Cu 47,57 % y 47,01 %. En el muestreo 2 en fruto Fe y Mn con 100,49% y 52,15% y en hojas B y Mg 47,37% y 44,70%. Por último, en el muestreo 3, la mayor variación en fruto fue Mn y N con 45,88 % y 40,14 % respectivamente, y en hojas B y Mn con 48,26 % y 46,90% respectivamente.

En el muestreo realizado en la fase de floración, en inflorescencia los nutrientes que presentaron mayor variación fueron Mn y Ca con CV de 131,62% y 124,51% respectivamente.

Las concentraciones de N, K, S y Fe en hojas y P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn y B en fruto variaron significativamente entre muestreos ($p < 0,05$). En los muestreos 1, 2 y 3 las mayores

concentraciones de nutrientes de nutrientes en hojas fueron de Ca (M1=2,09%, M2=2,25 % y M3=2,00 %) seguido de N (M1=1,16 %, M2=1,15 % y M3=1,27 %), mientras que en fruto fueron de K (M1=1,03%, M2=0,92% y M3=0,84%), seguido de N (M1=0,63%, M2=0,55% y M3=0,64%). En el muestreo realizado en la fase de floración las mayores concentraciones de nutrientes en hojas fueron de Ca y N (Ca 2,08% y N 1,13%) y en flor de N y K (N 1,3 % y K 1,2%).

Lo anterior también fue reportado por Faria *et al.* (2016) en mango Tommy cultivado en Brasil, donde el contenido de P, K, Mg y Cu en las hojas de los árboles varió según las fases fenológicas (muestreos) y ciclos de producción, independientemente de las estrategias para reducir los niveles de riego en la inducción floral. Los contenidos de N, Ca, B, Fe, Mn y Na variaron con las fases y con los ciclos de producción, de manera independiente.

En la tabla 3, se presenta los valores promedios de las concentraciones de nutrientes en cada órgano en función del orden de suelo, durante los muestreos realizados en el año 2. De acuerdo con el análisis de varianza la concentración de nutrientes varió significativamente en función del orden de suelo y los muestreos en los diferentes órganos muestreados ($p < 0,05$). Lo anterior ha sido reportado en otros trabajos para la misma especie, por ejemplo, en México las regiones productoras tuvieron un efecto significativo en la concentración de nutrientes en la fruta, lo cual puede estar relacionado con el riego y la fertilización in situ, la cual está relacionada con el tipo de suelo. La humedad del suelo es importante para el movimiento adecuado de minerales en el suelo y la absorción por las raíces. Un estudio con mango 'Dashehari' mostró una mayor disponibilidad de minerales con un 45% de humedad del suelo, pero casi nula con un 30% (Bhriyuvanshi *et al.*, 2014).

Tabla 2. Concentraciones promedio de nutrientes en inflorescencia, hojas y frutos del cultivar mango Tommy Atkins en cuatro fases fenológicas (muestreos - año 2).

Muestreo	N	P	K	Ca	Mg	Na
	-----%-----					
Inflorescencia						
0	1,3 CV=15,57%	0,2 CV=24,77%	1,2 CV=32,05%	0,8 CV=124,51%	0,2 CV=38,46%	0,0
Hojas						
0	1,13b CV=7,63%	0,16a CV=10,48%	0,89a CV=6,38%	2,08a CV=9,78%	0,27a CV=31,78%	0,01a
4	1,16ab CV=12,32%	0,16a CV=26,37%	0,88a CV=11,18%	2,09a CV=11,89%	0,26a CV=26,43%	0,01a
5	1,15ab CV=12,06%	0,18a CV=32,52%	0,82ab CV=16,75%	2,25a CV=16,76%	0,23a CV=44,70%	0,00a
6	1,27a CV=15,39%	0,14a CV=21,36%	0,73b CV=26,81%	2,00a CV=27,92%	0,20a CV=29,79%	0,01a
Frutos						
4	0,63a CV=28,55%	0,17a CV=17,52%	1,03a CV=17,47%	0,19a CV=22,36%	0,08a CV=17,96%	0,00a
5	0,55a Cv=39,27%	0,13b CV=13,93%	0,92ab CV=15,89%	0,15b CV=14,05%	0,06b CV=19,49%	0,00a
6	0,64a CV=40,14%	0,12b CV=17,96%	0,84b CV=9,59%	0,12c CV=27,31%	0,06b CV=17,53%	0,00a
	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	-----%-----					
	-----mg kg ⁻¹ -----					
Inflorescencia						
0	0,1 CV=15,31%	49,2 CV=44,82%	7,4 CV=32,70%	135,5 CV=131,62%	13 CV=29,10%	31,7 CV=61,97%
Frutos						
4	0,07a CV=31,35%	31,74a CV=30,74%	5,86a CV=40,80%	12,26a CV=25,81%	5,40a CV=35,15%	13,91a CV=13,01%
5	0,05b Cv=29,27%	25,19ab CV=100,49%	4,76ab CV=43,05%	13,26a CV=52,15%	3,48b CV=39,71%	12,53a CV=12,38%
6	0,05b CV=26,88%	17,29b CV=26,01%	4,21b CV=24,69%	12,32 CV=45,88%	3,37b CV=27,09%	10,69b CV=18,63%

*Letras distintas por columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0,005$). (**Muestreo 0** = plena floración; **muestreo 4**= 35 días después de floración; **muestreo 5**=70 días después de floración y **muestreo 6**=110 días después de floración). **Nutrientes:** Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Azufre (S), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Boro (B). **CV:** Coeficiente de variación. **Fuente:** Elaboración propia.

En el muestreo 4 en hojas hubo diferencias significativas en las concentraciones de Mg y Mn entre orden de suelo, siendo mayores las concentraciones de Mg en Inceptisoles y de Mn en Entisol. En frutos no hubo efecto del orden del suelo sobre la concentración de nutrientes.

En el muestreo 5 en hojas, hubo diferencias significativas de las concentraciones de Ca, siendo mayores las concentraciones en suelos Entisoles; en fruto diferencias significativas de Mn entre orden de suelo, siendo mayores las concentraciones cuando se cultivó en orden Entisoles.

Finalmente, una vez los frutos se encuentran en el momento de cosecha (muestreo 6 - año 2) en hojas, se presentaron diferencias significativas de Mn, siendo mayores las concentraciones en suelos Entisoles; y en frutos no se presentaron diferencias entre orden de suelo donde es cultivado. El muestreo adicional realizado en el año 2 (M0-fase de floración) se encontró diferencias significativas en las concentraciones de P y K en flores de árboles establecidos en suelos de orden Entisoles, en comparación de árboles establecidos en suelos de orden Inceptisol, siendo mayores las concentraciones en suelos Inceptisoles.

Las plantas utilizan el suelo como medio inerte para crecimiento (Khan y Ahmed, 2020).

La disponibilidad de nutrientes es regulada en el suelo a través del crecimiento de las raíces y el suelo afecta las actividades funcionales de las plantas. Muchos tipos del suelo son aptos para la producción de mango, desde suelos de baja fertilidad hasta suelos bien fértiles (Dirou, 2004).

Aunque, el cultivo y el crecimiento del cultivar está influenciado por las propiedades del suelo. Suelo de menor fertilidad, ligero y de buenas propiedades de drenaje son considerados de mejores características para la producción de mango, mientras que en suelos muy fértiles se pueden presentar problemas en la coloración de la fruta (Madonsela, 2019).

Tabla 3. Concentraciones promedio de nutrientes en inflorescencia, hojas y frutos en cuatro fases fenológicas (muestréos – año 2) del cultivar mango Tommy Atkins establecido en dos órdenes de suelo, en el departamento del Tolima.

Orden de suelo	Muestreo	Órgano	%							mg kg ⁻¹						
			N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B		
Entisol	0	Flor	1,26a	0,19b	0,97b	1,07a	0,17a	0,00a	0,14a	41,91a	7,57a	193,72a	12,90a	37,10a		
Inceptisol	0	Flor	1,38a	0,25a	1,53a	0,34a	0,15a	0,00a	0,12a	60,13a	7,23a	48,29a	13,14a	23,53a		
Entisol	4	Fruto	0,64a	0,17a	0,99ab	0,17ab	0,08ab	0,00a	0,07a	30,58a	5,68 ^a	14,01ab	5,12a	14,11a		
Inceptisol	4	Fruto	0,63a	0,18a	1,06a	0,21a	0,09a	0,00a	0,07a	32,91a	6,03a	10,51b	5,68a	13,72ab		
Entisol	5	Fruto	0,68a	0,13b	0,86b	0,15bc	0,07ab	0,00a	0,06ab	22,77a	4,00a	18,30a	4,04ab	12,80abc		
Inceptisol	5	Fruto	0,42a	0,12b	0,99ab	0,15bc	0,06b	0,00a	0,04b	27,61a	5,52a	8,23b	2,93b	12,26abc		
Entisol	6	Fruto	0,60a	0,13b	0,82b	0,11c	0,07ab	0,00a	0,06ab	14,56a	4,63a	14,76ab	3,97ab	11,17bc		
Inceptisol	6	Fruto	0,70a	0,10b	0,85b	0,13bc	0,06b	0,00a	0,04b	20,02a	3,79a	9,87b	2,76b	10,21c		
Entisol	0	Hoja	1,19a	0,16a	0,90a	1,90b	0,17c	1,9E-03b	0,12ab	55,10a	5,12a	400,35ab	12,56a	41,77a		
Inceptisol	0	Hoja	1,10a	0,15a	0,89a	2,16ab	0,32a	0,01ab	0,13ab	68,84a	6,88a	239,48bc	11,21a	40,25a		
Entisol	4	Hoja	1,17a	0,16a	0,84a	2,12ab	0,20bc	0,00ab	0,14ab	62,82a	6,65a	453,17a	12,20a	52,73a		
Inceptisol	4	Hoja	1,15a	0,15a	0,90a	2,06ab	0,31a	0,01a	0,14ab	68,48a	6,38a	233,48bc	11,83a	41,61a		
Entisol	5	Hoja	1,16a	0,19a	0,82a	2,56a	0,18bc	0,00ab	0,15a	51,71a	5,23a	398,98abc	12,26a	53,97a		
Inceptisol	5	Hoja	1,16a	0,17a	0,81a	1,94b	0,28ab	0,00ab	0,13ab	49,74a	5,94a	228,27bc	11,15a	35,55a		
Entisol	6	Hoja	1,26a	0,13a	0,68a	1,86b	0,17c	0,00ab	0,11b	59,33a	4,97a	434,68a	11,41a	49,47a		
Inceptisol	6	Hoja	1,29a	0,15a	0,78a	2,14ab	0,23abc	0,01a	0,12ab	52,74a	6,74a	227,00c	11,42a	38,44a		

*Letras distintas por columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0.005$).

Nutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), azufre (S), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B). (**Muestreo 0** = plena floración; muestreo 4= 35 días después de floración; muestreo 5=70 días después de floración y muestreo 6=110 días después de floración).

Fuente: Elaboración propia

Extracción de nutrientes por la fruta

La fruta de mango Tommy Atkins alcanzó desarrollo fisiológico a los 110 días después de la floración. El 80% del crecimiento del fruto se logró en los primeros 60 días. Lo anterior cambia de acuerdo con la variedad y la región productora, por ejemplo, Corredor y García (2011) en mango Hilacha y Tommy Atkins en el valle del alto Magdalena, encontraron variación en los días que se requieren para que la fruta alcance su desarrollo fisiológico adecuado para cosechar ('Tommy Atkins' $78,6 \pm 3,3$ días).

De acuerdo con el análisis de varianza la extracción de nutrientes varió significativamente en función del orden de suelo para los nutrientes K y Mn. Hubo variación significativa en función del muestreo (fase fenológica) para los nutrientes P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mg y Na. La interacción Orden de suelo y Muestreo presentó efecto significativo para N, Mg y Ca (Tabla 4). Comparando entre los órdenes de suelo por cada muestreo solo se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de Mn en los muestreos 2 y 5 siendo mayor las extracciones cuando se cultivó en suelos de origen Entisol. La mayor extracción por cada mil kilogramos de fruta cosechada fue de K seguido de N en los seis muestreos evaluados independientemente del orden de suelo donde es cultivado (K, Entisol, M1=2,39 kg t⁻¹, M2=2,07 kg t⁻¹, M3=2,00 kg t⁻¹, M4=2,38 kg t⁻¹, M5=2,07 kg t⁻¹ Y M6= 1,99 kg t⁻¹; Inceptisol M1=2,58 kg t⁻¹, M2=2,38 kg t⁻¹, M3=2,05 kg t⁻¹, M4=2,57 kg t⁻¹, M5=2,40 kg t⁻¹ Y M6=2,05 kg t⁻¹; N, Entisol, M1=1,56 kg t⁻¹, M2=1,65 kg t⁻¹, M3=1,46 kg t⁻¹, M4=1,55 kg t⁻¹, M5=1,65 kg t⁻¹ y M6=1,45 kg t⁻¹ e Inceptisol M1=1,52 kg t⁻¹, M2=1,01 kg t⁻¹, M3=1,69 kg t⁻¹, M4=1,51 kg t⁻¹, M5=1,00 kg t⁻¹ y M6=1,67 kg t⁻¹).

Los microelementos cumplen un rol en el desarrollo de los frutos, principalmente en los procesos de respiración y la fotosíntesis de la planta (Ahmed *et al.*, 2009), además, la deficiencia de micronutrientes con frecuencia provoca un retraso en la maduración del mango (Iqbal *et al.*, 2012). En mango Tommy Atkins la mayor extracción fue de Fe seguido de Mn y B en los seis muestreos evaluados independiente del orden del suelo donde es cultivado.

Lo anterior concuerda con lo reportado por Fallas *et al.* (2010) y Mellado *et al.* (2012), independiente del tipo de suelo, el elemento de mayor absorción es el K seguido del N, tal como lo sostiene también Gontijo (1982), citado por Vega y Molina (1999). Recientemente Mellado *et al.* (2012) también encontró diferencias significativas en la extracción de nutrientes por la fruta de Tommy Atkins entre localidad, variando entre 0,78 – 0,9 kg t⁻¹ de N, 0,12 – 0,16 kg t⁻¹ de P, 1,2 – 1,9 kg t⁻¹ de K, 0,2 – 0,3 kg t⁻¹ de Ca, 0,08 – 0,09 kg t⁻¹ de Mg, 0,08 – 0,25 kg t⁻¹ de S, por su parte los micronutrientes la extracción fue entre 6 – 6,3 g t⁻¹ de Fe, 1 – 1,2 g t⁻¹ de Cu, 3,3 – 5,6 g t⁻¹ de Mn, 1,5 – 1,9 g t⁻¹ de Zn y 2,0 – 4,3 g t⁻¹ de B. La extracción reportada de N, P, K, Ca y S están por debajo de las extracciones reportadas en el presente estudio, mientras que los micronutrientes son similares.

Es claro que la extracción de nutrientes varía en función de las características edafoclimáticas y de la variedad cultivada, por ejemplo, Yacomelo *et al.* (2021) en el cultivar mango de azúcar establecido en el departamento del Magdalena, Colombia, reporta extracciones de 2,43; 2,24 y 1,67 kg de potasio (K) y 1,87; 1,27 y 1,29 kg de nitrógeno (N), por cada mil kilogramos cosechados a los 35, 70 y 100 días después de la floración respectivamente.

Tabla 4. Extracción promedio de nutrientes por el fruto por cada mil kilogramos de fruta cosechada en función del orden de suelo y el muestreo (fase fenológica).

Orden	Muestreo	N		P		K		Ca		Mg		Na	
		Kg t ⁻¹											
Entisol	1 – año 1	1,56	ab	0,40	ab	2,39	abc	0,42	ab	0,19	abc	0,01	a
Inceptisol	1 – año 1	1,52	ab	0,45	a	2,58	a	0,50	a	0,21	a	0,01	a
Entisol	2 – año 1	1,65	ab	0,31	bcd	2,07	abc	0,37	ab	0,18	abc	0,01	a
Inceptisol	2 – año 1	1,01	b	0,30	dc	2,38	abc	0,36	bc	0,15	bc	0,01	a
Entisol	3 – año 1	1,46	ab	0,31	bcd	2,00	bc	0,27	c	0,18	abc	0,01	a
Inceptisol	3 – año 1	1,69	a	0,25	d	2,05	abc	0,31	bc	0,15	bc	0,01	a
Entisol	4 – año 2	1,55	ab	0,39	abc	2,39	abc	0,41	ab	0,18	abc	0,01	a
Inceptisol	4 – año 2	1,51	ab	0,44	a	2,57	ab	0,49	a	0,20	ab	0,01	a
Entisol	5 – año 2	1,65	ab	0,31	bcd	2,07	abc	0,37	ab	0,17	abc	0,01	a
Inceptisol	5 – año 2	1,00	b	0,29	d	2,40	abc	0,35	bc	0,15	c	0,13	a
Entisol	6 – año 2	1,45	ab	0,30	bcd	1,99	c	0,26	c	0,17	abc	0,13	a
Inceptisol	6 – año 2	1,67	a	0,25	d	2,05	abc	0,30	bc	0,15	bc	0,01	a

Orden	Muestreo	S		Fe		Cu		Mn		Zn		B	
		Kg t ⁻¹		g t ⁻¹									
Entisol	1 – año 1	0,17	a	7,41	ab	1,46	a	3,40	ab	1,24	ab	3,42	a
Inceptisol	1 – año 1	0,16	ab	7,98	a	1,38	a	2,55	ab	1,38	a	3,33	ab
Entisol	2 – año 1	0,14	ab	5,52	abc	1,34	a	4,44	a	0,98	ab	3,10	abc
Inceptisol	2 – año 1	0,10	ab	6,69	abc	0,97	a	1,99	b	0,71	b	2,97	abc
Entisol	3 – año 1	0,14	ab	3,53	c	1,12	a	3,58	ab	0,96	ab	2,71	bc
Inceptisol	3 – año 1	0,10	ab	4,85	bc	0,92	a	2,39	b	0,67	b	2,48	c
Entisol	4 – año 2	0,15	ab	7,40	ab	1,45	a	3,38	ab	1,23	ab	3,41	a
Inceptisol	4 – año 2	0,15	ab	7,97	a	1,36	a	2,54	ab	1,36	a	3,31	ab
Entisol	5 – año 2	0,13	ab	5,51	abc	1,32	a	4,42	a	0,97	ab	3,09	abc
Inceptisol	5 – año 2	0,09	ab	6,68	abc	0,96	a	1,98	b	0,69	b	2,96	abc
Entisol	6 – año 2	0,12	ab	3,52	c	1,11	a	3,57	ab	0,95	ab	2,69	bc
Inceptisol	6 – año 2	0,08	b	4,84	bc	0,91	a	2,38	b	0,66	b	2,46	c

*Letras distintas por columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0.005$). **Nutrientes:** Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Azufre (S), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Boro (B).

De los microelementos la mayor extracción fue de hierro (Fe), seguido de boro (B), con 3,88 y 1,37 g t⁻¹, respectivamente. En cada ciclo de producción del cultivo de mango se remueven del suelo nutrientes que pasan a estar contenidos en los frutos cosechados. Por lo anterior es importante conocer los nutrimentos removidos por la planta en la cosecha (Salazar y Lazcano, 2001).

Con respecto a las propiedades químicas de los suelos estudiados (Entisol e

Inceptisol), se evidenció que el fósforo tuvo una concentración mayor en el Entisol con 12,70 mg kg⁻¹ comparado con 8,47 mg kg⁻¹ respectivamente (tabla 1) debido a que los Inceptisoles obedecen a un orden de suelos en el cual la saturación de bases y el contenido de fósforo son mucho menores al 50% y 250 mg kg⁻¹ respectivamente (Salazar *et al.*, 2021), precisamente porque son suelos poco evolucionados con horizontes poco profundos. Mientras que en el potasio tuvo un comportamiento diferente mostrando

que se incrementa en el Inceptisol con una concentración de 0,21 cmol (+) kg⁻¹ comparado con 0,09 cmol (+) kg⁻¹ en el Entisol (Tabla 1), lo anterior debido a que los Entisoles el material parental no permite la formación de suelo debido a la erosión hasta el punto de que hay ausencia de las características diagnósticas en los horizontes (Salazar *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

El cultivar de Tommy Atkins extrajo alrededor de 4,3 kg de nutrientes por cada tonelada (t) de fruta cosechada en suelos de orden Entisol distribuidos en la siguiente manera: 45,82% K, 33,37% N, 7,02% P, 6,12% Ca, 4,03% Mg y 3,20% S, y 0,44 % para el resto de los nutrientes, y 4,5 kg de nutrientes en suelos de orden Inceptisol distribuidos 44,88 % K, 36,99% N, 6,76 % Ca, 5,50% P, 3,31% Mg y 2,12 % S, y con 0,44 % el resto de los nutrientes.

Los registros de extracción de nutrientes por cada tonelada de fruta cosechada permitirán al productor contar con herramientas eficientes para la toma de decisiones que generen mayor productividad, y se reduzcan los costos por aplicación de fertilizantes innecesarios y se potencialice las capacidades de los suelos donde se encuentran establecidos este sistema productivo.

La información reportada son un aporte para la toma de decisiones sobre el manejo de la nutrición de las plantas teniendo en cuenta el orden del suelo, y la demanda nutricional de la planta para la formación de frutos de mango Tommy. Este análisis hace eficiente la aplicación de fertilizantes en los tiempos que la planta lo requiere.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, con recursos recibidos en el marco de la ley 1731 de 2014. La información presentada es resultado del proyecto ID1001212-Manejo del riego y nutrición del mango". Los autores expresan su gratitud a los productores que ayudaron en la implementación de la investigación. A los asistentes de investigación del C.I. Nataima José Arboney Guzmán y Gentil García, por la colaboración en la toma de información, preparación de las muestras y acompañamiento durante el proceso.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existió conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito

REFERENCIAS

- Ahmed, N., Ahmad, F., Abid, M. and Ullah, M.A. 2009.** Impact of zinc fertilization on gas exchange characteristics and water use efficiency of cotton crop under arid environment. *Pak J Bot*; 41(5):2189–97.
- Bekele, M., Satheesh, N. and Sadik. J. 2020.** Screening of Ethiopian mango cultivars for suitability for preparing jam and determination of pectin, sugar, and acid effects on physico-chemical and sensory properties of mango jam. *Scientific African* 7(5): e00277.
- Berdanier, C. and Berdanier, L. 2015.** Advanced nutrition: macronutrients, micronutrients, and metabolism. CRC Press; 2015. Search in Google Scholar

- Bhriguvanshi, S., Adak, T., Kumar, K., Singh, V., Singh A. and Singh, V. 2014.** Soil moisture, organic carbon and micronutrient dynamics and their interrelationship in drip irrigated mango orchard. *Journal of Soil and Water conservation* 11(4): 316-322.
- Campos, B. y Calderón, E. 2016.** El Análisis Foliar para el Diagnóstico Nutritivo de Plantaciones de Mango. Toma de muestras. Málaga. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 1-8 p. Formato digital (e-book) - (Producción Agraria).
- Corredor, J. y García, J. 2011.** Fenología reproductiva, biología floral y visitantes florales en los cultivares de mango (*Mangifera indica L.*) Hilacha y Tommy Atkins en el valle del alto Magdalena (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1): 21-32.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945030003>
- Dirou, J.F. 2004.** Mango growing. *Agfact H6.1.10*, 4th Ed., NSW Centre for Tropical Horticulture, Alstonville, Australia.
- Fallas, R., Bertsch, F., Miranda, E. y Henríquez, C. 2010.** Análisis de crecimiento y absorción de nutrimentos de frutos de mango, cultivares Tommy Atkins Y Keith. *Agronomía Costarricense* 34(1): 1-15.
- FAO. 2020.** Las principales frutas tropicales Análisis del mercado 2018. Roma.
- Faria, L., Donato, S., Dos Santos, M. and Castro, L. 2016.** Nutrient contents in 'Tommy Atkins' mango leaves at flowering and fruiting stages. *Scientific Papers, Soil and Water Engineering. Engenharia Agrícola* 36 (06).
<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p1073-1085/2016>
- IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2004.** Estudio general de suelos de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento Del Tolima.
- Iqbal, M., Niamatullah, M., Hussain, A., Munir, M., Khan, I. and Khan, M. 2012.** Performance of selected parameters of mango cultivars in Muzaffargarh district (Punjab), Pakistan. *Sarhad. J Agri*; 28(3):395–398.
- Khan, M. and Ahmed, N. 2020.** Sustainable management of mango Nutrition for better yield and quality. *Cercetări Agronomice în Moldova Vol. LIII(4)*: 473-501.
- Li, R., Chang, Y., Hu, T., Jiang, X., Liang, G., Lu, Z., Yi, Y. and Guo, Q. 2017.** Effects of Different Fertilization Treatments on Soil, Leaf Nutrient and Fruit Quality of Citrus grandis var. longanyou. *World Journal of Engineering and Technology*, 5, 1-14.
<https://doi.org/10.4236/wjet.2017.52B001>
- Madonsela, E. 2019.** Defining and describing fruit quality of mango, its development and protection in fruit production. *Acta Sci.Agric.*, 3(9): 38- 41.
- Mellado, V., Salazar, G., Treviño, de la F., González, D. y López, J. 2012.** Composición y remoción nutrimental de frutos de mango 'Haden' y 'Tommy Atkins' bajo producción forzada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3 Núm.5*. p. 925-941.
- Minagricultura, 2020.** Cadena del Mango. Indicadores e instrumentos. Primer trimestre 2020. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20sectoriales.pdf>

- Obreza, T. and Morgan, K. 2008.** Nutrition of Florida citrus trees. Gainesville: Soil and Water Science Department, University of Florida.
- Osorio, N. 2014.** Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico. Editorial L.Vieco. Medellín, Colombia. p412.
- Salazar, G. and Lazcano, F. 2001.** Identifying fruit mineral removal differences in four avocado cultivars. USA. Better Crops International.
- Salazar, L. A. L. y Khalajabadi, S.S. 2021.** Taxonomía de suelos: Consideraciones para la zona cafetería de Colombia. p 34.
- Salehin, S., Mohsin, G., ferdous, T., Zaman, J., Uddin, M. and Rahman, M. 2020.** Soil Fertility and Leaf Nutrient Status of Mango Orchard Sites. Dhaka University Journal of Biological Sciences, 29(2):155–163.
<https://doi.org/10.3329/dujbs.v29i2.48735>
- SAS. 2012.** Statistical Analysis System, User's Guide. Statistical. versión Enterprise Guide 5,1. SAS. Inst. Inc. Cary. N.C. USA.
- Soil Survey Division Staff (SSDS). 1993.** Soil survey manual. Handbook No. 18. USDA. Washington D. C. p437.
- Souri, M. and Bakhtiarizade, M. 2019.** Biostimulation effects of Rosemary essential oil on growth and nutrient uptake of tomato seedlings. Sci Hortic 243: 472-476.
- Souri, M. and Aslani, M. 2018.** Beneficial effects of foliar application of organic chelate fertilizers on French bean production under field conditions in a calcareous soil. Adv. Hortic. Sci. 32(2): 265-272
- Vega, E. y Molina, E. 1999.** Fertilización nitrogenada en el cultivo de mango var. Tommy Atkins, en Guanacaste, Costa Rica. Agronomía Costarricense 23(1):37-44.
- Yacomelo, M., Ramírez, M., Pérez, U., Arcila, A., Carrascal, F. y Flórez, E. 2021.** Análisis nutricional y niveles de extracción del mango cv. Azúcar en el departamento del Magdalena, Colombia. Bioagro 33(2): 79-90.
<http://www.doi.org/10.51372/bioagro332.2>
- Zamora, M.V.J. 2021.** Optimización de la fertilización edáfica del mango (Tommy Atkins) mediante análisis espacial, Cerecita-Guayas. Ecuador. p88.

Crecimiento foliar y comportamiento diario de la fotosíntesis en plantas de fique cv Ceniza (*Furcraea cabuya* Trelease)

Foliar growth and daily behavior of net photosynthesis in fique plants cv Ceniza (*Furcraea cabuya* Trelease)

Jorge Cadena-Torres^{1*}; Eduardo Barragan Quijano²
Jorge Luis Romero Ferrer³; Kelly Mercado⁴

Recibido para publicación: junio 22 de 2021 - Aceptado para publicación: septiembre 14 de 2021

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo con el objeto de monitorear el crecimiento foliar, la emisión de hojas y el comportamiento diario de la fotosíntesis en plantas de fique cv Ceniza. Para lo anterior, en un cultivo comercial se seleccionaron plantas de fique a las cuales se les realizó un monitoreo semanal para determinar las ganancias en número, longitud, ancho y grosor de las hojas, durante un período de 154 días. En dos oportunidades durante el periodo experimental, se realizó también un monitoreo cada hora a las tasas de intercambio gaseoso durante los periodos de luz y oscuridad. Los resultados de crecimiento permitieron estimar un filocrono promedio de 8,65 días. El monitoreo a las tasas de intercambio gaseoso indicaron una baja conductancia estomática durante el período de luz. Sin embargo, a partir de las 15:30 h, la conductancia estomática se incrementó sustancialmente, manteniéndose a niveles máximos durante todo el período de oscuridad, para posteriormente decrecer a partir de las 09:30 h, del siguiente periodo de luz. Se encontró una alta correlación de la conductancia estomática con el déficit de presión de vapor y la temperatura foliar. Las máximas tasas de fijación de CO₂ detectadas variaron entre 12,2 y 14,5 μmol m⁻² s⁻¹, las cuales se registraron entre las 19:19 y las 19:26 h, durante el período de oscuridad. Estos resultados corroboran el metabolismo CAM de las plantas de fique cv Ceniza.

Palabras clave: Crecimiento foliar; Fotosíntesis; Filocrono; Intercambio gaseoso; Plantas CAM.

ABSTRACT

The present study was carried out to monitor leaf growth, foliar emission, and the daily photosynthesis behavior of sisal plants cv Ceniza. In a commercial crop, sisal plants were selected and monitored weekly to determine increase in number, length, width, and thickness of the leaves, during a 154 day period. On two occasions during the experimental period, gas exchange rates were also monitored during the light and dark periods. The results allowed determining a phyllochron of 8.65 days. Gas exchange monitoring detected low stomatal conductance rates during the light period. However, starting at 15:30 h, stomatal conductance substantially increased, remaining at maximum levels throughout the dark period, and, subsequently, decreased from 09:30 h, the following light period. A high correlation of stomatal conductance with vapor pressure deficit and leaf temperature was found. Maximum CO₂ fixation rates varied between 12.2 and 14.5 μmol m⁻² s⁻¹, recorded between 19:19 and 19:26 h. The results corroborate the CAM metabolism of sisal plants cv Ceniza.

Key words: Foliar growth; Photosynthesis; Phyllochron; Gas exchange rates, CAM plants.

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia Centro de investigación Turipaná, Cereté, Colombia.

²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia Centro de investigación Nataima, El Espinal, Tolima, Colombia.

³Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.

*Autor para correspondencia: Jorge Cadena-Torres

Correo: jcadena@agrosavia.co

Cómo citar

Cadena-Torres, J., Barragan Quijano, E., Romero Ferrer, J.L. y Mercado, K. 2021. Crecimiento foliar y comportamiento diario de la fotosíntesis en plantas de fique cv Ceniza (*Furcraea cabuya* Trelease). *Temas Agrarios* 26(2): 129-139.
<https://doi.org/10.21897/rta.v26i2.2843>



Temas Agrarios 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

El fique es una planta originaria de la América Tropical en donde se utiliza principalmente para la producción de fibras naturales para la fabricación de sacos, cuerdas y artesanías, pero también como planta ornamental, para cercas vivas y control de la erosión en laderas (Yu, 2005; Anandjiwala y Maya, 2010). En Colombia el uso de la fibra se ha concentrado en la elaboración de sacos para el empaque y comercialización de productos agropecuarios, principalmente café, cacao, papa y hortalizas (Casierra-Posada y González, 2009).

En Colombia las principales especies cultivadas pertenecen al género *Furcraea*, recientemente descrito y reagrupado por Egli y Nyffeler (2020), en donde las especies más comunes son Uña de Águila (*Furcraea macrophylla* Baker), Negra Común (*Furcraea gigantea* Ventenat), Borde de Oro (*Furcraea Castilla*), Ceniza (*Furcraea cabuya* Trelease) y Sin Espinas (*Furcraea andina* Fritsch). El área cultivada se ubica principalmente en los departamentos de Nariño, Cauca, Santander, Antioquia y la Guajira, con un área de siembra registrada para el año 2018 de 18.982 hectáreas (Agronet, 2020).

Su cultivo es muy común en regiones con alta participación de minifundio, en donde la fibra producida aporta recursos importantes para la sostenibilidad económica de la familia. Aun cuando la tendencia indica un incremento en las áreas de siembra, en los años recientes se ha presentado un incremento en la floración espontánea de las plantas lo que ha ocasionado muerte y disminución de las plantaciones activas y en producción. Se considera que lo anterior puede estar siendo ocasionado por el calentamiento global.

Pocos estudios se han adelantado en Colombia acerca de la fisiología del crecimiento y desarrollo de la plata de fique, así como de

su comportamiento fotosintético y su relación con la temperatura bajo condiciones de cultivo, con adecuada disponibilidad de agua y nutrientes (Casierra-Posada y Gómez, 2008; Casierra-Posada y González, 2009). En estudios adelantados por Casierra-Posada y González (2009), se comprobó que las plantas presentan ritmos circadianos en la acidez y los valores de pH de las hojas, que permiten inferir su comportamiento como planta con metabolismo CAM. De igual forma, los estudios de anatomía foliar adelantados por Murillo-Serna, JS *et al.*, (2018), sugieren una estructura y arreglo celular típico de plantas con metabolismo CAM (Murillo-Serna, JS; Rincón-Baron, EJ y Alzate-Guarín, 2018). Con base en lo anterior se asume que las plantas de fique presentan alta conductancia estomática y asimilación del CO₂ durante el periodo de oscuridad. Para corroborar lo anterior, la presente investigación se llevó a cabo con el objeto de estudiar el crecimiento foliar y comportamiento diario de la fotosíntesis de las plantas de fique cv Ceniza bajo condiciones de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La presente investigación se realizó bajo condiciones de campo en el municipio de San Vicente Ferrer, en el departamento de Antioquia, zona de tradición en la producción de fique en el departamento. El sitio donde se realizó la investigación se encuentra a una altitud de 2.350 msnm, con suelos de reacción ácida, con alto contenido de materia orgánica, alto contenido de fósforo, calcio, potasio y zinc; medio contenido de azufre, boro y cobre, y bajo de magnesio y manganeso. Durante el desarrollo del experimento las temperaturas nocturnas fluctuaron entre 9,8 y 15,8 °C, y las diurnas entre 19,8 y 25,2 °C, con una oscilación que varió entre 5,4 y 14,8 C.

La temperatura media registrada durante el período experimental fue de 17,8 °C, mientras que la precipitación acumulada fue de 1936.6 mm. Para los cálculos fisiológicos se desconoce la temperatura base del fique, por lo que las variables de evaluación se presentan usando el tiempo cronológico transcurrido desde el inicio de las mediciones.

Material vegetal

Las evaluaciones se realizaron en una plantación comercial de fique cv Ceniza (*Furcraea cabuya* Trelease). El cultivo utilizado para las mediciones presentaba variabilidad en la edad de las plantas, por lo que acorde al criterio de agricultor se conformaron grupos de plantas, de acuerdo a su edad a su edad (<10 años, 11-20 años y >20 años) y se realizaron monitoreos sobre los tres grupos de plantas, a manera de repeticiones. Las plantas de mayor edad presentaban registros de cosechas previas de hojas.

VARIABLES EVALUADAS

Número de hojas emitidas: Se registró semanalmente el número de hojas presentes en las plantas durante un periodo experimental de 154 días y con los datos obtenidos se calculó el número de hojas emitidas, mediante la siguiente relación.

$$\text{No. hojas emitidas} = \frac{\sum(\text{No. hojas}_j - \text{No. hojas}_i)}{\sum(\text{Tiempo}_j - \text{Tiempo}_i)}$$

Donde i y j representan periodos sucesivos de muestreo.

Tasa de aparición foliar (TAF): se calculó como la pendiente de la función lineal que relaciona el número de hojas emitidas a través del tiempo cronológico transcurrido en el período experimental. Con la tasa de aparición foliar se calculó el filocrono o periodo de tiempo entre la aparición de hojas

sucesivas, mediante el inverso de la tasa de aparición foliar (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

Crecimiento foliar: se dividieron las plantas en tercios (superior, medio y bajo), se marcaron las hojas de cada tercio y semanalmente se registró sobre la misma hoja, las ganancias en longitud, ancho y grosor de las hojas, por un período de 154 días. Las ganancias en longitud, ancho y grosor de las hojas se calcularon mediante la siguiente relación:

$$\text{Longitud} = \frac{\sum(\text{Longitud}_j - \text{Longitud}_i)}{\sum(\text{Tiempo}_j - \text{Tiempo}_i)}$$

Donde i y j representan periodos sucesivos de muestreo.

Tasa de elongación foliar (TEF): la tasa de elongación foliar se calculó con base en las ganancias en longitud, ancho y grosor foliar en función del tiempo cronológico transcurrido desde el inicio del experimento. La tasa de elongación correspondió a la pendiente de la curva de regresión que relaciona ambas variables (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

Intercambio gaseoso: en dos oportunidades durante el periodo experimental se realizaron monitoreos de intercambio gaseoso cada hora, durante un periodo de 24 h, iniciando a las 16:00 h y finalizando a las 11:00 h del día siguiente. El comportamiento diurno y nocturno de intercambio gaseoso se realizó utilizando plantas de edad intermedia, 10-20 años, hojas del estrato medio y la sección intermedia de la hoja. Las lecturas se realizaron con la ayuda de un equipo portátil de intercambio gaseoso marca LiCor6400XT (LiCor Biosciences, Lincoln, NB), utilizando un flujo de aire de 400 $\mu\text{mol s}^{-1}$, concentración de entrada de CO_2 de 370 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La actividad fotosintética se expresó en $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Diseño experimental y análisis estadísticos: El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con tres repeticiones, correspondientes a los tres grupos de edad de las plantas. Para los análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico SAS v9.4, realizando un análisis de varianza usando un nivel de significancia del 0,05 y pruebas de separación con la prueba HSD de Tukey. Para el análisis del crecimiento por estratos de la planta, se utilizó un diseño anidado o jerárquico, donde los estratos se consideraron anidados dentro de la edad de las plantas. Se realizaron también análisis de regresión para determinar las tasas de crecimiento foliar, relacionando las variables de crecimiento con el tiempo cronológico transcurrido.

RESULTADOS

Crecimiento foliar

Al iniciar la investigación, las plantas de fique presentaban en promedio 64,89 hojas, y transcurrido el período experimental (154 días), contaban con 83,67 hojas, lo que indica un incremento de 18,78 hojas por planta durante el periodo. El seguimiento al número de hojas permitió calcular la tasa de aparición foliar (TAF) mediante el ajuste de una función lineal entre el número acumulado de hojas emitidas a través del tiempo cronológico, lo cual indicó que bajo las condiciones ambientales del sitio experimental, se registró una TAF promedio de 0,156 hojas día⁻¹, con lo cual la tasa de emisión foliar o filocrono promedio fue de 8,65 días hoja⁻¹, sin variaciones significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes grupos de edades de las plantas. En cuanto al crecimiento de las hojas, los análisis realizados indicaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los estratos o tercios en los cuales se dividieron las plantas, en donde las mayores ganancias en longitud y ancho de las hojas se observaron en el estrato superior de las plantas.

Con lo anterior, las hojas desarrolladas en la parte superior de la planta alcanzaron una longitud final superior (165,9 cm), al alcanzado por las hojas en los estratos medio y bajo de la planta (156,1 y 155,7 cm, respectivamente). Similarmente, el ancho de las hojas, fue superior en los estratos superior y medio de la planta, alcanzando al final del periodo experimental valores de 18,1 y 18,0 cm, que fueron significativamente superiores a los alcanzados en el estrato bajo de la planta (17,2 cm). Por el contrario, en cuanto al grosor de las hojas, no se observaron diferencias en los tres estratos de la planta ($p < 0,05$), finalizando el periodo experimental con valores de 2,44, 2,33 y 2,53 cm para los estratos superior, medio y bajo, respectivamente.

El cálculo de la tasa de elongación foliar (TEF), permitió observar mayores valores promedios en el estrato superior de la planta, que explican la superioridad en el tamaño de las hojas en los estratos superiores (Tabla 1).

Tabla 1. Tasa promedio de elongación foliar (longitud, ancho y grosor de la hoja) por estrato de la planta de fique (mm día⁻¹), cultivar ceniza[†].

Estrato de la planta	Longitud de la hoja	Ancho de la hoja	Grosor de la hoja
Superior	7,94 ^a	1,02 ^a	0,24 ^a
Medio	1,14 ^b	0,83 ^a	0,19 ^a
Bajo	0,65 ^b	0,25 ^a	0,29 ^a
Promedio	3,31	0,70	0,24
CV%	16,88	22,91	8,64
D. Estándar	0,29	0,24	0,07

[†]Promedio de tres repeticiones y tres edades de las plantas. Valores con la misma letra dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes a un nivel $\alpha = 0,05$.

Con los datos de crecimiento foliar del estrato superior se ajustaron modelos de regresión a través de los cuales se muestra una aparente periodicidad de los procesos de crecimiento de las hojas, en donde en primera instancia se alcanzan los valores máximos de longitud, para luego continuar con las ganancias en

ancho de las hojas y finalizar con las ganancias en grosor. Los resultados mostraron que los máximos valores de longitud de las hojas se alcanzaron a los 114,48 días, los de ancho foliar a los 127,00 días y los máximos de grosor a los 143,25 días (Tabla 2).

Tabla 2. Ecuaciones de regresión que explican el crecimiento de las hojas de fique a través del tiempo en el estrato superior de la planta de fique, cultivar Ceniza[†].

Variable	Ecuaciones de regresión de mejor ajuste	R ²	Edad (días) a Max. valor
Longitud (cm)	$Y=34,727+0,8472x-0,0037x^2$	0,9415**	114,48
Ancho (cm)	$Y=1,9292+0,0762x-0,0005x^2$	0,9797**	127,00
Grosor (cm)	$Y=-0,1206+0,0573x-0,0002x^2$	0,8885*	143,25

[†]Promedio de tres repeticiones. *= significativo ($p<0,05$); **= altamente significativo ($p<0,01$).

Intercambio gaseoso

El monitoreo de las tasas de intercambio gaseoso permitió determinar que aun cuando se detectan valores positivos de conductancia estomática (g_s) durante ambos periodos, de luz y oscuridad, los resultados mostraron que la mayor apertura se inicia al final del día, durante el periodo de luz, a aproximadamente las 15:30 h. A partir de esa hora, la g_s se incrementa sustancialmente y se mantiene durante todo el periodo de oscuridad, para posteriormente decrecer a partir de las 09:30 h, del día siguiente, durante el periodo de luz. El anterior comportamiento sugiere un periodo nocturno de alta conductancia estomática, el cual tiene una duración aproximadamente 18 h, seguido de un periodo diurno de baja conductancia con una duración aproximada de 6 h (Figura 1).

Los anteriores movimientos estomáticos guardaron una estrecha relación con el

comportamiento diario del déficit de presión de vapor (VPD) y la temperatura foliar. Se observó que el cierre estomático ocurre cuando la temperatura foliar alcanza valores $\geq 25,4$ °C, y el DPV $\geq 1,8$ kPa (Figura 2).

Lo anterior sugiere que las bajas tasas de conductancia (g_s) ocurren por efecto de los incrementos en la temperatura foliar durante las horas de luz, lo cual ocurre probablemente con el fin de evitar pérdidas excesivas de agua por efecto de los incrementos en el DPV. Normalmente en las especies vegetales, los incrementos en la temperatura ambiente ocasionan un incremento en los valores de DPV, ocasionado por el gradiente de humedad entre la atmósfera y el interior de las hojas de las plantas, generando un estrés por déficit de agua, que ocasiona el cierre estomático y limita la capacidad fotosintética (Pereira *et al.*, 2021). A este respecto, una gran cantidad de evidencia sugiere que la

conductancia estomática y la transpiración se mantienen hasta un umbral de DPV, a partir del cual se reducen debido a altos valores de DPV, lo que trae como consecuencia una

cascada de impactos metabólicos posteriores que incluyen una reducción en las tasas de fotosíntesis y reducción en el crecimiento general de las plantas (Grossiord *et al.*, 2020).

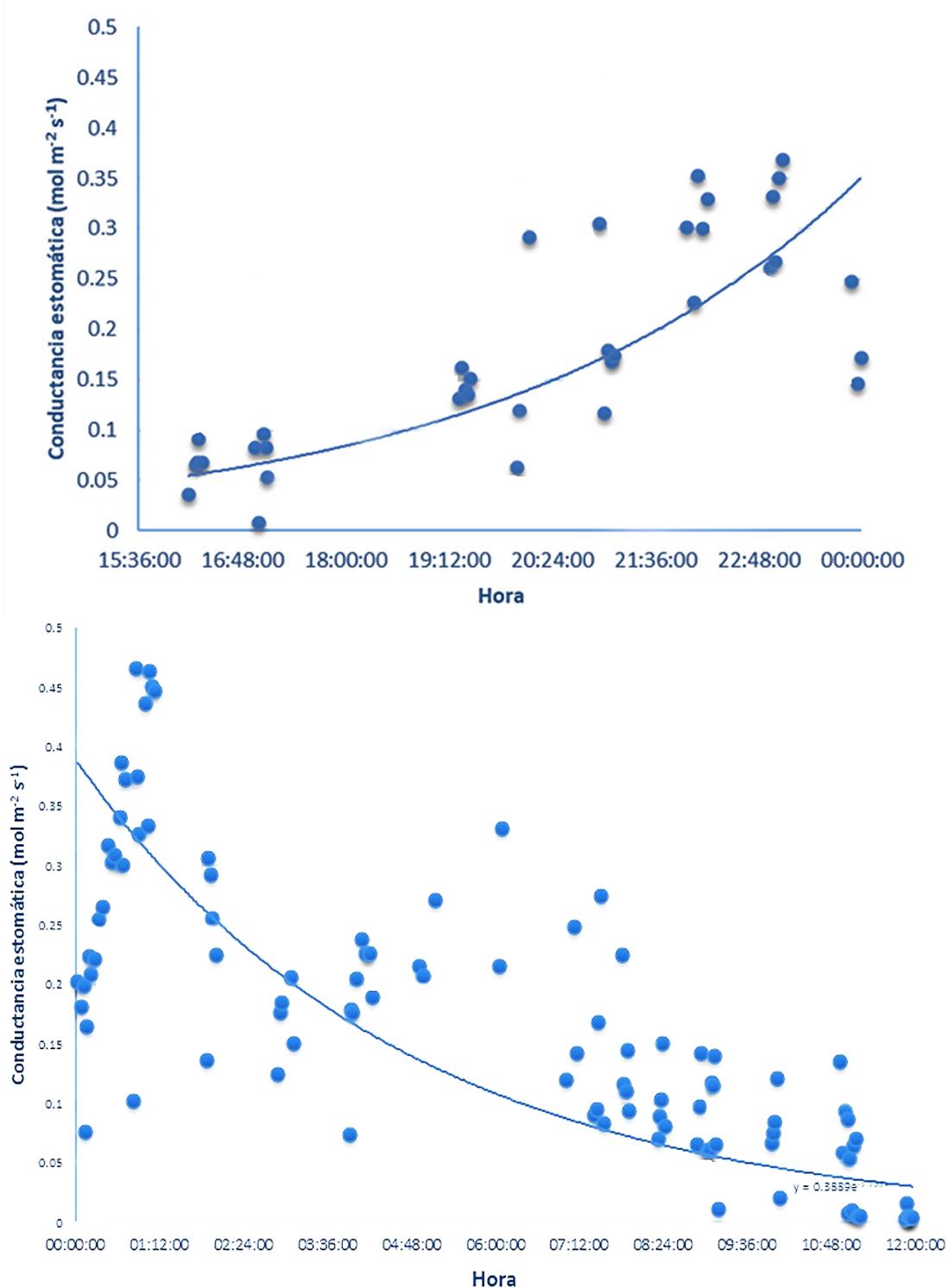


Figura 1. Comportamiento de la conductancia estomática (g_s) en plantas de fique cv Ceniza durante los periodos de oscuridad (arriba) y luz (abajo). Promedio de tres repeticiones y dos periodos de medición.

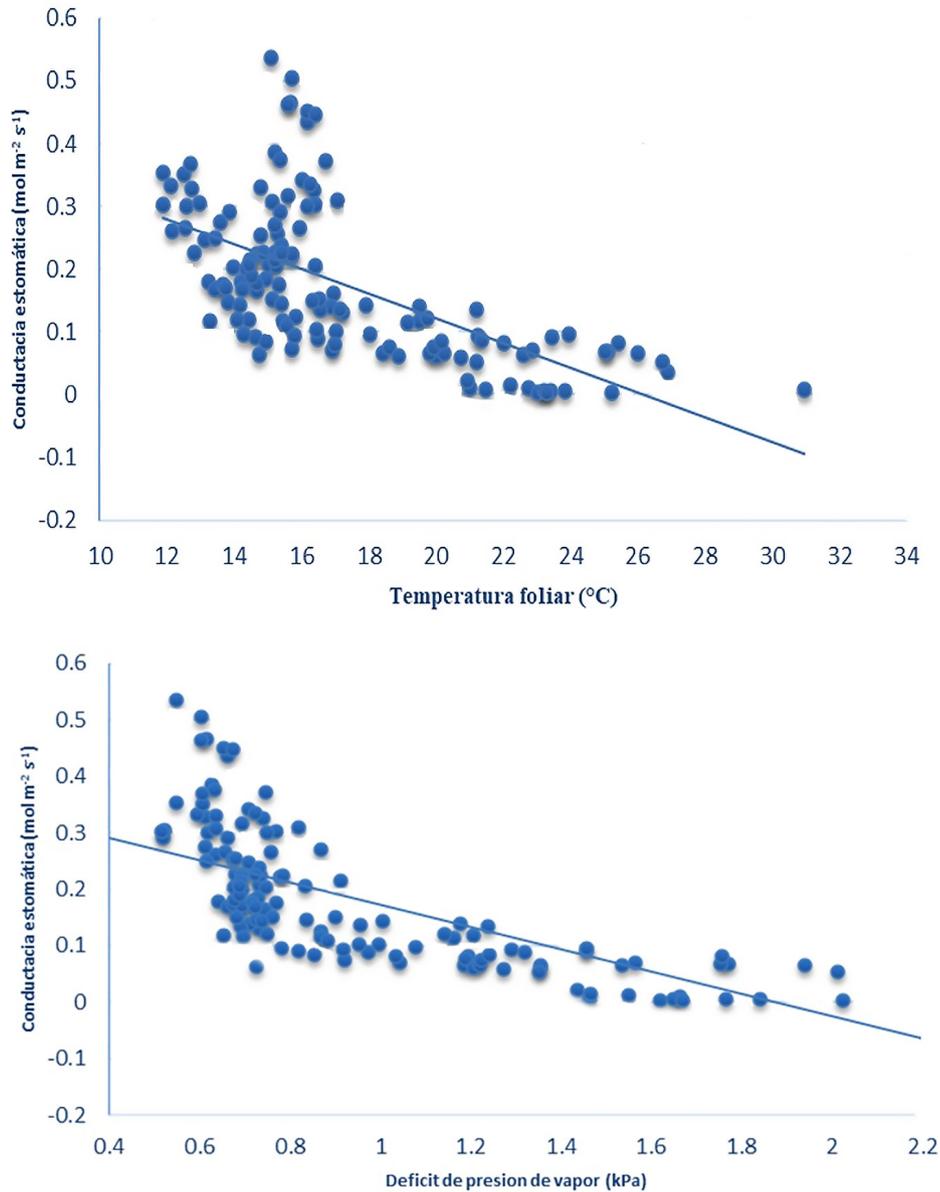


Figura 2. Variación de la conductancia estomática (g_s) por efecto de la temperatura foliar (arriba) y el déficit de presión de vapor (abajo) en plantas de fique del cultivar Ceniza. Promedio de tres repeticiones y dos períodos de medición.

Concomitante con los anteriores resultados, en nuestro experimento las tasas de fijación de CO_2 mostraron valores máximos y positivos de asimilación neta (P_N), durante todo el período de oscuridad y parte del período de luz. Las tasas de P_N guardaron una estrecha relación con la g_s (Figura 3). Se observaron valores máximos nocturnos de P_N equivalentes a 12,2-14,5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, las cuales se registraron entre las 19:19 y las

19:26 h, a una temperatura foliar de entre 15,2 y 19,9 °C. Un comportamiento diario similar fue reportado en Agave por Pimienta-Barrios *et al.* (2005; 2006), quienes lo asociaron con el comportamiento típico de plantas con metabolismo CAM, que muestran tasas de fotosíntesis durante la noche, y de respiración durante el día. Las plantas con metabolismo CAM presentan apertura estomática durante el periodo de oscuridad a fin de evitar

pérdidas de agua por transpiración, fijan en la noche el CO₂ atmosférico y lo convierten en ácidos orgánicos, principalmente malato, que es almacenado en las vacuolas (Lüttge, 2010; Andrade *et al.*, 2007). Estos ácidos orgánicos ocasionan una reducción sustancial en el pH al interior de las hojas, acorde a lo reportado en plantas de fique por Casierra-Posada y González, (2009).

Durante el período de luz, los estomas se cierran y los ácidos orgánicos acumulados se movilizan hacia el citoplasma donde se decarboxilan, liberando el CO₂ almacenado lo que genera una alta concentración interna, que permite su rápida fijación a través de la vía normal de rubisco, a través del ciclo de Calvin-Benson (Andrade *et al.*, 2007).

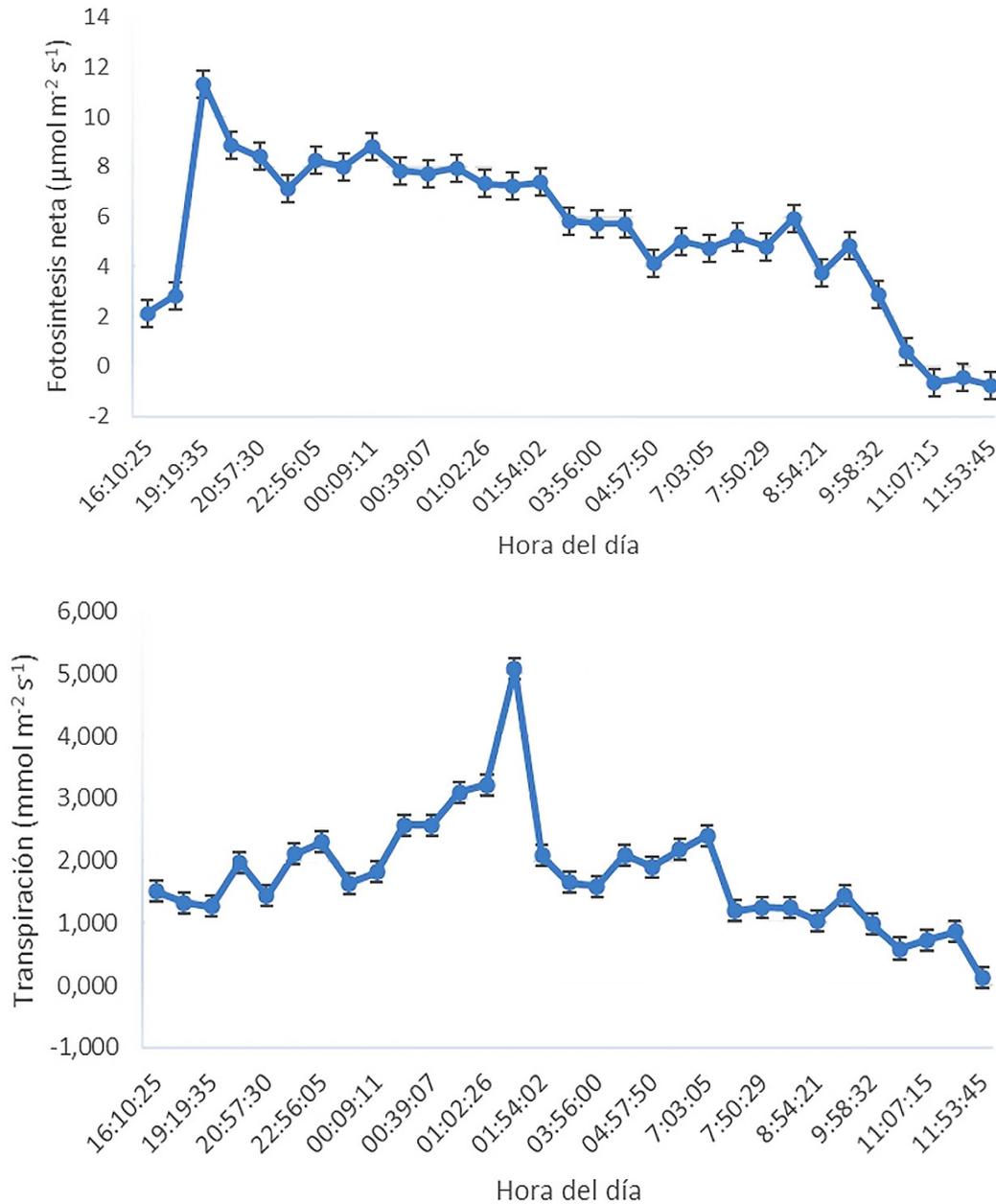


Figura 3. Comportamiento diario de la fijación de CO₂ (arriba) y transpiración (abajo) en las plantas de fique del cultivar Ceniza. Promedio de tres repeticiones y dos períodos de medición.

Se realizó una correlación entre la P_N y las variaciones en la temperatura foliar, lo que indicó que las mayores tasas de fotosíntesis en el cv Ceniza se presentan en la noche a una temperatura foliar de 15 a 18 °C. Las tasas P_N se mantienen durante todo el periodo de oscuridad y solamente se reducen al día siguiente, con el aumento en los niveles de luz y la temperatura ambiente. Las tasas de P_N se hacen mínimas, durante el periodo de luz, a una temperatura ≥ 26 °C (Figura 4). El anterior comportamiento corrobora estudios previos que indican que las temperaturas óptimas para la fijación del CO₂ en plantas

con metabolismo CAM se registra alrededor de los 15 °C (Kluge *et al.*, 1973; Neales, 1973). En especies con metabolismo CAM, como *Kalanchoë daigremontiana* y *K. pinnata*, se han determinado valores óptimos de la temperatura ambiente que favorecen la acumulación de ácidos orgánicos durante el periodo de oscuridad (Pereira *et al.*, 2021). En varias especies con metabolismo CAM se ha reportado valores óptimos de la temperatura de 25 y 15 °C, en el día y la noche (Yamori *et al.*, 2014.)

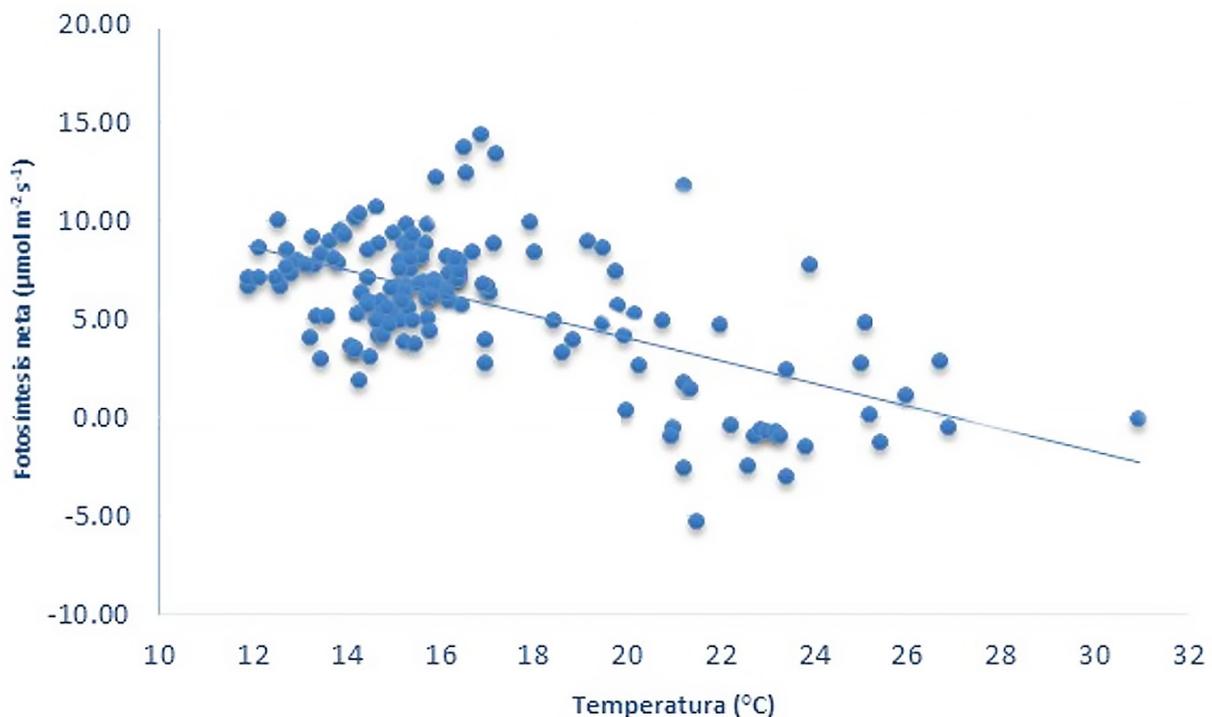


Figura 4. Relación entre la temperatura foliar y las tasas netas de asimilación de CO₂ (P_N) en las plantas de fique cultivar Ceniza. Promedio de tres repeticiones y dos períodos de medición.

En especies similares al fique, con metabolismo CAM, como es el caso de *Agave tequilana* (Pimienta-Barrios *et al.*, 2005), se ha demostrado la relación entre la temperatura y las tasas de asimilación de CO₂. Estos autores reportan reducciones hasta del 70% a consecuencia de las temperaturas altas durante el día o la noche, lo cual coincide con los resultados obtenidos

en este experimento. Lo anterior se explica debido a que en plantas con metabolismo CAM, las temperaturas nocturnas altas ocasionan una reducción en la actividad de la enzima PEP-Carboxilasa (Pimienta-Barrios *et al.*, 2005). Este comportamiento es típico también de plantas que se adaptan al estrés hídrico, las cuales reducen la conductancia estomática durante el periodo de luz para

evitar las pérdidas por transpiración debido a las altas temperaturas y alta radiación que ocurren durante el día (Schymanski y Zwieniecki, 2013; Shahzad *et al.*, 2022; Winter y Smith, 2022). El comportamiento diario de la transpiración en nuestros estudios corrobora el comportamiento CAM de las plantas de fique cv Ceniza. Mediante estudios histológicos realizados en el mismo sitio experimental por Murillo-Serna *et al.* (2018), corroboraron que las plantas de este cultivar presentan características anatómicas de plantas adaptadas a la sequía y metabolismo CAM. Similares resultados de anatomía foliar y distribución de los cloroplastos fueron obtenidos para plantas tipo CAM por Olmedilla Arnal *et al.* (2010).

CONCLUSIONES

Nuestros resultados permiten concluir que las plantas de fique del cultivar ceniza presentan una zona de activo crecimiento que se ubica en el estrato superior de la planta, en donde ocurre una activa emisión de nuevas hojas, las cuales registran constantes ganancias en longitud y ancho de las hojas. Las hojas desarrolladas en el estrato superior de la planta presentaron tasas superiores de crecimiento, con lo cual alcanzaron una mayor longitud y ancho de las hojas. Las plantas de fique cv Ceniza presentaron un comportamiento típico de metabolismo CAM, en donde las tasas máximas de captura de CO₂ se registraron durante el periodo de oscuridad, y se mantienen durante aproximadamente 18 h. Las tasas de intercambio gaseoso parecen responder al comportamiento diario de la temperatura foliar y el déficit en la presión de vapor. Las mayores tasas de fotosíntesis se registran a temperaturas foliares entre 15 y 18 °C.

Agradecimientos

Este trabajo formó parte del macroproyecto “Manejo Integrado e industrialización del cultivo de Fique”, producto “Caracterización del desarrollo foliar de los principales cultivares de fique y su relación con el ambiente,” desarrollado en ejecución del Convenio 1810/13 suscrito entre el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- AGROSAVIA. Los autores agradecen al estudiante de la Universidad de Antioquia Jhon Steven Murillo Serna quien como parte de su trabajo de pasantía realizó la toma de datos en campo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existió conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito

REFERENCIAS

- AgroNet, 2020.** Área sembrada y área cosechada del cultivo de fique en Colombia.
<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Anandjiwala, R. D. and John, M. 2010.** Sisal-cultivation, processing, and products. Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications, 181-95.
- Andrade, J. L., de la Barrera, E., Reyes Garcia, C., Ricalde, M. F., Vargas Soto, G. y Cervera, J. C. 2007.** El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 81, 37–50.

- Casierra-posada, F. y Gómez, N. E. 2008.** Crecimiento foliar y radical en plantas de fique (*Furcraea castilla* y *F. macrophylla*) bajo estrés por encharcamiento. *Agronomía Colombiana*, 26(3):381–388.
- Casierra-Posada, F. y González, D. M. 2009.** Cambio circadiano de pH y acidez titulable en la savia de fique (*Furcraea castilla* y *F. macrophylla*). *Orinoquia*, 13(1): 5–13.
- Di Benedetto, A. y Tognetti, J. 2016.** Técnicas de análisis de crecimiento de plantas : su aplicación a cultivos intensivos. *Ria*, 42(3): 258–282.
<http://www.scielo.org.ar/pdf/ria/v42n3/v42n3a07.pdf>
- Eggli, U. and Nyffeler, R. 2020.** Monocotyledons. In *Monocotyledons: Illustrated Handbook of Succulent Plants*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-56486-8>
- Lüttge, U. 2010.** Ability of crassulacean acid metabolism plants to overcome interacting stresses in tropical environments. *AoB PLANTS*, 2010: 1–15.
<https://doi.org/10.1093/aobpla/plq005>
- Murillo-Serna, J.S., Rincón-Baron, E.J. y Alzate-Guarín, F. 2018.** Anatomía foliar comparativa de tres especies de *Furcraea* (*Asparagaceae* : *Agavoideae*). *Hoehnea*, 45(4): 607–615.
- Olmedilla Arnal, A., Alché Ramírez, J. D. D. y Rodríguez García, M. I. 2010.** Identificación histológica y ultraestructural de plantas C 4 y CAM. C4 y CAM: Características Generales y Uso en Programas de Desarrollo de Tierras Áridas y Semiáridas. 107–114.
- Pereira, P. N., Niechayev, N. A., Blair, B.B. and Cushman, J. C. 2021.** Chapter 10 Climate Change Responses and Adaptations in Crassulacean Acid Metabolism (CAM) Plants.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-64926-5_10
- Pimienta-Barrios, E., Zañudo-Hernández, J. and García-Galindo, J. 2006.** Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Agrociencia*. 40(6): 699–709.
- Pimienta-barrios, E., Zañudo-Hernández, J., Nobel, P. S. y García-Galindo, J. 2005.** Respuesta fisiológica a factores ambientales del agave azul (*Agave*. In *scientiaCUCBA*. 7(2).
- Shahzad, S., Hussain, M., Arfan, M. and Munir, H. 2022.** Physiological and biochemical attributes of agave sisalana resilient adaptation to climatic and spatio-temporal conditions. *Pakistan Journal of Botany*. 54(1): 169–178.
[https://doi.org/10.30848/PJB2022-1\(15\)](https://doi.org/10.30848/PJB2022-1(15))
- Winter, K. and Smith, J. A. C. 2022.** CAM photosynthesis: the acid test. *New Phytologist*, 233(2): 599–609.
<https://doi.org/10.1111/nph.17790>
- Schymanski, S.J. and Maciej Zwieniecki, O.D. 2013.** Stomatal Control and Leaf Thermal and Hydraulic Capacitances under Rapid Environmental Fluctuations. *PLoS ONE* 8(1): e54231.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054231>
- Yamori, W., Hikosaka, K. and Way, D. A. 2014.** Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research*, 119(1): 101-117.
- Yu, C. 2005.** *Sisal*. In *Bast and other plant fibres*. Woodhead Publishing. 228-273.

Efecto de diferentes tipos de fertilizantes en el crecimiento del maíz criollo, Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquia

Effect of different types of fertilizers on the growth of Creole corn, Capachi morado, in the municipality of Andes, Antioquia

Karen Tatiana Cardona Restrepo¹; Esteban Augusto Escobar Posada¹
Liliana Andrea Ramírez Franco¹; Juan Felipe Rivera Hernández¹

Recibido para publicación: julio 06 de 2021- Aceptado para publicación: noviembre 10 de 2021

RESUMEN

El genotipo de maíz criollo Capachi morado, ha sido conservado y cultivado en el municipio de Andes, Antioquia; sin embargo, existen pocos estudios sobre su comportamiento en la zona. El objetivo de la investigación fue evaluar el crecimiento del maíz Capachi morado en respuesta a la aplicación de diferentes fuentes de fertilizantes. Se realizó un diseño completamente al azar, con 6 tratamientos y 12 repeticiones. Los tratamientos empleados fueron: Tratamiento 1 (micorriza 30 g/planta). Tratamiento 2 (fertilizante orgánico mineral BP-150, aplicando 30, 40 y 50 cm³/planta. Tratamiento 3 (micorrizas + BP-150). Tratamiento 4 (Triple 15, aplicando 5, 10 y 15 g/planta). Tratamiento 5 (micorrizas + Triple 15) y Tratamiento 6 (Testigo). Las aplicaciones de Triple 15 y BP-150, se realizaron a los 14, 29 y 43 días después de la siembra, respectivamente. El ensayo fue establecido durante 58 días, se midieron las variables altura de la planta, diámetro de la copa y longitud de raíz. A su vez, se determinaron los datos de Materia Seca (MS) y Área Foliar (AF), para estimar los índices de crecimiento, Índice de Área Foliar (IAF), Tasa de Asimilación Neta (TAN) y Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC). Los tratamientos que obtuvieron mejores resultados en cuanto a las variables altura de la planta, diámetro de la copa, MS, AF, TAN y TCC fueron el T4 (Triple 15) y T5 (Triple 15 más micorrizas). Se concluyó que, la aplicación de fertilizante químico con las dosis recomendadas promueve el crecimiento de las plantas de maíz Capachi morado.

Palabras clave: Biofertilizante; Hongo micorrizal; Tasa de Asimilación Neta, Nutrición mineral.

ABSTRACT

The Capachi morado creole maize genotype has been conserved and cultivated in the municipality of Andes, Antioquia; however, there are few studies related to its performance in the area. The objective of the research was to evaluate the growth of Capachi morado maize in response to different fertilizer sources amendment. A complete randomized design was used with 6 treatments and 12 replicates. The treatments were: Treatment 1 (mycorrhizae 30 g plant⁻¹). Treatment 2 (organic mineral fertilizer BP-150, at 30, 40 and 50 cm³plant⁻¹). Treatment 3 (mycorrhizae + BP-150). Treatment 4 (Triple 15 at 5, 10 and 15 g plant⁻¹). Treatment 5 (mycorrhizae + Triple 15) and Treatment 6 (Control). The amendment with Triple 15 and BP-150 were made at 14, 29 and 43 days after planting, respectively. The trial lasted for 58 days, the evaluated variables were plant height, canopy diameter and root length. Dry matter (DM) and Leaf Area (LA) data were recorded to estimate growth rate, Leaf Area Index (LAI), Net Assimilation Rate (NAR) and Crop Growth Rate (CGR). The treatments that showed the best results with respect to plant height, canopy diameter, DM, LA, NAR and CGR were T4 (Triple 15) and T5 (Triple 15 plus mycorrhizae). Amendment with chemical fertilizer at recommended doses promotes growth of Capachi morado maize plants.

Key words: Biofertilizer; Mycorrhizal fungi; Mineral nutrition; Net Assimilation Rate.

Cómo citar

Cardona Restrepo, K. T., Escobar Posada, E. A., Ramírez Franco, L.A. y Rivera Hernández, J. F. 2021. Efecto de diferentes tipos de fertilizantes en el crecimiento del maíz criollo, Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquia. *Temas Agrarios* 26(2): 140-151 <https://doi.org/10.21897/ta.v26i2.2847>



Temas Agrarios 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el maíz es el tercer cultivo con mayor superficie de siembra después del café y el arroz, tiene una dimensión social importante en la alimentación de millones de colombianos, aportando el 9% del suministro diario de energía de su dieta. (FENALCE, 2019). En la actualidad, la implementación de cultivos intensivos ha generado la pérdida de semillas nativas de gran valor, así lo afirma Betancur (2018). Por lo tanto, es importante realizar estudios que evalúen el crecimiento de estos materiales nativos con aplicaciones de diferentes fuentes de fertilización, en especial en la zona de estudio, donde se ha cultivado tradicionalmente.

Los nutrientes que mayormente limitan la productividad del cultivo de maíz son el nitrógeno (N) y el fósforo (P), es por este motivo que uno de los pilares fundamentales para optimizar la producción es el manejo de esos nutrientes. No obstante, para suplir estos elementos, se aplican fertilizantes químicos que generan altos costos en la producción (Mora y Leblanc, 2012). Según Morejon *et al.* (2017), la inversión en la fertilización en este cultivo, represente aproximadamente el 30 % de los costos de la producción de las áreas con riego y hasta el 60% en áreas de secano.

Por ello es pertinente, evaluar otras alternativas de fertilización, tales como fertilizantes orgánicos y biofertilizantes a base de micorrizas. Por consiguiente, la utilización de fertilizantes orgánicos también es una opción que permite disminuir el uso de agroquímicos y mejorar las propiedades del suelo. Así lo afirma Arango (2017), los abonos orgánicos tienen efectos importantes sobre el mejoramiento y productividad de los suelos, especialmente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de este importante recurso. La aplicación de abonos orgánicos puede aportar a las

plantas los requerimientos nutricionales que estas necesitan, además pueden aumentar la cantidad de microorganismos en el suelo, así como mejorar sus características físicas (Ramos *et al.*, 2016). Por otra parte, diversos estudios han demostrado que los abonos orgánicos pueden ser aplicados combinados con fertilizantes inorgánicos (N, P, K); lo cual se constituye en una alternativa de manejo (Arrieche y Ruiz, 2014).

En cuanto a los biofertilizantes a base de micorrizas, se han adelantado estudios sobre los beneficios de estas aplicaciones. La existencia de relaciones simbióticas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), promueven la captación de nutrientes en especial de aquellos que tienen escasa movilidad tales como el fósforo y el nitrógeno, favoreciendo de esta manera el crecimiento y la producción vegetal (Rodríguez *et al.*, 2015). Estudios realizados por Mora *et al.* (2012) aseguraron que aplicando el hongo *Glomus fasciculatum* se puede disminuir la dosis de fósforo, además las plantas presentaron mayor altura y biomasa en el cultivo de maíz.

Con base en lo anterior, el objetivo general fue evaluar el crecimiento de maíz capachi morado en respuesta a diferentes dosis de micorrizas, fertilizante orgánico y químico en Andes, Antioquia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se realizó durante el primer semestre del año 2021 en el departamento de Antioquia, municipio de Andes en el corregimiento de San Bartolo, finca “La Primavera”, la cual está ubicada a 1762 msnm, con una temperatura promedio de 22 °C y una humedad relativa de 60 %; se encuentra a una distancia de 9 km del casco urbano del municipio. El sitio de estudio presenta las siguientes coordenadas 5°38'42" N 75°50'59" W (Google Earth, 2021).

Según las condiciones medioambientales en las que se desarrolló la investigación, la zona de vida del corregimiento se denomina bosque húmedo premontano (bh-PM) (Corantioquia, 2005).

Siembra del material vegetal. Para este experimento, se evaluó semilla de maíz nativo propia de la región, esta es conocida por los productores como maíz capachi morado, la cual se obtuvo directamente de un agricultor de la zona, quien la ha conservado por varios años. El experimento se realizó a campo abierto llevando a cabo la siembra en bolsas de 2,5 kg, utilizando sustrato previamente esterilizado mediante tratamiento físico con agua hirviendo y bajo cubierta durante 5 días. Se realizaron las labores culturales propias del cultivo, como manejo de arvenses, manejo fitosanitario y aporque entre otras prácticas.

El análisis del suelo base del sustrato utilizado dio como resultados: una textura arenosa franca, un pH de 6,55 y un contenido de materia orgánica del 7,99%; 35,69 cmol/kg de Ca; 9,32 cmol/kg de Mg; 0,83 cmol/kg de K; 44,38 cmolc(kg de S y un aporte de microelementos de 6,47 mg/kg de Cu; 229,40 mg/kg de Fe; 18,79 mg/kg de Mn; 39,58 mg/kg de Zn y 0,39 mg/kg de B, respectivamente realizado por el laboratorio de suelos de los Andes Cooperativa.

Diseño experimental. Se empleó un diseño completamente aleatorizado (DCA), con 6 tratamientos y 12 repeticiones por cada tratamiento. A continuación, se explican los tratamientos empleados.

Tratamiento 1 (T1). Sustrato con 30 g de micorrizas por planta al momento de siembra.

Tratamiento 2 (T2). Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150) (30, 40 y 50 cm³/planta), estas dosis se aplicaron dependiendo de la fenología de la planta a los 14, 29 y 43 días, respectivamente, después de la siembra.

Tratamiento 3 (T3). Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150 (30,40 y 50 cm³) /planta, esta aplicación se dividió en dos procesos, por un lado, la aplicación de las micorrizas se realizó al momento de la siembra y por el otro lado el BP-150 se aplicó en diferentes etapas de crecimiento de la planta a los 14, 29 y 43 días, respectivamente después de la siembra.

Tratamiento 4 (T4). Suelo con fertilizante mineral triple quince (5,10,15 g/planta), estas dosis se aplicaron dependiendo de la fenología de la planta a los 14, 29 y 43 días, respectivamente después de la siembra.

Tratamiento 5 (T5). Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5,10,15 g/planta), esta aplicación se divide en dos procesos, por un lado, la aplicación de las micorrizas se realizó al momento de la siembra y por el otro lado el triple 15 se aplicó en diferentes etapas de crecimiento de la planta a los 14, 29 y 43 días, respectivamente después de la siembra.

Tratamiento 6 (T6). (Testigo) sólo con sustrato.

El T1, T3 y T5 fueron tratados con micorrizas al momento de la siembra. El producto comercial de micorrizas empleado, contenía las siguientes especies: *Glomus fasciculatum*, *Scutellospora heterogama*, *Glomus mosseae*, *Glomus manihotis*, *Acaulospora rugosa* y *Entrophospora* colombiana; con una concentración de 300 esporas por gramo.

Variabes. Las variables alométricas de crecimiento, fueron medidas con una frecuencia semanal, durante las primeras siete semanas, determinándose el diámetro de la copa y altura de la planta. Las plantas fueron cosechadas a los 28, 42 y 58 días después de la siembra, esto dado a que en esos rangos de tiempo se estipulaba que las plántulas de maíz podían haber asimilado las aplicaciones de los fertilizantes. Se tomaron cuatro plantas al azar por tratamiento y se evaluaron las siguientes variables: Área foliar

(AF), la cual se midió con el equipo portátil LI-COR Model LI-3000C, Materia seca (MS) este valor se obtuvo secando las muestras en Horno Binder ED53 Serial 13-1617 a 70° Celsius durante siete días. Posteriormente, se calculó la longitud de raíces midiendo desde el cuello hasta la raíz más larga con cinta métrica.

Con el AF y MS, se calcularon los parámetros de crecimiento, tales como: Índice de Área Foliar (IAF), mediante la fórmula propuesta por Gardner *et al.* (2003) el IAF permite medir la relación entre la superficie asimilatoria (el follaje extendido) y la superficie de suelo ocupada por ese follaje, expresa la magnitud del área que el cultivo expone a la radiación solar incidente para que realice la fotosíntesis (Jarma *et al.*, 2010).

La Tasa de Asimilación Neta (TAN), se obtuvo gracias a la fórmula de Field *et al.* (1996); este parámetro correlaciona positivamente con la tasa de abastecimiento de nutrientes que permite la eficiencia de los órganos asimilatorios en producir nuevo crecimiento; refleja la asequibilidad de recursos (especialmente luz) y desarrollo de la hoja.

Finalmente, la Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) hallada con la multiplicación del IAF por La TAN.

Análisis de datos. Para las variables altura, diámetro de la copa, longitud de raíz y AF, luego de la transformación indicada por el método de Box y Cox (1964), los datos fueron analizados por ANOVA, y cuando fueron significativos, se realizó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey. El nivel de significancia considerado fue del 5% de probabilidad. Los análisis se realizaron mediante el software R 4.0.2 (R core Team, 2020), utilizando los paquetes agrícolas (De Mendiburu, 2017), openxlsx 4.1.0 y car (Fox y Weisberg, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico de la altura de la planta demostró diferencias significativas a partir de la semana 4 (día 36) ($p < 0,05$) hasta la semana quinta, sexta y séptima ($p < 0,01$) encontrando que el T1 (micorrizas) tuvo un menor desempeño con respecto a los demás tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de los tratamientos en la altura semanal del maíz, variedad Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquía

Tratamientos.	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.5	Sem.6	Sem.7				
T1	6,70	11,22	17,05	22,04	b1	22,70	b	26,40	b	30,05	c
T2	7,53	12,04	18,69	24,23	ab	26,05	ab	29,35	B	34,00	c
T3	6,73	11,73	18,05	23,10	b	26,60	ab	32,35	ab	38,15	bc
T4	7,78	11,15	19,06	29,06	ab	45,60	a	58,33	A	97,15	a
T5	7,03	11,27	20,13	30,49	a	43,40	a	56,20	A	95,30	ab
T6	8,29	12,53	18,40	24,10	ab	28,95	ab	36,15	ab	42,10	abc
Significancia	0,071ns	0,618 ns	0,218 ns	0,019*	0,007**	0,002**	0,004**				

Medias con letras iguales en sentido vertical, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey = 0,05). Sem= semana, Ns= no significativo, *0= significativo al 5 %, **=significativo al 1%. T1= Sustrato con 30 g de micorrizas por planta, T2 = Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150). T3 = Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150). T4= Suelo con fertilizante mineral triple quince (5,10,15 g/planta). T5= Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5,10,15 g/planta). T6 = .(Testigo) sólo con sustrato.

Como se observa en la figura 1a el T4 y T5 obtuvieron un mejor resultado en cuanto a la altura de la planta, lo que coincide con lo encontrado por Morejón *et al.* (2017), quienes encontraron una mejor respuesta en cuanto a la altura de la planta de maíz transgénico FR-Bt1 de (*Zea mays* L.) aplicando fertilización química con un 75 % NPK + EcoMic®+ FitoMas®-E seguido de 100 % NPK (202,2 cm y 200,2 cm respectivamente). Asimismo, en investigaciones por Martínez *et al.* (2018) informa que con diferentes aplicaciones de

N, P y K en maíz, dando como resultado que el mejor tratamiento para la altura de la planta fue la fertilización química, 160-46-30, seguido de *Azospirillum brasilense* + 80-23-15 y *Azospirillum brasilense* + 160-46-30, obteniendo la menor altura el testigo absoluto. Finalmente se encuentra que, para el estudio desarrollado en maíz híbrido por Barrera *et al.* (2017), no hubo diferencias significativas en cuanto a altura de la planta, número de hojas, MS y AF.

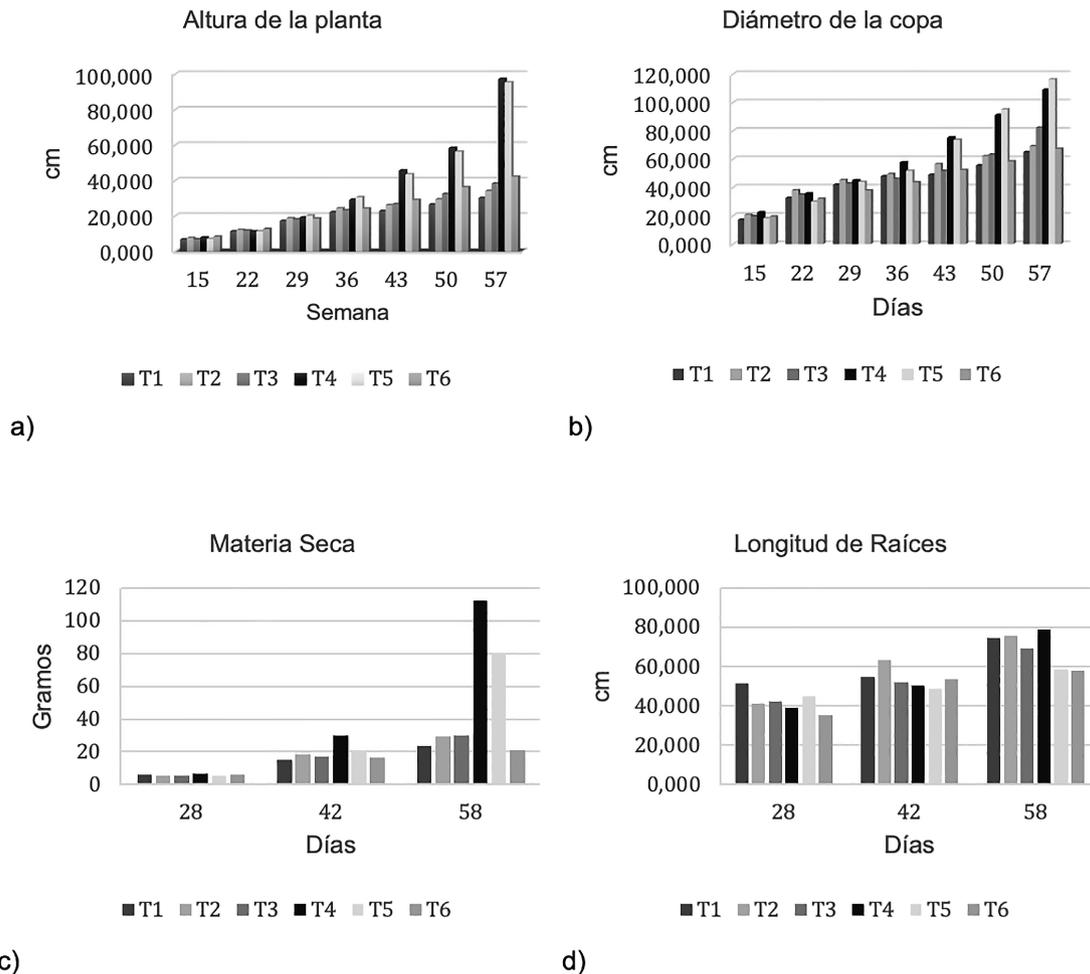


Figura 1. Variables de crecimiento para maíz Capachi morado en respuesta a la aplicación de diferentes fuentes de fertilizantes **a).** Altura de la planta. **b).** Diámetro de la copa. **c).** Materia seca. **d).** Longitud de raíces. T1. Sustrato con 30 g de micorrizas por planta. T2. Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150). T3. Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150). T4. Suelo con fertilizante mineral triple quince (5, 10, 15 g/planta). T5. Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5, 10, 15 g/planta). T6 (Testigo) sólo con sustrato.

Longitud de raíces

Al realizar el análisis estadístico con respecto a la longitud de raíces se presentaron

diferencias significativas en la semana tres, entre el T1 con respecto al T6 (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de los tratamientos en la longitud de raíz y área foliar de la variedad Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquia.

Tratamientos	Sem.3	Sem.5	Sem.7	Sem.3	Sem.5	Sem.7
	Longit. Raiz	Longit. Raiz	Longit. Raiz	Área Foliar	Área Foliar	Área Foliar
T1	51,65 a ¹	54,65	74,62a	366,93a	611,45	1005,47
T2	41,27ab	63,50	75,87a	320,80a	736,42	1253,94
T3	42,15ab	51,85	69,25a	326,76a	677,76	1298,11
T4	39,03ab	50,20	78,77a	487,45a	1287,00	4473,27
T5	44,85ab	49,00	58,50a	412,58a	796,54	3219,80
T6	35,55b	53,75	58,05a	489,46a	712,88	799,02
Significancia	0,018*	0,203 ^{ns}	0,012*	0,018*	0,268 ^{ns}	0,340 ^{ns}

Medias con letras iguales en sentido vertical, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey = 0,05). Sem= semana, ns= no significativo, *0= ignificativo al 5 %, **=significativo al 1%. T1= Sustrato con 30 g de micorrizas por planta, T2 = Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150). T3 = Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150). T4= Suelo con fertilizante mineral triple quince (5,10,15 g/planta). T5= Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5,10,15 g/planta). T6 = .(Testigo) sólo con sustrato.

De igual manera el T2 y T4 arrojaron los mejores resultados con respecto a esta variable. Los tratamientos que tuvieron los rendimientos más bajos durante los días evaluados fueron el T5 (Triple 15 más micorrizas) y el T6 (Figura 1d). Estos datos son soportados por Montejó (2014) quien evaluando plantas de maíz no obtuvo diferencias significativas en la longitud de raíces a los 30, 45 y 60 días, sin embargo, los tratamientos Micorriza y *Azospirillum* (MA), Micorriza y *Azospirillum* + Fertilizante químico 50% (MA+FQ50%) y (Testigo) presentaron un aumento en la longitud de las raíces comparado con (FQ100%). Posteriormente Montejó *et al.* (2018) encontraron que los tratamientos de FQ100% y MA+FQ50% obtuvieron una mayor producción y longitud de raíces finas, en comparación con las otras aplicaciones. Algunos investigadores tales como Baéz *et al.* (2018) afirman que la aplicación de 300 mL de micorrizas y sanialgas® en el suelo para maíz forrajero, permite una mayor exploración de las raíces para la captación de nutrientes.

Diámetro de la copa y Materia Seca (MS)

En los resultados obtenidos con respecto al diámetro de la copa, se puede observar que el T5 seguido del T4 obtuvieron los mayores valores con medidas de 116,12 y 108,88 cm en la semana siete tal y como se observa en

la figura 1b, no obstante, para esta variable no se observaron diferencias significativas en cuanto a la aplicación de los tratamientos, a excepción de la semana 2 donde se presentó diferencias entre el T2 y T5 (Tabla 3). Además, se observó que el tratamiento que tuvo el comportamiento más bajo fue el T1, el cual estuvo por debajo del testigo.

Al analizar la MS, los tratamientos con mejor respuesta fueron el T4, seguido del T5 a los días 58 días de evaluación, con pesos por planta de 112,59g y 80,26g respectivamente, estos datos fueron mucho mayores comparados con el testigo que obtuvo un valor de 21,04 g, tal y como se puede ver en la figura 1c. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Gaviria (2016) quien expresa que en los primeros 64 días después de la siembra, la MS se comporta de manera ascendente y luego esta tiende a disminuir o mantenerse constante, para el estudio de este autor, la producción de masa seca en el cultivo de maíz, alcanza su máximo punto de acumulación en el día 78, además que presenta los aumentos más significativos sobre los días 43 y 71 después de la siembra. Sánchez *et al.* (2012) expresa que la acumulación de MS por una población de plantas de maíz, depende principalmente del total de carbono fijado y de la intercepción de radiación fotosintéticamente activa, además

del uso eficiente por el dosel del cultivo. Por lo tanto, se puede observar que en T4 y T5 al haber producido mayor diámetro de la copa (Figura 1b) y AF (Figura 2c) permitió una mayor producción de MS, lo cual concuerda con los resultados encontrados en este experimento. Finalmente, en un estudio realizado por

Guzmán *et al.* (2020) que se llevó a cabo en el forraje *B. brizantha* cv. Toledo al cual se le aplicaron A.L.O.F.A (Abono Líquido Orgánico Fermentado Aeróbicamente) al 2,5% +Inoculante micorrízico (IM) y BP-150 al 0,5% arrojaron que la mezcla de estos superó en un 35% al testigo en MS.

Tabla 3. Efecto de los tratamientos en el diámetro de la copa (cm) semanal del maíz, variedad Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquía

Trat.	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 7
1	17,07	32,56 ab ¹	41,81	47,75	56,75	55,38	64,75
2	20,54	37,88 A	45,19	49,31	58,00	62,00	69,00
3	19,50	34,88 Ab	42,75	46,00	49,75	63,13	82,00
4	22,21	35,63 Ab	45,00	57,50	57,50	91,00	108,88
5	18,13	29,79 B	43,88	51,63	56,00	94,88	116,13
6	19,35	31,96 Ab	37,75	43,56	49,25	58,25	67,13
Significancia	0,499 ^{ns}	0,040*	0,274 ^{ns}	0,785 ^{ns}	0,513 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,135 ^{ns}

¹Médias seguidas de letras iguales en la columna no difieren entre sí, según el teste de Tukey a 5% de probabilidad.

²Valor de probabilidad del teste F (ANOVA). ns= No significativo a 5% de probabilidad, según el teste F (ANOVA). *Significativo a 5% de probabilidad, según el teste F (ANOVA). T1. Sustrato con 30 g de micorrizas por planta. T2. Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150). T3. Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150). T4. Suelo con fertilizante mineral triple quince (5,10,15 g/planta). T5. Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5,10,15 g/planta). T6 (Testigo) sólo con sustrato.

Área Foliar (AF)

El análisis estadístico mostró que no hubo diferencias significativas en cuanto a esta variable durante las semanas 3, 5 y 7 de evaluación (Tabla 2), cabe destacar que T4 (Triple 15) y T5 (Triple 15 más micorrizas) obtuvieron AF de 4.473,27 y 3.219,80 cm² obteniendo los mejores resultados (Figura 2c). El T6 (testigo) obtuvo el menor resultado. Lo anterior se puede confirmar según lo escrito por Betancourt *et al.* (1998) quienes observaron que el AF incrementó con las dosis de nitrógeno aplicado en maíz, siendo 100 kg ha⁻¹ la que produjo los mejores resultados. En otro estudio realizado por Barrera *et al.* (2017) los mayores valores de AF de la planta de maíz fueron reportados por el tratamiento químico en el periodo 21 - 77 DDE (Días Después de Emergencia).

El Índice de Área Foliar (IAF)

Al observar el comportamiento de los datos obtenidos en esta variable, visibles en los histogramas, tal y como se muestra en la figura 2d, se determinó que las plantas con el T4 (Triple 15) obtuvieron los mejores resultados (0,480) en promedio, las plantas que obtuvieron los rendimientos más bajos (0,225) fueron las del testigo, el cual corresponde al T6. En este mismo sentido se pudo observar que los resultados del IAF fueron muy variables dependiendo de la etapa fenológica de la planta y del tratamiento aplicado.

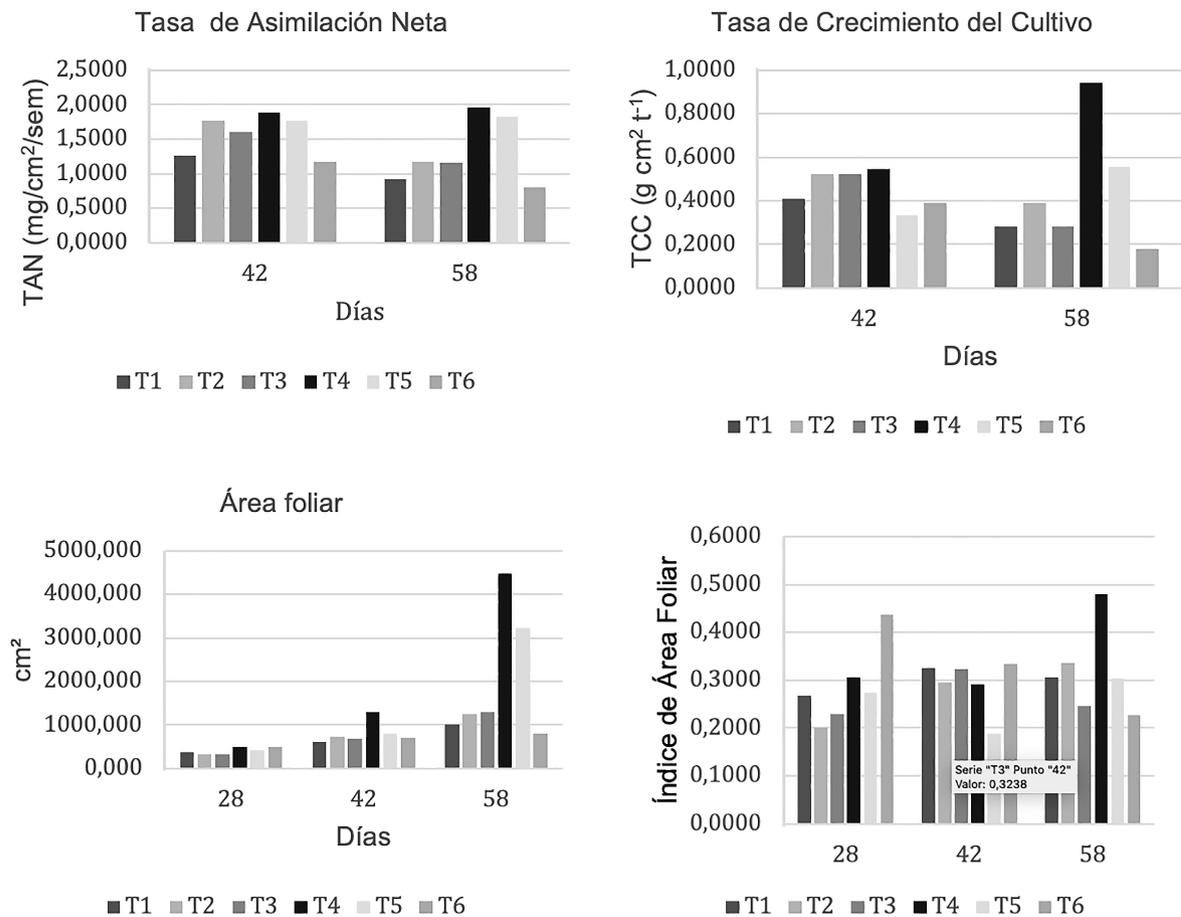


Figura 2. Índices y variables de crecimiento para maíz capachi morado en respuesta a diferentes fuentes de fertilización. **a).** Tasa de Asimilación Neta. **b).** Tasa de crecimiento del cultivo. **c).** Área Foliar. **d).** Índice de Área Foliar. T1. Sustrato con 30 g de micorrizas por planta. T2. Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150). T3. Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150). T4. Suelo con fertilizante mineral triple quince (5,10,15 g/planta). T5. Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5,10,15 g/planta). T6 (Testigo) sólo con sustrato.

En el estudio realizado por Charry *et al.* (2016) al evaluar la respuesta de parámetros de crecimiento en tres genotipos de arroz Fedearroz Mocarí Fedearroz Caracolí y Fedearroz 473 en varios ambientes en el departamento de Córdoba encontraron valores de IAF de 0,50. Por otro lado, Aguilar *et al.* (2015) hallaron que en maíz con aplicaciones de 160 kg/ha de N se logró al día 54 un IAF de 4,52. Otras evaluaciones llevadas a cabo por López *et al.* (2018) indican que el rendimiento del tomate de cáscara (*Physalis philadelphica* Lam.) fue mayor en Texcoco, Estado de México (722,1 g m⁻²) que en Tlaquiltenango, Morelos (370,9 g m⁻²) debido a una mayor AF por planta (128,9 dm²) encontrando valores de

(TAN) 0,09 g g⁻¹ d⁻¹. Por otra parte, Castellanos *et al.* (2017) realizaron un estudio en maíz donde se evaluaron dos dosis de nutrientes: 140 kg ha⁻¹ de nitrógeno ureico (úrea), 50 kg ha⁻¹ de fósforo como P₂O₅ y 100 kg ha⁻¹ de potasio como K₂O y 175 kg ha⁻¹ de nitrógeno ureico (úrea), 70 kg ha⁻¹ de fósforo como P₂O₅ y 140 kg ha⁻¹ de potasio como K₂O en donde se encontró que no hubo diferencias significativas en cuanto al IAF.

Tasa de Asimilación Neta (TAN)

Para este caso, mostró que el T4 (triple quince) seguido del T5 (triple quince más micorrizas) presentaron los mayores valores con 7,85 y

7,30 mg/cm²/semana respectivamente, como se puede observar en la figura 2a. El menor valor lo obtuvo el testigo (T6) con 3,18 mg/cm² por semana, mientras que para el T2 y el T3 no hubo diferencias, de igual manera se pudo observar que para todos los tratamientos se presentó una disminución en la TAN debido al aumento del AF de las plantas. Santos *et al.* (2010) encontraron que la TAN como indicador de la eficiencia fotosintética promedio, presentó los mayores valores al comienzo del ciclo de cultivo en todas las variedades de papa debido a que las plantas se encontraban en el inicio de la etapa fenológica de desarrollo de hojas. En este mismo sentido Aguilar *et al.* (2015) encontraron que aplicando 160 kg/ha de N, en la variedad de maíz H-562 se generó la más alta TCC y la mayor TAN.

Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC)

En los datos correspondientes a la Figura 2b se puede observar que el T4 obtuvo un mayor rendimiento en cuanto a la TCC con un valor de 0,0075 (g cm² t⁻¹). El tratamiento que obtuvo una menor respuesta fue el T6 con un valor de 0,0014 (g cm² t⁻¹) el cual corresponde al testigo. Aguilar *et al.* (2015) encontraron que, en cuanto al índice y duración de AF en maíz, el valor más alto fue con 80 y 160 kg/ha de N, lo que ocasionó la mayor TCC, pero no fue así en la TAN. Los investigadores Aguilar *et al.* (2017) hallaron que, para la MS, TCC y TAN, los valores más altos se tuvieron con la aplicación de biofertilizante, y la aplicación de 80 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, durante el ciclo del cultivo de maíz VS-535.

CONCLUSIONES

Se concluye que los tratamientos que obtuvieron mejores resultados en cuanto a las variables altura de la planta, diámetro de la copa, MS, AF, TAN y TCC fueron con los tratamientos que contienen la fórmula 15-15-15 y el que tiene la combinación de 15-15-15

más el biológico a base de micorrizas. Lo que sugiere, que en la zona de Andes- Antioquia el crecimiento de maíz capachi morado, puede obtener óptimos resultados implementando estas fuentes de fertilización.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existió conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito.

REFERENCIAS

- Aguilar, C., Salvador, J., Aguilar, I. y Perez, A. 2017.** Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12): 475–483.
<http://ri.ujat.mx/bitstream/20.500.12107/1001/1/1000-873-A.pdf>
- Aguilar, C., Salvador, J. y Aguilar, I. 2015.** Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. 33(1): 51–62.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n1/2395-8030-tl-33-01-00051.pdf>
- Arango, J. 2017.** Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos
http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2036/1/Abonos_organicos_alternativa_conservacion_mejoramiento_suelo.pdf.
- Arrieché, I. y Ruiz, M. 2014.** Efecto de la fertilización orgánica con NPK sobre la materia orgánica y el rendimiento del maíz en suelos degradados. *Revista Observador del conocimiento*, 2(1): 203-212.

- Báez, A., Renteria, F. y Renteria, P. 2018.** Evaluación de dosis de biofertilizante y sanialgas en la producción de maíz (*Zea mays* L.) forrajero en la Comarca Lagunera. Ingeniería y Región, 20: 29–34.
<https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/1932/3864>
- Barrera-Violeth, J L., Cabrales-Herrera, E M. y Sáenz-Narváez, E.P. 2017.** Respuesta del maíz híbrido 4028 a la aplicación de enmiendas orgánicas en un suelo de Córdoba - Colombia. ORINOQUIA, 21(2): 38-45.
<https://doi.org/10.22579/20112629.416>
- Betancur, K. 2018.** Perdida de identidades campesinas debido a la desaparición de semillas nativas: el caso del maíz cucaracho y la familia Arias de la vereda El Viento en Barbosa, Antioquia en el año 2018.
<https://core.ac.uk/download/pdf/160670273.pdf>
- Betancourt, P., González, J., Figueroa, B. y González, F. 1998.** Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. Terra Latinoamericana, 16(3): 231–237.
<https://www.redalyc.org/pdf/573/57316306.pdf>
- Box, G. and Cox, D. 1964.** An Analysis of Transformations (with Discussion). Journal of the Royal Statistical Society, Series B. 26. 211-252.
- Castellanos, M., Valdés, R., López, A. y Guridi, F. 2017.** Mediciones de índices de verdor relacionadas con Área Foliar y productividad de híbrido de maíz. 38(3): 112–116.
<http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n3/ctr16317.pdf>
- Corantioquia. 2005.** Compendio sobre el estado de conocimiento y conservación del recurso flora en la jurisdicción de corantioquia con base en la información proveniente de herbarios y fuentes secundarias.
https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/FLORA/AIRNR_CN_5674_2004.pdf
- Charry, R., Dairo, P., Cabrales, E. y Degiovanni, V. 2016.** Parámetros de crecimiento de nuevos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en tres ambientes de Córdoba. Temas Agrarios 21(1):18–27.
<https://doi.org/10.21897/rta.v21i1.867>
- De Mendiburu, F. 2017.** Package agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-8.
<https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html>
- FENALCE. 2019.** Maíz para Colombia: Visión 2030.
<https://www.fenalce.org/archivos/maiz2030.pdf>
- Field, C.B.T., Ball, T. and Betty, J.A. 1996.** Photosynthesis: principles and field techniques. In: Plant Physiological Ecology. Field Methods and Instrumentation London, U.K. pp 327-365.
- Fox, J. and Weisberg, S. 2019.** An R Companion to Applied Regression, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA.
<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Gardner, F.P., Pearce, R.B. and Mitchell, R.L. 2003.** Physiology of crop plants. Blackwell publishing company. Iowa, 326 pp

- Gaviria Hernandez, B. S. 2016.** Análisis de la fenología e índices de crecimiento de maíz (*Zea Mays* L.) variedad Pioneer, Curdn-Armero Tolima.
- Google Earth. 2021.** Ubicación finca “La Primavera” San Bartolo, Andes-Antioquia.
<https://earth.google.com/web/>
- Guzmán Sánchez, R. F., Beltrán Perafán, J. A., Montes Rojas, C. y Anaya Florez, M. del S. 2020.** Efecto del abono orgánico líquido mineralizado en la producción y composición de forrajes para pastoreo. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 11(2): 13 - 27.
<https://doi.org/10.22490/21456453.3065>
- Jarma O, A., Degiovanni Beltramo, V.M. y Montoya, R. A. 2010.** Índices fisiotécnicos, fases de crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz . In: Degiovanni Beltramo, Víctor M.; Martínez Racines, César P.; Motta O., Francisco (eds.). *Producción ecoeficiente del arroz en América Latina* . Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. p. 60-82.
- López, J., Morales, E., Vibrans, H. y Morales, E. 2018.** Tasa de Asimilación Neta y rendimiento de *Physalis* bajo cultivo en dos localidades. 41(2): 187–197.
<https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/41-2/10a.pdf>
- Martínez, L., Aguilar, C., Carcaño, M., Galdámez, J., Gutiérrez, A., Morales, J., Martínez, F., Llaven, J. y Gómez, E. 2018.** Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* l.) en Villaflores, Chiapas, México. 5(1): 026–037.
<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1vTspBwwKB93iP9iCSHrHIJcYDMfbUgQ>
- Montejo-Martínez, D., Casanova-Lugo, F., García-Gómez, M, Oros-Ortega, I., Díaz-Echeverría, V. y Morales-Maldonado, E.R. 2018.** Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2): 325-341.
<https://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i2.29511>
- Montejo, D. 2014.** Dinámica y crecimiento de raíces en cultivo de maíz con biofertilizantes y fertilización química.
http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2014-11.pdf
- Morejon, Pereda M., Herrera Altuve, J. A., Ayra Pardo, C., González Cañizares, P.J., Rivera Espinosa, R., Fernández Parla, Y., Peña Ramírez, E., Téllez Rodríguez, P., Rodríguez-de la Noval, C. y de la Noval-Pons, B. M. 2017.** ALTERNATIVAS EN LA NUTRICIÓN DEL MAÍZ TRANSGÉNICO FR-B t 1 DE (*Zea mays* L.): RESPUESTA EN CRECIMIENTO, DESARROLLO Y PRODUCCIÓN. *Cultivos Tropicales* [en línea]. 2017, 38(4): 146-155.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193254602019>
- Mora, A. y Leblanc, H. 2012.** Evaluación del uso de micorrizas arbusculares para disminuir la aplicación de fertilizantes fosforados en el cultivo de maíz. 8(2): 245–255.
https://www.researchgate.net/profile/Humberto-Leblanc/publication/281066241_Evaluacion_del_uso_de_micorrizas_arbusculares_para_disminuir_la_aplicacion_de_fertilizantes_fosforados_en_el_cultivo_del_maiz/links/55d3495d08ae7fb244f5854a/Evaluacion-del-uso-de-

- Ramos Agüero, D., Terry Alfonso, E., Soto Carreño, F., Cabrera Rodríguez, A., Martín Alfonso, G. M. y Fernández Chuaerey, L. 2016.** Respuesta del cultivo del plátano a diferentes proporciones de suelo y Bocashi, complementadas con fertilizante mineral en etapa de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(2): 165-174.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000200020&lng=es&tlng=es
- R Core Team. 2020.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rodríguez-López, C.P., Navarro, A., Arboleda Valencia, J.W., Valencia Jimenez, A. y Valle Molinares, R.H. 2015.** Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a plantas de *Zea mays* L. en un agroecosistema del Atlántico, Colombia. *Rev. Agron.* 23 (1): 20-34.
- Santos-Castellanos, M., Segura-abril, M. y Núñez-López, C. E. 2010.** Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63: 5253-5266.
- Sánchez Torres, J. D., Ligarreto Moreno, G. A. y Leiva Barón, F R. 2012.** Variabilidad del crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz para choclo (*Zea mays* L.) como respuesta a diferencias en las propiedades químicas del suelo en la sabana de Bogotá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(2):6579-6583.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472012000200002&lng=en&tlng=es

Sensoramiento remoto del rendimiento agrícola en caña de azúcar en Cacocum, Cuba.

Remote sensing of crop yield sugarcane in Cacocum, Cuba

Roberto A. García^{1*}; Juan A. Villazón¹; Alberto W. Rodríguez¹

Recibido para publicación: octubre 14 de 2021 - Aceptado para publicación: diciembre 20 de 2021

RESUMEN

El estudio se realizó en el año 2021 con el objetivo de estimar el rendimiento agrícola de la caña de azúcar mediante el Índice de Diferencia Normalizado de Vegetación en la Empresa Azucarera "Cristino Naranjo", ubicado en el municipio Cacocum provincia Holguín, Cuba. Se trazaron 32 puntos aleatorios de muestreo en los diferentes meses en los que se escogieron las imágenes pertenecientes al satélite Landsat 8 OLI/TIRS proyectadas en el sistema WGS 84 UTM Zona 18 Norte en la cuadrícula 011/046. En el software QGIS "A Coruña" versión 3.10 se realizó la corrección radiométrica de cada imagen satelital y el esquema de muestreo, mientras que en ArcGIS 10.5 se realizó la extracción de los valores de cada punto luego del cálculo del NDVI. Para el procesamiento estadístico se utilizó el software Stargraphics Plus 5.0; en el cual se realizó el análisis de regresión lineal entre los valores obtenidos del NDVI en cada punto de muestreo y los valores del rendimiento real ofrecidos por especialistas del área de análisis del Central que se corresponden a las fechas de las imágenes utilizadas. La determinación del índice vegetativo NDVI muestra valores desde 0 hasta 0,5 se presenta una escasa vegetación en el área de estudio. El coeficiente de determinación indica que el modelo explica el 97,85 de la variabilidad del rendimiento en el cultivo de la caña de azúcar lo cual puede ser utilizado como modelos matemáticos para la estimación del rendimiento de este cultivo bajo las condiciones edafoclimáticas del sitio de estudio.

Palabras clave: Índice de vegetación; Sensoramiento remoto; *Saccharum officinarum*.

ABSTRACT

The study was carried out in the 2021 year with the objective of estimating yield of sugarcane through the Normalized Difference Index of Vegetation in the "Cristino Naranjo" Sugar Company, located in the Cacocum municipality, Holguín province, Cuba. 32 randomized sample points were drawn in different months in which the images belonging to the Landsat 8 OLI/TIRS satellite projected in the WGS 84 UTM Zone 18 North system in grid 011/046 were chosen. The radiometric correction of each satellite image and the sampling scheme were carried out with the QGIS "A Coruña" software version 3.10. The value of each point was extracted with ArcGIS 10.5 after the calculation of the NDVI. For the statistical processing, Stargraphics Plus 5.0 software was used; in which, the linear regression analysis was carried out between the values obtained from the NDVI at each sampling point and the real yield values offered by specialists from the central analysis area that corresponds to the image data used. The determination of the NDVI vegetative index showed values from 0 to 0.5, equivalent to a low vegetation in the study area. The coefficient of determination indicates that the model explains 97.85 of the yield variability in the sugarcane crop, which can be used as a mathematical model for estimating crop yield under the edaphoclimatic conditions of the study site.

Key words: Vegetation index; *Saccharum officinarum*; Remote sensing.

Cómo citar

García, R.A., Villazón, J. A. y Rodríguez, A. W. 2021. Sensoramiento remoto del rendimiento agrícola en caña de azúcar en Cacocum, Cuba. *Temas Agrarios* 26(2): 152-159. <https://doi.org/10.21897/ta.v26i2.2763>



Temas Agrarios 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum ssp.*) constituye uno de los principales cultivos a nivel mundial (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017) la cual tiene su origen en el sureste asiático, y los países con mayores superficies y niveles de producción son Brasil, India, China y Paquistán (Dancé y Saénz, 2016). Es una de las plantas de más altos rendimientos en biomasa por área y unidad de tiempo, produce el alimento energético más completo y difundido de consumo humano en el mundo que es el azúcar.

Desde el siglo XVII la producción azucarera, a partir de la caña de azúcar, ha sido la principal fuente económica de Cuba. En la provincia de Holguín buena parte de las áreas dedicadas a este cultivo se encuentran en condiciones de secano sobre suelos degradados principalmente por problemas de compactación y salinidad (García *et al.*, 2019). En Cuba, la evaluación del nivel productivo de la caña de azúcar se realiza al finalizar cada ciclo productivo y mediante estimaciones de rendimiento con anterioridad a la cosecha. Las estimaciones del rendimiento se basan en la experiencia de técnicos mediante observaciones de campo y muestreos utilizando datos estadísticos de años anteriores, sin considerar la distribución espacial del área plantada y su variabilidad a diversos factores ambientales. Lo que trae como consecuencia errores en los estimados de producción, principalmente en zonas agrícolas de gran heterogeneidad (Aguilar *et al.*, 2010).

El primer paso para la estimación, la optimización de la producción, el transporte y el uso de los recursos de la biomasa cañera es conocer el potencial de las tierras agrícolas para producir caña de azúcar. Sin embargo, las mediciones sobre el terreno no se realizan

con el detalle suficiente para la distribución espacial, prefiriéndose realizar estimados de producción mediante análisis estadístico (Krishna, 2002; Fortes, 2006).

La información provista por sensores remotos es importante para estudios relacionados con el uso, la ocupación y la producción de la superficie del suelo. También permite la obtención de información de campo a un menor costo respecto a otros métodos, la cobertura de grandes áreas y la posibilidad de repetir la obtención de los datos en forma periódica a lo largo del tiempo (Bocco *et al.*, 2014).

Existen varios tipos de imágenes que se pueden utilizar para monitorear la superficie terrestre. En áreas agrícolas donde los lotes son pequeños, debido a su resolución espacial, los datos de LANDSAT TM y SPOT son muy adecuados; no obstante la frecuencia temporal de estos satélites y la posibilidad de nubosidad durante sus pasadas son, a veces, una limitante (Pandey *et al.*, 2019).

El monitoreo mediante teledetección del crecimiento de la caña de azúcar han sido descritos en diferentes estudios (Awad, 2019), los cuales se han enfocado principalmente, en la extracción de parámetros biofísicos y del rendimiento. Singh *et al.* (2020) y Stas *et al.* (2016) refieren el uso del NDVI en varios estudios para la predicción del rendimiento agrícola en los cultivos, dado a que este índice absorbe las características esenciales de la vegetación ante fenómenos ambientales estresantes y por la acción antrópica. Por lo antes expuesto, se planteó como objetivo de la investigación estimar el rendimiento agrícola de la caña de azúcar mediante el Índice de Diferencia Normalizado de Vegetación en áreas de la Empresa Azucarera “Cristino Naranjo” de Holguín, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el año 2021 en zonas dedicadas a la producción de caña de azúcar perteneciente al Empresa Azucarera “Cristino Naranjo”, ubicado en el municipio Cacocum provincia Holguín, en el área conocida como Yaguabo (Figura 1).

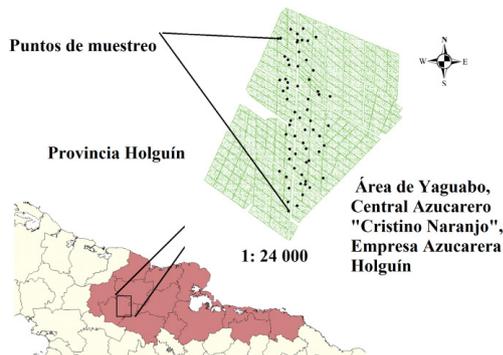


Figura 1. Ubicación del área de Yaguabo en la Empresa Azucarera “Cristino Naranjo”, en el municipio Cacocum, provincia Holguín. Representación de los puntos de muestreo.

El área se encuentra bajo un Vertisol Pélico (Hernández *et al.*, 2015), con precipitaciones promedio en el territorio de 1025 mm hasta el momento de cosecha en el año 2021. En el área de estudio se encontraba establecida un cepa de caña de azúcar del segundo retoño predominando el cultivar C 86-503.

Se trazaron 32 puntos aleatorios de muestreo en los diferentes meses en los que se escogieron las imágenes pertenecientes al satélite Landsat 8 OLI/TIRS del Servicio Geológico de los Estados Unidos, el cual tiene las siguientes características (Tabla 1).

Las imágenes descargadas se proyectaron en el sistema WGS 84 UTM Zona 18 Norte en la cuadrícula 012/046 que abarca la zona de estudio (Tabla 2).

Tabla 1. Características del sensor Landsat 8 OLI/TIRS (United State of Geological Survey, 2021).

Bandas	Color de las bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución (metros)
1	Aerosol costero	0,433-0,453	30
2	Azul	0,450-0,515	30
3	Verde	0,525-0,600	30
4	Rojo	0,630-0,680	30
5	Infrarrojo cercano (NIR)	0,845-0,885	30
6	Infrarrojo de onda corta (SWIR1)	1,560-1,660	30
7	Infrarrojo de onda corta (SWIR2)	2,100-2,300	30
8	Pancromático	0,500-0,680	15
9	Cirrus	1,360-1,390	30
10	Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10,30-11,30	100
11	Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11,50-12,50	100

Tabla 2. Imágenes del Landsat 8 OLI/TIRS y fechas de obtención.

Imágenes	Fecha de adquisición
LC08_L1TP_012046_20201215_20210314_01_T1.tar	2020/12/15
LC08_L1TP_012046_20201231_20210308_01_T1.tar	2020/12/31
LC08_L1TP_012046_20210116_20210306_01_T1.tar	2021/01/06
LC08_L1TP_012046_20210305_20210312_01_T1.tar	2021/03/05
LC08_L1TP_012046_20210406_20210416_01_T1.tar	2021/04/06

En el software QGIS A Coruña versión 3.10 se realizó la corrección radiométrica de cada imagen satelital y el esquema de muestreo presentado, mientras que el software ArcGIS 10.5 se realizó la extracción de los valores de cada punto. Para el cálculo del NDVI (Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación) se utilizó la expresión (1) referenciada por (Rouse *et al.*, 1974) donde se determina a partir de la banda infrarroja cercana y roja el estado del cultivo.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + RED} \quad (\text{Expresión 1})$$

Para el procesamiento estadístico se utilizó el software Stargraphics Plus 5.0; en el cual se trabajó con la herramienta estadística de análisis de regresión lineal entre los valores obtenidos del NDVI en cada punto de muestreo y los valores del rendimiento real ofrecidos por especialistas del área de análisis de la Empresa Azucarera “Cristino Naranjo” que se corresponden a las fechas de las imágenes utilizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La determinación del índice vegetativo NDVI se muestra en la figura 2. En la misma se observa que los valores oscilan entre de -1 a 1; para el cual Rawashdeh (2012) plantea una clasificación para este índice, que oscila entre -1 y 1; y en este caso se corresponde a un área con escasa vegetación con valores de NDVI entre 0 y 0,5. Los factores que pueden explicar este comportamiento sería la existencia de organismos fotosintéticos en la época seca, pues es justamente en enero donde se disparan estos valores; una razón que lleva a pensar que no se trata de un error de procedimiento es que los valores anómalos se presentan justo en los compuestos donde el contenido de nubes en la imágenes captadas por el sensor es el más bajo del año.

La reflectividad de las cubiertas vegetales viene determinada, por características ópticas y distribución espacial de todos sus constituyentes, los cuales incluyen el suelo sobre el que se asienta la vegetación, así como por sus proporciones (Gilabert *et al.*, 1997). Meera *et al.* (2015) refiere que el decrecimiento del contenido de agua en el suelo por diversas razones en el ecosistema

existe una tendencia a disipar el verdor de los cultivos y por ende los valores del NDVI.

Virnodkar *et al.* (2020) utilizó el sensoramiento remoto en el cual lo indica como una herramienta factible para la determinación de índices espectrales de vegetación, resaltando que el NDVI juega un papel preponderante en la evaluación del estrés hídrico y del rendimiento potencial del cultivo en las condiciones edafoclimáticas de la India.

La figura 3 ilustra el modelo de regresión lineal obtenida entre los valores observados de NDVI y el rendimiento en toneladas por hectáreas cultivadas de caña de azúcar en el área de estudio. Se observó la presencia de un modelo con ajuste a una regresión lineal entre la variable dependiente (NDVI) e independiente (Rendimiento ton. ha⁻¹). Además, la pendiente de la recta indica que a cada incremento de una unidad de NDVI le corresponde un incremento del rendimiento en toneladas por hectárea de caña de azúcar cultivada.

A partir del análisis de la varianza de la variable independiente existen valores con una alta significación para valores de $p \leq 0,01$ lo cual expresa una alta relación entre el rendimiento y el NDVI. El coeficiente de determinación (R^2) indica que el modelo explica el 97,85 % de la variabilidad del rendimiento lo cual puede ser utilizado como modelo matemático de alta precisión para la estimación de grandes extensiones de áreas dedicadas a la caña de azúcar.

El coeficiente de correlación (r^2) equivalente a 0,98; indica relativamente una fuerte relación entre las variables, mientras que el error estándar estima la desviación estándar de los residuos (181,9220), válido a partir de que los valores de rendimiento en toneladas por hectáreas cultivadas de caña de azúcar se presentan en unidades que oscilan desde 0 a 5000.

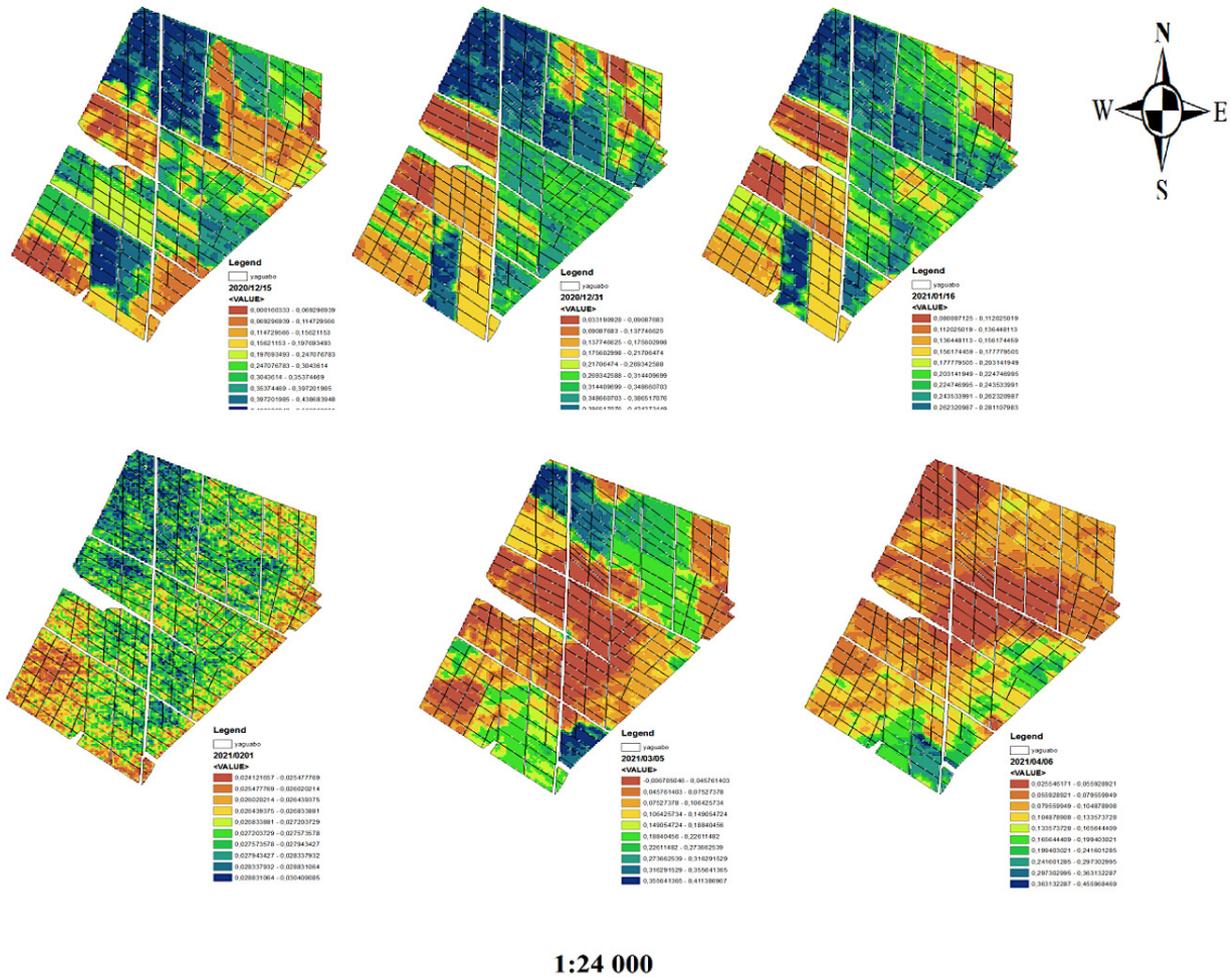


Figura 2. Mapas temáticos del NDVI en el área de estudio.

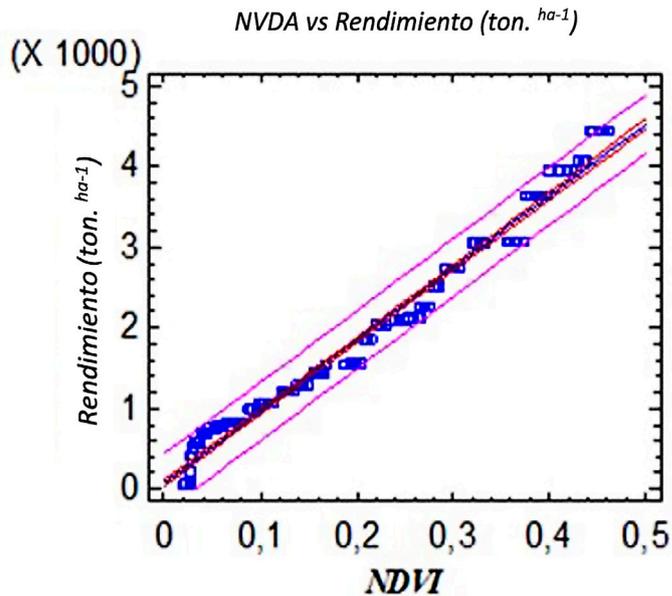


Figura 3. Modelo de regresión lineal obtenido entre los valores observados de NDVI y el rendimiento en toneladas por hectáreas cultivadas de caña de azúcar en el área de estudio.

Zenteno *et al.* (2017) estimaron el rendimiento de caña de azúcar a partir de modelos lineales que requieren como dato de entrada valores de NDVI, índice de estrés de humedad (MSI) y de evapotranspiración del cultivo, con imágenes del satélite Landsat 7 ETM donde concluyeron la existencia de una relación directa entre el rendimiento de la caña de azúcar y los mencionados índices.

Para la construcción del modelo de predicción, se tiene en cuenta el Error Medio Absoluto con 156,472 siendo este el valor que obtiene los residuales en la predicción del rendimiento. El estadístico Durbin-Watson (DW) determina una importante correlación basada en valores de significación menores que 0,05 donde indica una posible correlación serial entre el rendimiento en toneladas por hectáreas cultivadas de caña de azúcar y el NDVI (Tabla 3)

Tabla 3. Estadígrafos del análisis de regresión lineal.

Estadígrafos	Valores
Coefficiente de Correlación	0,989
Coefficiente de Determinación (%)	97,85
Error Estándar (t.ha ⁻¹)	181,92
Error Medio Absoluto (t.ha ⁻¹)	156,47
Durbin-Watson	0,166 (P=0,0000)
Ecuación del modelo	$Rendimiento = 73,427 + 8910,47 * NDVI$

El modelo realizado presenta resultados comparables a los obtenidos por otros autores. Por ejemplo para estimar rendimiento de soja utilizando imágenes del sensor MODIS, Li *et al.* (2007) obtuvieron para las regresiones realizadas valores de R² entre 31 y 92 y cuando los aplicaron a lotes con maíz este estadístico varió entre 71 y 90.

Molijn *et al.* (2019) utilizaron el NDVI para el mapeo de la productividad de la caña de azúcar en Sao Paulo, Brasil con el uso de las bandas C y L del Radar de Apertura Sintética (SAR) e imágenes ópticas del satélite Landsat 8 y World Clim.

CONCLUSIONES

En el estudio se evidenció la presencia en el área de estudio de una escasa vegetación en el cultivo de la caña de azúcar a partir del cálculo del NDVI en las diferentes imágenes procesadas del satélite Landsat 8 OLI/TIRS. La obtención de un modelo de regresión lineal entre los valores de NDVI y del rendimiento en toneladas por hectárea cultivadas de caña de azúcar arrojó valores estadísticos significativos del análisis de regresión lineal. Existe una alta determinación con un 97,85% y de correlación 0,98 entre la variable dependiente e independiente y un error estándar en el rango permisible de la medida del rendimiento utilizada. El análisis realizado demuestra que el NDVI puede ser utilizado para estudios donde se estime el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar en las condiciones edafoclimáticas del área de estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existió conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito

REFERENCIAS

Aguilar, N., Galindo, G., Fortanelli, J. and Contreras, C. 2010. Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina Avances en Investigación Agropecuaria 14(2):49-65

- Awad, M. 2019.** Toward precision in crop yield estimation using remote sensing and optimization techniques. *Agriculture* 9(54):1-13.
- Bocco, M., Sayago, S. and Willington, E. 2014.** Neural network and crop residue index multiband models for estimating crop residue cover from Landsat TM and ETM+ images. *International Journal of Remote Sensing* 35(10): 3651-3663.
- Dancé, J. y Sáenz, D. 2016.** La cosecha de caña de azúcar: impacto económico, social y ambiental. Dirección de Investigación FCCEF-USMP, Perú, p1-18.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017.** Food and Agriculture Data (FAOSTAT). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, p48.
- Fortes, C. 2006.** Discrimination of sugarcane varieties using Landsat 7 ETM+ spectral data. *International Journal of Remote Sensing* 27(7): 395-412.
- García, R., Villazón, J., Morales, A. y Velázquez, E. 2019.** Efecto de la cosecha mecanizada sobre la variabilidad espacial de la resistencia a la penetración. *Revista Ingeniería Agrícola*, 9(2): 45-50.
- Gilabert, M.A., González, P.J. y García, H.J. 1997.** Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección* 8(1): 1-10.
- Hernández, A., Pérez, J. y Rivero, L. D. 2015.** Nueva versión de clasificación genética de suelos de Cuba. *AGRINFOR*, La Habana, Cuba, p91.
- Krishna, R. P. 2002.** Remote sensing: a technology for assessment of sugarcane crop acreage and yield. *Sugar Tech* 4(3):97-101.
- Li, A., Liang, S., Wang, A. and Qin, J. 2007.** Estimating crop yield from Multi-temporal satellite data using multivariate regression and neural network techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 73(10): 1149-1157.
- Meera, G.G., Parthiban, S., Thummalu, N. and Christy, A. 2015.** Ndvi: Vegetation change detection using remote sensing and gis—A case study of Vellore District. *Procedia Computer Science* 57: 1199-1210.
- Molijn, R., Iannini, L., Vieira, J. and Hanssen, R. 2019.** Sugarcane productivity mapping through C-Band and L-Band SAR and Optical Satellite Imagery, *Remote Sensing*, 11(1109): 1-27.
- Pandey, S., Patel, N. R., Danodia, A. and Singh, R. 2019.** Discrimination of sugarcane crop and cane yield estimation using landsat and IRS Resourcesat satellite data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 62-3/W6: 229-233.
- Rawashdeh, S. 2012.** Assessment of change detection method based on normalized vegetation index in environmental studies. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 10(2): 89-97.
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J. and Deering, D. 1974.** Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS Proceeding. En: *Third Earth Resources Technology Satellite Symposium*, Greenbelt: NASA SP-351, USA.

- Singh, K., Sunila, G. and Kumar, S. 2020.** Crop Yield Prediction Techniques using Remote Sensing Data. *International Journal of Engineering and Advanced Technology* 9(3): 3683- 3689.
- Stas, M., Orshovn, J.V., Dong, Q., Heremans, S. and Zhang, B. 2016.** A Comparison of machine learning algorithm for regional wheat yield prediction using NDVI time series of SOPT-VGT”, *IEEE International Conference Agro-Geoinformatics*, pp1 -5.
- United State of Geological Survey. 2021.** Landsat Earth observation satellites: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2015-3081.
- Virnodkar, S., Pachghare, V., Patil, V. and Kumar, S. 2020.** Remote sensing and machine learning for crop water stress determination in various crops: a critical review. *Precision Agriculture*.
<https://doi.org/10.1007/s11119-020-09711-9>
- Zenteno, G., Palacios, E., Tijerina, L. y Flores, H. 2017.** Aplicación de tecnologías de percepción remota para la estimación del rendimiento en caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7): 1575-1586.

Variaciones morfométricas de semillas y alternativas físico-químicas en la germinación de tamarindo (*Tamarindus indica* L.)

Morphometric variations of seeds and physical-chemical alternatives in the germination of tamarind (*Tamarindus indica* L.)

Jenry Hernández Murillo¹; Camilo Iguaran Díaz¹
Hermes Aramendiz Tatis^{1*}; Miguel Espitia Camacho¹; Carlos Cardona Ayala¹

Recibido para publicación: septiembre 09 de 2021- Aceptado para publicación: octubre 04 de 2021

RESUMEN

La semilla de tamarindo (*T. indica* L.) presenta baja tasa de germinación debido a la dureza de la cubierta o cierto grado de impermeabilidad de esta, que limita imbibición y la protrusión uniforme de la radícula, lo cual conduce a la formación de plántulas con desigual crecimiento y desarrollo en los viveros. El objetivo de estudio fue identificar alternativas económicas y amigables con el ambiente, que permitan una germinación rápida con el fin de romper la dormancia. Para el estudio, se midieron las características morfométricas de 100 semillas de frutos colectados en el área de Montería, bajo un diseño de bloque completos al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones; cada unidad experimental estuvo conformada por 20 semillas. Los datos mostraron que las semillas son variables en su morfología, especialmente la longitud, ancho y espesor de la semilla. El tratamiento en agua caliente no promovió la germinación de la semilla. La inmersión de las semillas durante 24 horas en estiércol y orina de bovino, permitió la germinación en 11,40 y 11,80 días, con respecto al testigo, con registros de emergencia de 81 y 84 %, respectivamente.

Palabras clave: Lixiviados; Radícula; Viabilidad; Vigor.

ABSTRACT

The tamarind seed (*T. indica* L.) has a low germination rate due to the hard coats or some degree of impermeability, which limits imbibition and uniform root protrusion leading to uneven growth and development of seedlings in nurseries. The objective of the study was to identify economic and environmentally friendly alternatives to allow a rapid germination to break down dormancy. Morphometric characteristics of 100 fruit seeds collected in the Montería area were measured using a randomized complete block design with five treatments and five replicate; each experimental unit consisted of 20 seeds. Data showed seeds are variable in morphology, especially length, width, and thickness. Hot water treatment did promote seed germination. Seed sowing in cattle manure and urine for 24 hours, promote germination at 11,40 and 11,80 days, with 81 and 84 % seedling emergency, respectively.

Key words: Leachate; Root; Viability; Vigor.

Cómo citar

Hernández Murillo, J., Iguaran Díaz, C., Aramendiz Tatis, H., Espitia Camacho, M. y Cardona Ayala, C. 2021. Variaciones morfométricas de semillas y alternativas físico-químicas en la germinación de tamarindo (*Tamarindus indica* L.). *Temas Agrarios* 26(2): 160-169.

<https://doi.org/10.21897/rt.v26i2.2779>



Temas Agrarios 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

El tamarindo, científicamente conocido como *Tamarindus indica* L., es un árbol leguminoso que pertenece a la familia Fabaceae; es nativo de las regiones tropicales secas de África y probablemente de algunas partes del sur de la India (Patel *et al.*, 2018). Por ser un árbol de regiones de clima tropical, puede florecer bajo una temperatura anual máxima que varía de 33-37 ° C a un mínimo de 9,5 - 20°C (Rahman, 2020). En Colombia se encuentra como frutal de patio y en algunos lugares del departamento del Atlántico, como cultivos no tecnificados, cuyos frutos varían desde el sabor ácido hasta dulce. El fruto es una vaina alargada con semillas leñosas y quebradizas rodeadas de una pulpa color marrón (Kaur y Singh, 2016), las cuales son cosechadas en la estación seca del año; la pulpa es utilizada en la elaboración de jugos, jaleas, dulces, refrescos, aderezos, postres y hasta en cocteles, convirtiéndose en una importante alternativa de ingresos en familias de bajos ingresos.

La dormancia es un período de reposo fisiológico que no ocurre en semillas recalcitrantes, es variable de acuerdo con la especie y las condiciones ambientales de posmaduración, típico de organismos o estructuras anidrobióticas, como las semillas, esporas y granos de polen, donde prevalece el bajo consumo de agua, reducción de la actividad enzimática y de la biosíntesis de proteína, las semillas permanecen con bajo contenido de agua y son identificadas como quiescentes (Marcos-Filho, 2015), lo cual sirve de protección a las semillas de condiciones desfavorables como frío o calor para evitar daño o muerte del embrión viable. En este sentido, existe la dormancia impuesta por tres factores: 1. Factores ambientales, como luz, temperatura y ausencia de agua, 2. Factores internos de la semilla como concentración de etileno, embrión inmaduro, concentración

de inhibidores y ausencia de promotores de crecimiento y 3. Mecanismo de sincronización, posmaduración, inhibidores que bloquean y síntesis del crecimiento (Monteón-Ojeda *et al.*, 2021).

La germinación de las semillas se considera una etapa vital y susceptible en el ciclo de vida de las angiospermas terrestres que determina el establecimiento de las plántulas y el crecimiento de las plantas (Saeb *et al.*, 2013). Desde el punto de vista botánico-fisiológico, se considera la protrusión de la radícula del embrión y para la tecnología de semillas, la germinación considera la formación de la plántula (Marcos-Filho, 2015).

Las semillas de *T. indica*, se consideran dormantes por dos razones de acuerdo con Yusuf *et al.* (2019), una es debido a la presencia de embriones inmaduros y la segunda, a la presencia de tegumento impermeable para la absorción del agua. Esta situación hace que el proceso de germinación de las semillas latentes sea mucho más lento y no uniforme, ya que las condiciones necesarias para terminar su dormancia en condiciones naturales requieren mucho tiempo y bajo las condiciones del Caribe puede tardar hasta 30 días, lo cual incide en la eficiencia de los viveros y establecimiento de plantaciones, dada la importancia de este árbol polivalente, con uso potencial en la agrosilvicultura, ya que posee la capacidad de fijar nitrógeno, su tolerancia a suelos infértiles, a períodos prolongados de sequía y su utilidad en el control de la erosión (Rahman, 2020).

Investigaciones realizadas previamente resaltan el uso de diversos métodos para romper la dormancia y estimular la germinación, que involucran compuestos químicos como ácido sulfúrico, metanol, mezclas de ácidos e incluso el agua caliente, con respuesta favorable (Fandohan *et al.*, 2010). Estos métodos pueden generar riesgos y perjuicios

para la salud de las personas encargadas de implementarlos, además de resultar costosos. Por otra parte, Rahman (2020), recomienda la inmersión en estiércol bovino por 48 horas para estimular la germinación y producción de biomasa, ya que esta contiene carbohidratos, proteínas y lípidos que durante la hidrólisis y acidogénesis, producen alcohol, ácido láctico y compuestos minerales, que estimulen la emergencia (Cavalcante *et al.*, 2019). El objetivo de este trabajo fue caracterizar morfológicamente e identificar métodos alternativos de escarificación de la semilla de tamarindo, económicos y amigables con el ambiente con el fin de mejorar la germinación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de semillas y localización

Las semillas de *T. indica* fueron obtenidas de frutos maduros colectados de árboles de patio cosechados al azar del área rural de Montería-Colombia a inicios del 2021. Estas se separaron de la pulpa, se tamizaron para separar las dañadas, se secaron al aire y se mantuvieron en empaque plástico y se almacenaron a temperatura de 10°C (Bahru *et al.*, 2014), hasta la realización del experimento, cuatro meses después. Antes de realizar la caracterización morfológica y la evaluación de tratamientos pregerminativos para romper la dormancia, las semillas fueron desinfectadas por inmersión en hipoclorito de sodio al 1% por un minuto, luego lavadas con abundante agua destilada para retirar el hipoclorito de sodio que pudiese quedar en las semillas y finalmente, secadas al aire libre (Moreno *et al.*, 2013), para evitar daños en la anatomía interna (Jesús *et al.*, 2016).

El estudio se realizó en las instalaciones del laboratorio de genética y fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba, Colombia, entre el 01 de agosto y 30 de septiembre de 2021.

Características morfométricas

En una muestra de 100 semillas tomadas al azar, se midieron las siguientes características morfométricas: longitud de la semilla (LS), ancho de la semilla (AS) y espesor de la semilla (ES), con un nonio o vernier, en centímetros; peso de una semilla (P1S) como el promedio, en gramos, dividido por el número de ellas (P100S)/100, con una balanza analítica Ohaus de cuatro dígitos; volumen de una semilla (V1S) como el incremento promedio en volumen que se genera en una probeta, con volumen de agua destilada conocido, al introducir 10 semillas tomadas al azar y replicada 10 veces, determinado en ml; y la densidad de una semilla (D1S), como la relación P1S/V1S, en g/ml.

Para cada característica biométrica se estimaron medidas de tendencia central. Se estimaron distribuciones de frecuencia, medidas de tendencia central y medidas de variabilidad. Adicionalmente, se estimaron correlaciones entre las características biométricas. Dado que las variables ES, P1S, V1S y D1S no presentaron distribución normal con datos originales y transformados se optó por la estimación de los coeficientes de correlación de Spearman, siguiendo la metodología de Silva *et al.* (2021).

Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos en *T. indica*

Para evaluar la dormancia de las semillas de tamarindo, bajo condiciones de ambientales no controladas en casa de malla, un total de 500 semillas sanas fueron divididas en grupos de 100 semillas por tratamiento, para un total de cinco tratamientos, de los cuales cuatro se consideran como pregerminativos, bajo la siguiente estructura:

T1: testigo (sin tratamiento)

T2: inmersión en agua potable caliente en punto de ebullición a 98°C por 60 segundos.

T3: inmersión en solución de estiércol fresco de bovino en pastoreo (500 gramos en 10 litros de agua) por 24 horas, el cual fue obtenido durante el ordeño.

T4: inmersión en solución de orina fresca de bovino (500 ml en 10 litros de agua) por 24 horas, obtenida durante el ordeño.

T5: escarificación de 1 mm de espesor con lija de agua # 60 por ambas caras.

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones, cada unidad experimental estuvo conformada por 20 semillas sembradas en bolsas plásticas de 15 cm de longitud por 8 cm de diámetro, con la siguiente mezcla de sustratos: arena, cascarilla de arroz y aluvión en proporción 1:1:1, caracterizada por su alta retención de agua y su capacidad de aireación. El riego se realizó cada dos días, entre las 11:00 am y 12:00 m.

Variables de respuesta

Emergencia: se hizo conteo diario de las semillas germinadas hasta el día 25, se consideró como semillas germinadas aquellas que presentaron los dos cotiledones por encima del sustrato.

Porcentaje de emergencia: se realizó el conteo del número de semillas emergidas hasta el día 25.

Índice de velocidad de emergencia: se realizó simultáneamente con la germinación,

empleando la ecuación (1), recomendada por Maguire (1962).

$$IVG = \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{t_i} \quad (1)$$

Donde, p_i es el número de plántulas normales germinadas por día; t_i es el número de días transcurridos desde la siembra; i es el número de conteos, $i=1,2, 3, \dots, n$.

Número de hojas por planta: se tomó el promedio del número de hojas por plántula, en 10 plántulas tomadas al azar el día 25.

Altura de plántula (cm): se midió la altura en 10 plántulas tomadas al azar desde su base hasta el meristemo terminal y se promedió.

Peso seco de plántula (g): Se realizó de manera conjunta con el índice de velocidad de germinación, para ello 10 plántulas normales, de cada repetición, fueron sometidas a secamiento por 72 horas en estufa con aire circulante a 60°C (Fernanda Da Motta *et al.*, 2017) hasta alcanzar el peso constante (en gramos), medido en una balanza de precisión de dos decimales.

Peso de 20 semillas: se contaron y pesaron las 20 semillas antes de la aplicación del tratamiento en una balanza de precisión de dos decimales.

Los datos de cada variable fueron sometidos a análisis de varianza para cuatro tratamientos, debido a que en el tratamiento de inmersión en agua caliente no se presentó emergencia. Se utilizó la prueba de comparación múltiple Tukey al 5% de probabilidad, cuando el anava presentó la prueba F significativa, previo cumplimiento de los supuestos de la estadística paramétrica. Se utilizó el programa estadístico SAS versión 9.1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características morfológicas

Los datos biométricos de las semillas de *T. indica* se muestran en la tabla 1, se evidenció la existencia de una gran variación en las características de la semilla, especialmente en la longitud de la semilla, ancho de la semilla y espesor de la semilla, que acusaron registros superiores a los reportados por Silva *et al.* (2021), con coeficientes de variación comprendidos entre 9,30 a 12,84%. Posiblemente esta variación morfológica, obedezca a diferencias genéticas y efectos ambientales dada la naturaleza de ser

caracteres cuantitativos. Además, entre un 70 y 80%, la estructura de la semilla de tamarindo está compuesta por el endospermo, rico en carbohidratos, proteína, lípidos y aminoácidos, por lo que se ha sugerido que el tamaño de las partículas de almidón, la estructura de los gránulos y contenido de amilosa inciden mucho en la morfología de la semilla (Kaur y Singh, 2016).

El peso, volumen y densidad de una semilla fueron mucho más homogéneos, por registrar menor desviación con respecto a la media y coeficientes de variación que oscilaron entre 5,35 y 9 % (Tabla 1).

Tabla 1. Características morfológicas de semillas de tamarindo, evaluadas a partir de una muestra regional del municipio de Montería (n=100).

Variable	Media	Mediana	D.E.	CV (%)	Mín.	Máx.	Q1	Q3
LS (cm)	1,43	1,45	0,13	9,30	1,07	1,74	1,34	1,51
AS (cm)	1,12	1,12	0,14	12,84	0,79	1,45	1,04	1,23
ES (cm)	0,76	0,75	0,08	10,55	0,60	1,13	0,71	0,80
P1S (g)	0,78	0,77	0,04	5,35	0,71	0,84	0,75	0,81
V1S (ml)	0,74	0,75	0,07	9,01	0,60	0,80	0,70	0,80
D1S	0,11	0,11	0,01	8,30	0,09	0,12	0,10	0,11

LS= longitud de la semilla, AS= ancho de la semilla, ES= espesor de la semilla, P1S= peso de una semilla, V1S= volumen de una semilla, D1S= densidad de una semilla, D.E.= desviación estándar, C.V.= coeficiente de variación, Mín.=valor mínimo, Máx.= valor máximo, Q1= primer cuartil, Q3=tercer cuartil.

De acuerdo con los coeficientes de correlación de Spearman (Tabla 2), la longitud de la semilla registró correlación positiva y altamente significativa con el ancho de la semilla, resultados coherentes con Silva *et al.* (2021), y ello implica que frutos con semillas de mayor longitud tengan una mayor cantidad de pulpa aprovechable; correlación positiva y altamente significativa entre el peso de una semilla con el volumen de una semilla, lo que es positivo por ser semillas bien formadas, embriones maduros con mayor capacidad de germinación, para obtener plántulas vigorosas (Sarmiento *et al.*, 2018) y correlación negativa y altamente significativa entre el volumen de

una semilla y densidad de una semilla, por lo que la selección en favor de una, causa detrimento de la otra (Espitia-Camacho *et al.*, 2021), tal vez por tener cotiledones con menor peso.

Las otras variables no presentaron grados de asociación significativos, lo que posiblemente obedezca a un control genético por genes que actúan independientemente y/o por el efecto de otras variables que enmascaran el verdadero nivel de correlación entre dichos caracteres como lo sostienen Hang-Vu *et al.* (2019) y Balaguera-López *et al.* (2020).

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Spearman para características biométricas de semillas de tamarindo.

Variables	AS	ES	P1S	V1S	D1S
LS	0,432**	-0,138 ^{ns}	0,106 ^{ns}	0,044 ^{ns}	0,005 ^{ns}
AS		-0,170 ^{ns}	0,041 ^{ns}	-0,079 ^{ns}	0,090 ^{ns}
ES			0,034 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,008 ^{ns}
P1S				0,449**	0,061 ^{ns}
V1S					-0,907**

LS= longitud de la semilla, AS= ancho de la semilla, ES= espesor de la semilla, P1S= peso de una semilla, V1S= volumen de una semilla, D1S= densidad de una semilla, **=significativo ($p < 0,01$), ns= no significativo ($p \leq 0,05$).

Tratamientos pregerminativos

El análisis de varianza para los tratamientos pregerminativos y el testigo se encuentran en la tabla 3 y éstos acusaron diferencias altamente significativas para todas las variables en estudio. Los métodos en los que se utilizaron estiércol y orina de bovino y la escarificación con lija superaron al testigo y fueron eficientes para romper la dormancia (Tabla 4), lo cual es concordante con los resultados reportados por Patel *et al.* (2018), Gomes *et al.* (2019) y Rahman (2020), quienes usaron otras sustancias como ácido nítrico, metanol, ácido clorhídrico, ácido giberélico y ácido sulfúrico e indica que las semillas de tamarindo, necesitan de pretratamiento para acelerar la emergencia. Los métodos alternativos probados tienen la ventaja de ser menos dispendiosos en su aplicación y de menor impacto ambiental y, además, se corrobora la necesidad de utilización de un mecanismo de escarificación (Urrea-Galeano *et al.*, 2018).

El tratamiento de inmersión de las semillas en agua caliente por 60 segundos no tuvo efecto positivo, ya que no registró emergencia, posiblemente por el nivel temperatura (98°C),

utilizado que pudo causó daños al embrión, resultado similar al reportado por Fandohan *et al.* (2010), pero contrario al de Muhammad y Amusa (2003) y Bello y Gada (2015), quienes reportaron porcentajes de 20 y 80% después de 21 y 12 días de siembra, respectivamente.

Con la escarificación mecánica con lija se inició la emergencia más temprano, aproximadamente ocho días y alcanzó cerca del 70% de emergencia, lo cual concuerda con los resultados de Segato *et al.* (2017), quienes expresan que una escarificación excesiva, puede causar daño en la semilla e influir negativamente en la germinación o en la formación de plántulas menos vigorosas (Gomes *et al.*, 2019); el tratamiento testigo inició emergencia a los 19 días y alcanzó 50% de emergencia, mientras que los tratamientos basados en orina y estiércol de bovino, aproximadamente 12 días, y alcanzaron emergencias por encima del 80% (Tabla 4). Se ha reportado que la dureza e impermeabilidad de la testa depende de la región de donde provengan dichas semillas, ya que en ambientes más secos la dormancia física es mayor (Fandohan *et al.*, 2010). Por otro lado, las excretas bovinas facilitan la absorción del agua por parte de las células

y su turgencia (Ismael *et al.*, 2021), lo que asociado con la actividad enzimática y metabólica (Monteón-Ojeda *et al.*, 2021), causan rompimiento de la cubierta seminal, facilitando la salida de la plúmula y radícula (Bello y Gada, 2015) y absorción de los macro y micronutrientes que favorecen la emergencia (Cavalcante *et al.*, 2019) y con ello, el crecimiento de la plántula

El índice de velocidad de germinación (IVG) resultó similar en los tratamientos pregerminativos y fueron dos veces más

altos, que en el testigo (Tabla 4). La escarificación química producida por los ácidos de los rumiantes (Urrea-Galeano *et al.*, 2018; Rahman, 2020) y por otro lado, la escarificación mecánica con lija, permiten una emergencia mucho más rápida al deteriorar los tegumentos y, por consiguiente, facilitar la absorción del agua y promover la actividad enzimática, movilización de azúcares e hidrólisis de proteínas que finalmente conducen a la germinación y emergencia, evidenciada en la protrusión de la raíz y plúmula, el crecimiento y el vigor de la plántula

Tabla 3. Cuadrados medios para días a emergencia (DE), porcentaje de emergencia (%EMERG), índice de velocidad de germinación (IVG), número de hojas (NH), altura de plántula (AP), masa seca (MSP) y peso de semillas (PSEM).

FUENTE DE VARIACION	G.L.	DE	%EMERG.	IVG	NH	AP	MSP	PSEM
BLOQUES	4	1,42	51,87	0,05	0,04	0,03	0,06	0,70
TRATAMIENTOS	3	93,53**	1208,33**	1,01**	0,81**	15,86**	1,18**	16,33**
ERROR	12	0,82	159,37	0,07	0,02	0,91	0,11	0,97
MEDIA		12,30	70,5	1,39	2,91	13,76	3,01	18,33
C.V. (%)		7,38	17,9	19,58	5,54	6,94	11,23	5,38
R2		0,96	0,67	0,78	0,89	0,81	0,73	0,81

*: significativo con $p < 0,05$; **: altamente significativo con $p < 0,001$; G.L.: Grados de libertad; C.V.: coeficiente de variación; R2: coeficiente de determinación.

Tabla 4. Promedios de días a emergencia (DE), porcentaje de emergencia (%EMERG), índice de velocidad de germinación (IVG), número de hojas (NH), altura de plántula (AP), masa seca (MSP) y peso de semillas (PSEM).

TRATAMIENTOS	DE	%EMERG.	IVG	NH	AP	MSP	PSEM
TESTIGO	18,20 a	50,0 b	0,74 b	2,3 c	11,1 b	2,34 b	16,3 b
ESTIERCOL BOVINO	11,80 b	84,0 a	1,54 a	3,0 ab	14,2 a	2,98 a	19,9 a
ORINA BOVINO	11,40 b	81,0 a	1,50 a	2,9 b	14,7 a	3,45 a	19,7 a
ESCARIFICADA	7,80 c	67,0 ab	1,78 a	3,3 a	15,0 a	3,29 a	17,3 b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas entre medias ($P \leq 0,05$). según la prueba Tukey.

(Patel *et al.*, 2018).

Los valores de IVG en los tratamientos pregerminativos evaluados están por encima de 1,50 plántulas/día, registros superiores a los reportados previamente por Vasantha *et al.* (2014), lo cual es una ventaja ya que es posible obtener una mayor cantidad de plántulas uniformes y en menor tiempo. Al facilitarse la imbibición de las semillas con los métodos de inmersión en solución de estiércol y orina de bovino, asimilados al concepto de escarificación química, y la escarificación mecánica con lija, en la fase uno de la germinación, se da una rápida entrada de agua en función de la diferencia del potencial hídrico entre la semilla y el sustrato (Gordin *et al.*, 2012). A pesar de los buenos resultados, la escarificación con lija es un proceso mecánico dispendioso, lento y de mayor costo; por lo que el uso de estiércol y orina de bovino resultan mucho más favorables.

La emergencia temprana en los tratamientos basados en escarificación física y química permite un rápido aprovechamiento de carbohidratos, lípidos, proteínas, auxinas y aminoácidos presentes en las semillas (Kaur y Singh, 2016). Por un lado, las proteínas se utilizan para la producción de nuevos tejidos y las auxinas promueven el crecimiento (Patel *et al.*, 2018). En este experimento, las plantas desarrollaron un mayor número de hojas que mediante el proceso fotosintético contribuyeron a la formación de plantas de mayor altura y acumulación de masa seca superando al testigo (Tabla 4). Resultados similares fueron registrados por Sodimu *et al.* (2020), con estiércol bovino.

CONCLUSIONES

Los tratamientos pregerminativos de escarificación mecánica con lija y química con inmersiones en soluciones de estiércol orina de bovino resultaron efectivos para romper la dormancia de la semilla de tamarindo. El

uso de estiércol y orina de bovino presentan significativas ventajas, por ser de bajo costo y menos dispendioso.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existió conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito

REFERENCIAS

Bahru, T., Eshete, A., Mulatu, Y., Kebede, Y., Tadesse, W., Mohammed, O. and Dejene, T. 2014. Effect of provenances on seed germination, early survival and growth performance of *Tamarindus indica* L. in Ethiopia: a key multipurpose species. *Advances in Materials Science and Engineering: An International Journal* 1 (1):1-8.

Balaguera-López, H.E., Fischer, G. and Magnitskiy, S. 2020. Seed-fruit relationships in fleshy fruit species: Role of hormones. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 14(1):90-103.
<https://doi.org/10.17584/rch.2020v14i1.10921>

Bello, A. G. and Gada, Z. Y. 2015. Germination and Early Growth Assessment of *Tamarindus indica* Lin Sokoto State, Nigeria. *International Journal of Forestry Research*, 2015, 1–5. [10.1155/2015/634108](https://doi.org/10.1155/2015/634108)

Cavalcante, L.F., Bezerra, F.T., Souto, A.G., Bezerra, M.A., Lima, G.S., Gheyi, H.S., Ferreira, J.F. and Cavalcante, M.Z. 2019. Biofertilizers in horticultural crops. *Comunicata Scientiae Horticultural Journal*. 10 (4): 415-428.
<https://doi.org/10.14295/CS.v10i4.3058>

- Espitia-Camacho, M.M., Araméndiz-Tatis, H. and Cardona-Ayala, C.E. 2021.** Correlaciones y análisis de sendero entre características del fruto y la semilla de *Benincasa hispida* [(Thunb.) Cogn. *Temas Agrarios* 26(1): 36-45.
<https://doi.org/10.21897/rta.v26i1.2557>
- Fandohan, B., Assogbadjo, A., Kakaï, R. and Sinsin, B. 2010.** Variation in seed morphometric traits, germination and early seedling growth performances of *Tamarindus indica* L. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4(4): 1102-1109.
<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i4.63047>
- Fernanda da Motta, X., Eberhardt, P.E., Almeida, A., MartinS, A., Carvalho, I. and Tunes, L. 2017.** Teste de condutividade elétrica em sementes de feijão miúdo (*Vigna unguiculata*). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável.* 12(2): 204-209.
<http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i2.4295>
- Gomes, C.D., De Sa, J.M., Rodrigues, M.H., De Oliveira Sousa, V. and Bomfim. 2019.** Production of *Tamarindus indica* L. seedlings submitted to substrates and pre-germination methods. *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia,* 49: e54029.
<https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4954029>
- Gordin, S.R.B., Marques, R.F., Masseto, T.E. and Scalon, S. 2012.** Germinação, biometria de sementes e morfologia de plântulas de *Guizotia abyssinica* Cass. *Revista Brasileira de Sementes.* 34 (4):619 – 627.
<https://doi.org/10.1590/s0101-31222012000400013>
- Hang-Vu, T.T., Cham-Le, T.T., Hoa-Vu, D., Nguyen, T.T. and Pham, T.G. 2019.** Correlations and Path Coefficients for Yield Related Traits in Soybean Progenies. *Asian J Crop Sci.* 11(1):32-39.
<https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.425.438>
- Ismael, F., Ndayiragije, A. and Fangueiro, D. 2021.** New Fertilizer Strategies Combining Manure and Urea for Improved Rice Growth in Mozambique. *New Fertilizer Strategies Combining Manure and Urea for Improved Rice Growth in Mozambique. Agronomy.* 11, 783.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11040783>
- Jesús, V.A.M., Araújo, E.F., Neves, A.A., Santos, F.L., Dias, L.A. and Silva, R.F. 2016.** Ratio of seeds and sodium hypochlorite solution on the germination process of papaya seeds. *Journal of Seed Science* 38(1):057-061.
<http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v38n1151150>
- Kaur, M. and Singh, S. 2016.** Physicochemical, Morphological, Pasting, and Rheological Properties of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Kernel Starch. *International Journal of Food Properties,* 19:2432–2442.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1121495>
- Maguire, J. D. 1962.** Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.,* 2: 176-177.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Marcos-Filho, J.C. 2015.** Fisiología de sementes de plantas cultivadas. 2.ed. Londrina-Paraná. ABRATES.660p.
- Monteón-Ojeda, A., Piedragil-Ocampo, B., García-Escamilla, P., Durán-Trujillo, D. and Romero-Rosales, T. 2021.** Effect of imbibition treatments on the germination of *Stenocereus zopilotensis* (Cactaceae) native from Guerrero, Mexico. *Terra Latinoamericana* 39: 1-8.
<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.827>

- Moreno, N.E., Miranda, D. and Martínez, F.E. 2013.** Germination of sugar apple (*Annona squamosa* L.) seeds submitted to stratification. *Revista colombiana de ciencias hortícolas* 7(1):20-30.
- Muhammad, S. and Amusa, N.A. 2003.** Effects of sulphuric acid and hot water treatments on seed germination of tamarind (*Tamarindus indica* L). *African Journal of Biotechnology*. 2 (9): 276-279. <https://doi.org/10.5897/ajb2003.000-1056>
- Patel, M., Tank, R.V., Bhanderi, R.V., Patil, H.M., Patel, V. and Desai, M. 2018.** Response of soaking time and chemicals on germination and growth of tamarind (*Tamarindus indica* L.). *Plant Archives* 18(1):51-56.
- Rahman, R. 2020.** Farmyard Manure, An Efficient Way of Improving Seedling Growth of *Tamarindus indica*. *Asian Science Bulletin*. 1(3):43-44.
- Saeb, H., Khayyat, M., Zarezadeh, A., Moradinezhad, F., A. Samadzadeh, A. and Safaei, M. 2013.** Effects of NaCl stress on seed germination attributes of periwinkle (*Catharanthus roseus* L.) and corn poppy (*Papaver rhoeas* L.) plants. *Plant Breed. Seed Sci.*, 67: 115-123. Retrieved from <http://ojs.ihar.edu.pl/index.php/pbss/article/view/309>
- Sarmiento, M.B., Silva, A.C.S., Villela, F.A. and Santos, K.L. 2018.** Biometria de frutos e sementes e crescimento pós-seminal de *Acca sellowiana* (O. Berg. Burret) Myrtaceae. *Caderno de Pesquisa*, 30 (1): 1-8. <https://online.unisc.br/seer/index.php/cadpesquisa/article/view/8696/7279>
- Segato, S. V., Munduruca, L. C. and Souza, V. M. S. 2017.** Sanidade de sementes e emergência de plântulas de sementes de *Tamarindus indica* submetidas a diferentes tratamentos pré-germinativos. *Revista Nucleus*, 14 (1): 237-246. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.2689>
- Silva, A.L., Forte, M.J., Jacomino, A.P., Forti, V.A. and Silva, S.R. 2021.** Biometric characterization and tetrazolium test in *Campomanesia phaea* O. Berg. Landrum seeds. *Journal of Seed Science*, 43: e202143013. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v43240073>
- Sodimu, A.I., Usman, M. B., Osunsina, O. and Awobona, T.A. 2020.** Effect of Cowdung and NPK Fertilizer on the Early Growth of *Tamarindus indica*. L in Kaduna Northern Guinea Savanna Eco - Zone of Nigeria. *Journal of Agriculture and Sustainability*.13(11):1-14. <https://doi.org/10.28924/ip/jas.1949>
- Urrea-Galeano, L.A., Andresen, E. e Ibarra-Manríquez, G. 2018.** Importancia de las interacciones semilla-mamífero para Heteroflorum (*Leguminosae*), un género monoespecífico endémico de México. *Rev.Mex.Biodivers.* 89: 497-506. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.2.2148>
- Vasanth, P.T., Vijendrakumar, R.C., Guruprasad, T.R., Mahadevamma, M. and Santhosh, K.V. 2014.** Studies on effect of growth regulators and biofertilizers on seed germination and seedling growth of tamarind (*Tamarindus indica* L.). 14 (1): 155-160.
- Yusuf, S. C., Zakawa, N. N., Tizhel, T. D., Timon, D., Obot, J. J. and Linus, S. G. 2019.** Dormancy breaking and the influence of gibberellic acid on the early growth of *Tamarindus indica* Seedlings in Mubi, Nigeria. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 5(2): 1-6. <https://doi.org/10.9734/ajsspn/2019/v5i230063>

Caracterización del sistema productivo de cítricos, con énfasis en la enfermedad huanglongbing, en Ponedera, Atlántico

Characterization of the citrus production system, with emphasis on huanglongbing disease, in Ponedera, Atlántico

Juan C. Gómez-Correa^{1*}; Jacobo Robledo-Buriticá¹; Madeleyne Parra-Fuentes¹
Carlos E. Brochero-Bustamante¹; Luisa F. Guzmán-Sánchez¹; Lumey Pérez-Artiles¹

Recibido para publicación: octubre 04 de 2021 - Aceptado para publicación: diciembre 16 de 2021

RESUMEN

El cultivo de cítricos en Colombia, desde el 2016, está en riesgo por la enfermedad huanglongbing – HLB. El municipio de Ponedera (Atlántico) es uno de los más afectados por la enfermedad, sin embargo, existe escasa información sobre el impacto en el sistema productivo de los cítricos. Con el propósito de categorizar a los productores, identificar sus condiciones y dimensionar el impacto del HLB, a 134 agricultores se les aplicó una encuesta semiestructurada con 79 preguntas sobre aspectos socioeconómicos, ambientales y agronómicos con énfasis en el conocimiento de la enfermedad. Mediante análisis descriptivo y correspondencia múltiple se seleccionaron las variables con mayor aporte a la categorización de los productores, con la identificación de cinco grupos de acuerdo con la asistencia a capacitaciones, especies cítricas, tipo y origen del material de propagación y categoría de edad del limón común (*Citrus aurantifolia* Swingle), y categoría de edad y marco de siembra de la lima ácida Tahití (*Citrus × latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez). Este estudio determinó que entre 2016 y 2020, más del 85% de los agricultores perdió, al menos, el 50% de los árboles debido a limitantes como: carencia de riego (67,6%), de fertilización (75,4%), de control del psílido asiático de los cítricos (76,9%) o de HLB (87,3%). Asimismo, evidenció el efecto devastador de la enfermedad HLB en el cultivo. La caracterización de los productores estableció la capacitación como una variable diferenciadora, resultado que servirá para el desarrollo de ofertas tecnológicas, extensión agrícola y formación de clústeres productivos.

Palabras clave: Capacitación; Encuestas sobre explotaciones; Enfermedades de las plantas; Enverdecimiento; Estructura agrícola y frutales.

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Caribia, Magdalena Colombia.

*Autor para correspondencia: Juan C. Gómez-Correa
Email: jcgomez@agrosavia.co

ABSTRACT

In Colombia, the citrus industry is at risk since 2016 due to HLB (Huanglongbing) disease. The Ponedera municipality (Atlántico) is one of the most affected by the disease; however, there is little information about the impact of HLB on the citrus production system. With the purpose of categorizing the farmers, identifying their conditions, and assessing HLB impact, a semi-structured survey with 79 questions on socioeconomic, environmental, and agronomic aspects, with emphasis on knowledge of the disease, was applied to 134 farmers. Through descriptive analysis and multiple correspondence, variables with the highest contribution level to producers categorizing were selected. Five groups were chosen according to training attendance, citrus species, origin of plant material, key lime age (*Citrus aurantifolia* Swingle), and Tahiti lime age and planting frame (*Citrus × latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez). The study found that between 2016 and 2020, more than 85% of farmers lost at least 50% trees due to limitations such as lack of: irrigation (67,6%), fertilization (75,4%), Asian citrus psyllid management (76,9%) or HLB (87,3%) management. Likewise, it evidenced the devastating effect of HLB disease on crops. The producer characterization established training as a differentiating variable, a result that will serve for developing technological offers, agricultural extension, and productive clusters formation.

Key words: Agricultural structure; Farm surveys; Fruit crops; Greening; Plant diseases and training.

Cómo citar

Gómez-Correa, J.C., Robledo-Buriticá, J., Parra-Fuentes, M., Brochero-Bustamante, C.E., Guzmán-Sánchez, L.F. y Pérez-Artiles, L. 2021. Caracterización del sistema productivo de cítricos, con énfasis en la enfermedad huanglongbing, en Ponedera, Atlántico. *Temas Agrarios* 26(2): 170-181. <https://doi.org/10.21897/rt.v26i2.2889>



Temas Agrarios 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cítricos en Colombia es el segundo frutal por área cosechada, a nivel nacional, con 89.636 ha (MADR, 2020) presentes en seis núcleos conformados por diferentes departamentos: el Sur (Nariño y Cauca) con 6.093 ha, principalmente, de lima ácida Tahití y un rendimiento de 8 t ha⁻¹, el Occidente (Antioquia, Valle del Cauca, Caldas, Risaralda y Quindío) con 25.217 ha de naranjo, mandarino o limón criollo y un rendimiento de 29 t ha⁻¹, los Llanos Orientales (Meta y Casanare) con 6.661 ha de naranjo, principalmente, con un rendimiento de 14 t ha⁻¹, el Centro (Tolima, Huila y Cundinamarca) con 15.924 ha de lima ácida Tahití y naranjo y un rendimiento de 9 t ha⁻¹, el Nor – Oriente (Santander, Norte de Santander y Boyacá) con 24.366 ha de mandarino y lima ácida Tahití y un rendimiento de 12 t ha⁻¹. Finalmente, la Costa Atlántica con Magdalena, Cesar, Atlántico y Bolívar, participa con el 8% del área nacional sembrada al cultivar 6.574 ha de limón criollo, lima ácida Tahití, naranjo y toronjo con un rendimiento de 13 t ha⁻¹ (MADR, 2021; MADR, 2020).

El municipio de Ponedera, ubicado en la región centro oriental del Atlántico, tiene un gran potencial agrícola y una fácil conectividad con Barranquilla, principal centro consumidor departamental, sin embargo, en el departamento, la producción agrícola se realiza de forma artesanal y a pequeña escala, con poca o ninguna tecnificación (ADR, 2019).

La caracterización de un sistema productivo permite determinar su estructura y funcionamiento, e identificar grupos de productores, por lo que se convierte en una herramienta para la formulación de proyectos de investigación, adaptación y vinculación de tecnologías (Páez *et al.*, 2004; Miranda-Salas *et al.*, 2019). Aspectos como la descripción geográfica y de la población

de interés, la metodología desarrollada y la caracterización productiva, sociocultural, ecológica, ambiental y económica, además de la validación de la tipología, se deben incluir en la caracterización de los cultivos (Cabrera *et al.*, 2004). Los estudios de caracterización del sistema citrícola en Casanare (Pulido *et al.*, 2009) y Meta (Cleves-Leguizamo y Jarma-Orozco, 2014) tipificaron los grupos de productores, mientras que, en el Magdalena y Atlántico Páez *et al.* (2004), tipificaron los aspectos técnicos del cultivo y las variables socioeconómicas y culturales.

Huanglongbing (HLB) o enverdecimiento de los cítricos es la enfermedad más importante del sistema productivo y se asocia con las bacterias: *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), *Ca. Liberibacter africanus* (CLaf) y *Ca. Liberibacter americanus* (CLam) (Thapa *et al.*, 2020). La especie de mayor distribución mundial es CLas, con reportes en África, América, Asia y Oceanía (EPPO, 2021), la cual se transmite durante la alimentación de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) o por injertación de plantas enfermas (Hall *et al.*, 2013; Hilf y Luo, 2020). El insecto vector, *D. citri* adquiere la bacteria de la savia elaborada de plantas infectadas de manera persistente, propagativa y circulativa, y una vez infectado, puede transmitir la enfermedad a plantas sanas (Hall *et al.*, 2013). La tasa de progreso de HLB es influenciada, principalmente, por la cantidad de inóculo, la población del vector y la edad de la plantación. El periodo de incubación varía de 1 a 2,5 años en plantas adultas y de 6 a 12 meses en plantas jóvenes. La incidencia puede llegar a la máxima expresión de 3 a 13 años después de los primeros síntomas (Gottwald, 2010).

En países del sudeste asiático, África, Sur, Centro y Norte América, HLB es responsable del deterioro y pérdida de la sostenibilidad de la cadena citrícola (Bassanezi *et al.*, 2013).

En el Atlántico, se diagnosticó HLB en 2016 (ICA, 2016), e implicó una pérdida estimada de 732 y 1.097 empleos directos e indirectos, respectivamente y una disminución de 34,1% en el área sembrada, entre 2017 y 2019 (MADR, 2021). Ponedera es un territorio de tradición cítrica con presencia de HLB desde 2016, pero con poca información sobre el impacto social, económico o fitosanitario de la enfermedad.

En esta investigación se realizó la caracterización del sistema productivo de los cítricos en Ponedera, Atlántico, con el propósito de categorizar los productores, identificar las condiciones productivas y dimensionar la afectación por HLB.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el año 2020 se visitaron 134 fincas de productores cítricos del municipio de Ponedera, Atlántico (Colombia), a quienes se les aplicó una encuesta semiestructurada, dando cumplimiento a la Ley Estatutaria 1581 de 2012 sobre tratamiento de datos personales. La encuesta incluía 79 preguntas sobre diferentes áreas temáticas y evaluó variables socioeconómicas, ambientales y productivas, con énfasis en los aspectos técnicos del cultivo, reconocimiento de *D. citri* y de síntomas de HLB, entre otros. En los lotes cítricos se realizó la inspección de *D. citri* en brotes. La información de las encuestas se consolidó en un base de datos, la cual se depuró, procesó y analizó mediante el tratamiento descriptivo de los datos.

Para seleccionar las variables que más aportaron a la categorización de los productores, se realizó un análisis de correspondencia múltiple mediante el método de Burt, a través del paquete FactoMineR (Lê *et al.*, 2008) del programa R (R Core Team, 2021). Se seleccionaron las variables que más aportaron a las varianzas de cada componente principal (coeficiente de correlación superior a 0,6) (Giraud y Morantes, 2017). Se realizó un dendrograma con la agrupación jerárquica mediante el método de Ward (Espinell, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aspectos socioeconómicos y culturales

Los citricultores de Ponedera pertenecían a los grupos etarios persona mayor (>60 años), adultez (27 a 59 años) y juventud (14 a 26 años) en 55,2; 42,5 y 0,7%, con una experiencia en el cultivo de 1 a 70 años. El 71,6% de las personas mayores iniciaron la actividad económica hace 5 años. Useche (2020) afirma que, en Colombia, el sector agropecuario se enfrenta a la falta de relevo generacional, especialmente, por la acelerada migración de los jóvenes para mejorar su condición socioeconómica.

El 73,9% de los citricultores tenían algún grado de formación, donde el 4,5% era en educación superior. Estos resultados coinciden con Leibovich y Estrada (2008), quienes afirman que la población rural nacional tiene un nivel educativo bajo. No obstante, el nivel de escolaridad fue superior al de los citricultores del Meta donde un 83,1% no culminaron la primaria (Cleves-Leguizamo y Jarma-Orozco, 2014).

Independiente del grado de escolaridad, se observó una alta participación de los citricultores en capacitaciones relacionadas con el sistema productivo (73,9%). Entre las áreas temáticas con mayor participación se encontraron: plagas (72,4%), nutrición (71,6%), podas (70,9%), establecimiento del cultivo (68,7%), manejo integrado de plagas (63,4%), enfermedades (61,2%) y cosecha (55,2%). En las áreas de riego, postcosecha y comercialización se capacitaron entre el 25,4 al 32,8% de los citricultores.

Se estima que la priorización en las temáticas formativas pudo estar influenciada por las disposiciones de la organización nacional de protección fitosanitaria (ONPF), como medida ante la emergencia fitosanitaria por HLB (ICA, 2019) u otras plagas en el cultivo.

Respecto a la educación y capacitación en el sector agrícola, Trujillo (2009) las relaciona con el desarrollo tecnológico, competitivo y productivo, por ello, para la citricultura de Ponedera se debe focalizar un paquete formativo, acorde con las necesidades técnicas de los productores y los requerimientos del mercado.

El área de los predios oscilaba entre 0,5 a 80 ha, donde el 81,3% es menor a 5,6 ha, el 10,4% tenían entre 5,6 y menos de 10 ha, y el 8,2% eran de 10 o más ha. El 82,1% de los productores dedicaban 5,6 ha al cultivo de cítricos y el 44,7% destinaban más del 60% del área total a sistemas pecuarios. El 1,5% de los productores eran arrendatarios, trabajadores o ejercían otras funciones asociadas al cultivo. Predominaba el acceso a los predios por vías terciarias o secundarias destapadas (55,2%) y secundarias o primarias pavimentadas (44,1%). Los predios tenían servicios como: telefonía móvil (94%), energía eléctrica (23,1%), acueducto (4,5%) y aseo (2,2%), sin embargo, ninguno poseía alcantarillado ni red domiciliaria de gas natural. Los predios disponían las aguas servidas en un cauce natural (52,2%) o pozo séptico (22,4%). La quema de residuos inorgánicos (83,6%) y empaques agrícolas (80,6%) era una práctica común, no obstante, el 69,4% compostaba los residuos orgánicos.

Respecto a la media nacional, Ponedera mostró un 25% más de citricultores dueños de predios (97%), con una agremiación tres veces mayor (84,3%) (DANE, 2016). Estos datos, perfilan la citricultura en Ponedera como una actividad administrativa, económica, comercial y socialmente promisoría. García-Ávila *et al.* (2021) sugieren que es necesario un programa regional que facilite la implementación de nuevas especies cítricas y que potencie estrategias como: detección temprana de plantas positivas, eliminación de material infectado, control de *D. citri* y protección del material de siembra sano establecido.

Aspectos técnicos

El área destinada a coberturas vegetales y conservación en los predios citrícolas fue menor al 25%, en el 80,6% de los predios, y el 94,8% no poseía área mecanizada. Por otro lado, el 32,4% de los predios contaba con acceso al recurso hídrico, ya fuera por medio del distrito de riego (52,3%), un reservorio (29,5%) o pozo profundo (18,2%), y solo el 10,4% tenía canales de drenajes. El 97,7% de los predios usó sistema de riego como la inundación o aspersión, los cuales son menos eficientes en el uso del agua, respecto al riego por goteo que alcanza eficiencias teóricas del 90 al 95% (Antunez *et al.*, 2009).

El 61,2% de los productores estableció lima ácida Tahití (*Citrus x latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez), el 22,4% limón común (*Citrus aurantifolia* Swingle), el 14,9% ambas especies y el 1,5% mandarinas, naranjas, pomelos, lima ácida Tahití y limón común. Además de cítricos, el 96,3% de los productores cultivaban: frutales (76,9%), raíces y tubérculos (64,9%), cereales (32,8%), pastos (19,4%), hortalizas (19,4%) y permanentes (3,7%). Los citricultores se caracterizaron por el establecimiento de plántulas de limón común a partir de semilla y de lima ácida Tahití a partir de material injertado (95,2%) procedente de otro departamento (93,3%), sin conocimiento del portainjerto empleado (100%). En lima ácida Tahití, la densidad de siembra osciló entre 278 a 333 (38,5%), 625 a 1111 (28,8%) y 400 a 500 plantas/ha (13,5%), con el predominio de huertos entre 3 y 5 años (84,6%).

Los marcos de siembra más empleados eran 6 x 6 (38,5%), 4 x 4 (28,8%) y 5 x 5 m (13,4%). En limón común, las densidades de siembra oscilaron entre 278 (32,7%), 625 (15,4%) y 111 (11,5%) plantas/ha, con predominio de huertos de 18 años (50%), de 5 a 12 años (25%) y de menos de tres años (11,5%). Los marcos de siembra más empleado eran 6 x 6 (36,1%), 4 x 4 (17%) y 3 x 3 m (12,8%).

En cuanto a las prácticas agronómicas, 24,6% de los productores fertilizaron y quienes lo hicieron, disponían de una (39,4%), dos (36,4%) o de tres a cinco (24,2%) fuentes de fertilización, entre ellas: triple 15, urea, fertilizantes foliares, DAP, KCl y cafetero. Respecto a las podas, el 23,9% hicieron podas de mantenimiento, el 4,5% de formación y el 3% fitosanitarias. El manejo de arvenses se realizaba de forma manual (46,3%), con herbicidas (4,5%) o con la combinación de ambas estrategias (6,7%). El análisis físico o químico de suelos se realizó en el 69,4% de las fincas, de ellos el 22,6% lo realizó hace 2 a 3 años, el 76,3% más de 3 a 5 años y el 1,1% hace más de cinco años. Los resultados evidencian que, aspectos como: gestión de los suelos, conservación de coberturas vegetales, siembra de material vegetal sano, utilización de distancias de siembra unificadas o adaptadas, empleo de sistemas de riegos y drenajes idóneos y manejo agronómico requieren mayor atención, ya que la tecnificación del cultivo repercute sobre la rentabilidad y estabilidad del agricultor a largo plazo (Páez *et al.*, 2004).

Aspectos fitosanitarios

Sobre las plagas (artrópodos y enfermedades), el 79,9% de los citricultores manifestó la presencia de árboles afectados por termitas (Blattodea: Termitoidae), 61,2% por ácaro hindú [*Schizotetranychus hindustanicus* (Hirst, 1924) (Acari: Tetranychidae)] y 25,4% por minador [*Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae)]. En el 24,6% de los predios se encontró *D. citri*, cuyo manejo se realizó por control químico (20,1%) o por combinación de estrategias químicas y culturales (2,2%).

Entre quienes realizaron control químico, el 80% empleó un producto, 16,7% dos y 3,3% tres o más. Los ingredientes activos registrados más utilizados eran: Sulfoxaflor y Beta-cyfluthrin más Imidacloprid, compuestos indicados por Santos *et al.* (2020)

para el control de *D. citri*. El 25,4% de los encuestados afirmó tener árboles afectados por la fisiopatía identificada como Wood Pocket o mancha sectorial y 13,4% por la tristeza de los cítricos (*Citrus Tristeza Virus*). Ninguno afirmó tener árboles con gomosis (*Phytophthora* sp. o *Lasiodiplodia* sp.).

Respecto al reconocimiento de la sintomatología asociada a HLB, los productores afirmaron ver los primeros síntomas a partir de 2017, sin embargo, pocos implementaron acciones dirigidas al manejo de la enfermedad (12,7%) y de *D. citri* (87,3%). El 51,5% de los productores reconocen los síntomas: ramo clorótico, moteado asimétrico, muerte descendente, frutos deformados, venas corchosas (Figura 1) y caída de frutos, de ellos, 66,7% distinguían tres o más síntomas, 20,3% dos y 13% uno. Se considera bajo el porcentaje de productores que reconocen los síntomas de HLB, en función de que una de las estrategias de manejo oportuna es la detección temprana y eliminación oportuna de árboles infectados con HLB (García-Ávila *et al.*, 2021), la cual resulta ineficiente si se realiza de manera aislada e individual.

La pérdida de árboles por HLB, se estimó en $85,8 \pm 21\%$, con variación del impacto, según la edad y especie cultivada. En cultivos de lima acida Tahití con árboles de 3 a 5 años y de 5 a 12 años, se presentó la pérdida de plantas entre el 99,3 al 100 y 94,7%, respectivamente.

En huertos de limón común con árboles entre los 3 a 5 años y entre 5 a 12 años, se presentó muerte de plantas del 50 al 95,1% y del 33,3 al 96,9% respectivamente, y en los cultivos con árboles entre 12 a 18 años, se reportó la muerte del 94,7%. En predios con árboles mayores de 18 años, algunos productores no reportaron árboles muertos, mientras que otros alcanzaron pérdidas del 96,1 y 99,5%.

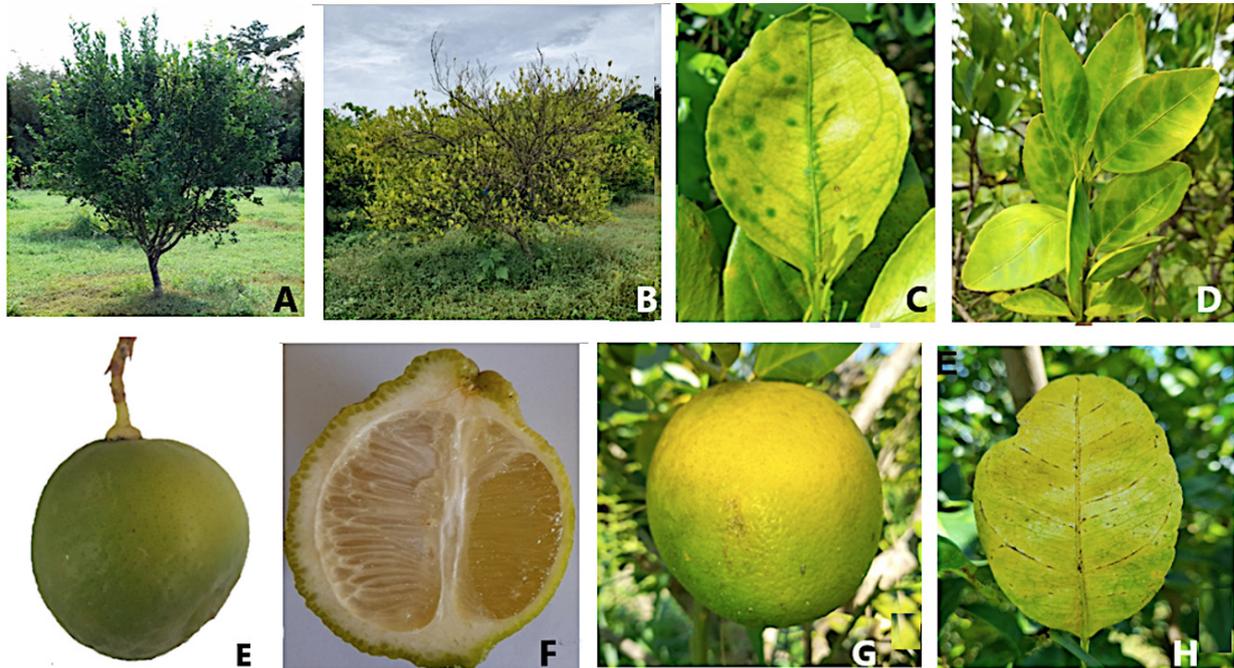


Figura 1. Síntomas de la enfermedad HLB: A. Ramo clorótico; B. Muerte descendente; C. Islas verdes; D. Ramo clorótico con moteado asimétrico; E-F. Fruto deformado; G. inversión de color en frutos; H. Venas corchosas. Fotografías: Autores. Fuente: Elaboración propia.

Bassanezi *et al.* (2011) afirman que la magnitud del impacto de la enfermedad depende en gran medida del manejo agronómico y de la edad del cultivo. Después de la pérdida de las plantas por HLB, el 8,2% de los productores hizo renovación del cultivo.

Con la erradicación y muerte de árboles por HLB o problemas fitosanitarios, Ponedera cambió la vocación productiva de limón común a lima ácida Tahití, especie que por HLB, registró 85,8% de pérdida media de árboles y, más del 90% de los productores, pérdidas superiores al 50%. En establecimiento (0 - 3 años) e inicio de producción (3 - 5 años), encontraron pérdidas superiores al 75%.

El análisis de los resultados de este estudio con los obtenidos por Páez *et al.* (2004) evidenciaron que en Ponedera el cultivo de lima ácida Tahití se seleccionó como una alternativa de renovación ante el envejecimiento y pérdida de plantas de limón común que estaba establecido en el 100% de los predios, así mismo, se observó un aumento entre el 231,7 y 925,8% en la densidad de siembra de

esta especie, que se cultivaba con 120 a 150 plantas/ha. También se observó que las termitas y el minador permanecen como las plagas comúnmente reportadas por los productores. Aspectos contrastantes, como la disminución en las prácticas de control de arvenses y, en las podas de formación y de mantenimiento permiten replantear los programas de capacitación para los productores.

Categorización de los productores

De la encuesta, se derivaron 84 variables jerarquizadas (Tabla 1), lo que evidenció en el análisis de correspondencia múltiple que, los primeros cinco componentes principales o dimensiones explican el 68% de la varianza total observada, mientras que la primera y segunda dimensión explican el 52,8%.

Las 11 variables que aportaron, significativamente, al porcentaje de variación acumulado, según el coeficiente de determinación eran: asistencia a capacitaciones (en establecimiento, nutrición, plagas, podas), especies cítricas establecidas, tipo de propagación, ori-

gen del material de propagación, categoría de edad y marco de siembra del cultivo de lima de ácida Tahití, y categoría de edad del cultivo de limón común (Tabla 2). El análisis de

agrupamiento jerárquico de las variables generó cinco grupos de productores de cítricos en Ponedera (Figura 2) según las siguientes variables características:

Tabla 1. Áreas temáticas, subáreas y principales variables derivadas a partir de la encuesta semiestructurada aplicada. Fuente: Elaboración propia.

Área temática	Sub-área	Variables
Aspectos técnicos	Del cultivo	Especies cítricas cultivadas; Distancia de siembra; Origen y tipo de propagación del material de siembra; Tiempo de establecimiento del cultivo; Número de árboles establecidos antes de HLB; Número de árboles establecidos al momento de la encuesta.
	Manejo agronómico	Dispone de agua para riego; Fuente del agua para riego; Análisis físico o químico de suelos; Tiempo desde el último análisis; Fertilización; Fuentes de fertilización; Control de arvenses; Tipo de control de arvenses realizado; Labores de podas; Tipo de podas realizadas.
	Plagas	Artrópodos plagas percibidas; Estrategias de manejo y control de <i>D. citri</i> ; Productos utilizados en el manejo y control de <i>D. citri</i> ; Enfermedades percibidas; Identifica la enfermedad HLB; Síntomas asociados a la enfermedad identificados; Estrategias de manejo y control de HLB.
Aspectos socioeconómicos y culturales	Sociales	Edad del productor; Nivel de escolaridad; Asistente a eventos de formación (capacitaciones) en el sistema productivo; Temas en los que ha sido capacitado; Tiempo de experiencia en el cultivo; Asociación o gremio al que pertenece.
	Económicos	Relación con el predio; Área del predio; Área agrícola; Área pecuaria; Especies cultivadas.
	Logísticos	Vías de acceso; Servicios públicos domiciliarios; Disposición de aguas servidas, residuos orgánicos e inorgánicos.

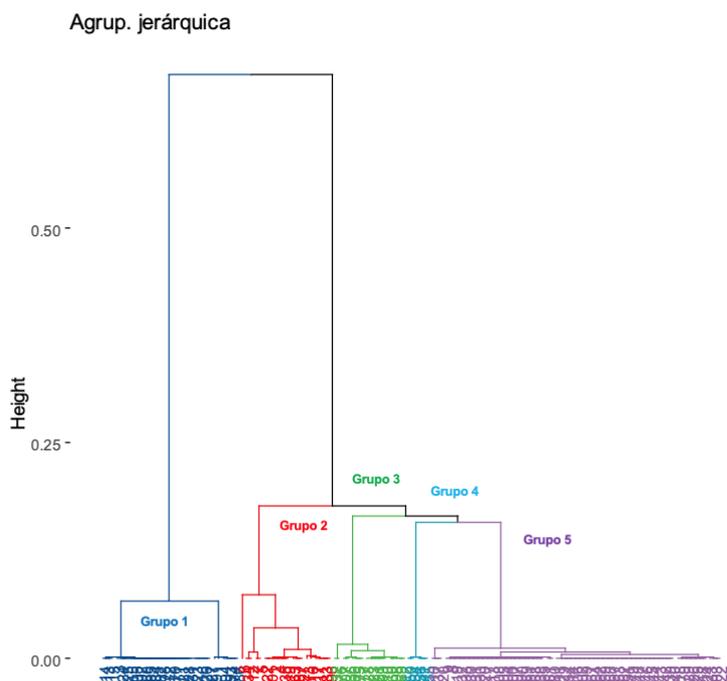


Figura 2. Grupos de productores de cítricos del municipio de Ponedera, Atlántico (Colombia), con base en 11 variables socioeconómicas y del cultivo seleccionadas. Fuente: Elaboración propia.

Grupo 1: conformado por 30 (22,4%) productores. El grupo se caracterizó por agrupar a los productores que sólo cultivan limón común, además el 86,7% tiene cultivos de más de 18 años y el 80,0% nunca asistió a capacitaciones.

Grupo 2: integrado por 20 (14,9%) productores, donde el 100% asistió a algún evento de formación y, entre el 90% y 100%, lo hicieron en las áreas temáticas identificadas entre las variables seleccionadas (Tabla 1). Los productores cultivaban más de una especie cítrica, entre ellas: lima ácida Tahití, limón común, mandarina, naranja o pomelo. Quienes producían lima ácida Tahití compraban la semilla injertada en otro departamento. Un 75% de los productores del grupo tenían cultivos establecidos en marcos de siembra estrechos (menores a 5 x 5 m), con plantas entre 3 o 5 años, mientras que el 65% tenían cultivos de limón común entre 5 y 12 años.

Grupo 3: conformado por 15 (11,2%) productores, donde el 73,3% de los productores del grupo nunca han sido capacitados. El 86,7% de los productores solo cultivan lima ácida Tahití injertada en otro departamento, además, el 66,7% tenían cultivos establecidos en marcos de siembra estrechos (menores a 5 x 5 m). El 13,3% de los productores del grupo cultivaban limón común y lima ácida Tahití.

Grupo 4: integrado por 5 (3,7%) productores, que se caracterizaron por estar capacitados en establecimiento del cultivo, nutrición, plagas y podas. Los productores del grupo producían exclusivamente lima ácida Tahití, sin embargo, el 40% no conocían el tipo de propagación, ni su procedencia. Además, el 60% de los cultivos se encontraban establecidos en marcos de siembra regulares, más de 5 x 5 y menos de 7 x 7 m, tampoco conocían la edad del cultivo.

Tabla 2. Coeficiente de determinación de las 11 variables seleccionadas en cada una de las dimensiones para la construcción de los grupos de productores de cítricos del municipio de Ponedera, Atlántico (Colombia).

Variables	Dim 1	Dim 2	Dim 3	Dim 4	Dim 5
Asistencia a capacitaciones	0,76	0,05	0,00	0,00	0,02
Capacitado en establecimiento	0,66	0,06	0,01	0,01	0,04
Capacitado en nutrición	0,71	0,06	0,01	0,01	0,02
Capacitado en plagas	0,66	0,06	0,01	0,01	0,04
Capacitado en podas	0,72	0,03	0,01	0,01	0,03
Especies cítricas establecidas	0,78	0,33	0,13	0,09	0,14
Tipo de propagación de lima ácida Tahití	0,76	0,09	0,14	0,04	0,24
Origen del material de propagación de lima ácida Tahití	0,76	0,01	0,12	0,03	0,23
Categoría de edad del cultivo de lima ácida Tahití	0,63	0,25	0,08	0,22	0,23
Marco de siembra del cultivo de lima ácida Tahití	0,70	0,01	0,33	0,16	0,17
Categoría de edad del cultivo de limón común	0,70	0,38	0,11	0,12	0,14

Grupo 5: conformado por 64 (47,8%) productores, donde el 100% asistió a algún evento de formación, con una participación entre el 95,3 y 100% en las áreas temáticas de nutrición, plagas o podas. Los productores se caracterizaron por producir exclusivamente lima ácida Tahití injertada, en otro departamento. El 82,8% de los cultivos tenían más de 3 o menos de 5 años y un 51,6% estaba establecido en marcos de siembra mayores a 5 x 5 m.

Independientemente del grupo, alrededor del 85% de los citricultores perdieron más del 50% de los árboles producto de las limitantes fitosanitarias, abióticas y de manejo del cultivo, como: el elevado porcentaje de cultivos sin riego (67,6%) ni fertilización (75,4%) ni prácticas de control de *D. citri* (76,9%) ni de HLB (87,3%), lo que pudo favorecer a la dispersión e impacto de la enfermedad en un corto periodo de tiempo. Plantaciones de limón común afectadas por HLB y con un deficiente manejo de riego y fertilización, se volvieron improductivas, en cambio, cuando dichas labores agronómicas fueron adecuadas, exhibieron una reducción del rendimiento entre el 40 y 60% (Robles-González *et al.*, 2017).

Las variables asociadas al componente técnico del cultivo, el tipo de sistema productivo y la capacitación contribuyeron en mayor medida a la diferenciación de los productores de Ponedera, además, permiten perfilar la formación continuada de los productores en aspectos técnicos, la conformación de grupos o clústeres, el desarrollo de ofertas tecnológicas y su vinculación, como estrategias de alto impacto que contribuirían a la transformación sostenible del sector cítrícola. La creación de tecnologías adaptadas a las condiciones de los productores es clave para el desarrollo de la agricultura en países como Colombia

(Cristancho y Uribe, 2007). Asimismo, la integración de la investigación con la extensión fundamentada en sistemas tecnológicos y acercamientos transdisciplinarios es un eslabón fundamental para el fortalecimiento, adaptación y recuperación de la citricultura frente a HLB (NASEM, 2018).

CONCLUSIONES

La baja tecnificación de los sistemas productivos y las limitantes abióticas y fitosanitarias, sumadas al efecto devastador de la enfermedad HLB, llevó a un alto porcentaje de árboles muertos con la consecuente reducción en el área sembrada y cosechada, producción y rendimiento en el municipio de Ponedera, Atlántico (Colombia). Los aspectos técnicos del cultivo, la formación continuada de los agricultores y la variedad de cítricos sembrada son las variables que diferencian a los productores. Así, la continuación en la capacitación de los citricultores, conformación de clústeres productivos, creación y vinculación de ofertas tecnológicas adaptadas a las condiciones locales, de acuerdo con las variedades de cítricos cultivadas, pueden ser estrategias de alto impacto en la diferenciación de los citricultores de Ponedera, en favor de su desarrollo económico y social.

AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros agrónomos Ronald Manuel Camacho Beltrán y Wdeymer Cristóbal Vásquez Cantillo, por aplicar las encuestas; a los productores de cítricos de Ponedera (Atlántico) por abrir sus puertas, compartir su conocimiento y experiencia en el sistema productivo de cítricos; y a AGROSAVIA e ICA por la financiación del Convenio Derivado No. 8, proyecto "Acciones para mantener y mejorar estatus fitosanitario en sistemas productivos

de cítricos y musáceas en Colombia”, dentro del cual se ejecutó esta investigación desde el Centro de Investigación Caribia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existió conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito.

REFERENCIAS

Agencia de Desarrollo Rural – ADR. 2019.

Plan Integral de Desarrollo Agropecuario y Rural con enfoque territorial, Tomo II. Departamento de Atlántico.

https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/ATLANTICO-TOMO-II-1_compressed-1.pdf

Antunez B., Mora L., Felmer E. y Mora L.

2009. Eficiencia de riego en sistemas localizados.

<https://hdl.handle.net/20.500.14001/7279>

Bassanezi, R., Belasque, J. and Montesino, L.

2013. Frequency of symptomatic trees removal in small citrus blocks on citrus huanglongbing epidemics. *Crop Protection* 52: 72-77.

<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.05.012>

Bassanezi, R., Montesino, L., Godoy, G., Filho, A. and Amorin, L.

2011. Yield loss caused by huanglongbing in different sweet orange cultivars in São Paulo, Brazil. *European Journal of Plant Pathology* 130:577-586.

<https://doi.org/10.1007/s10658-011-9779-1>

Cabrera, D., García, A., Acero, R., Castaldo, A., Perea, J. y Martos, J.

2004. Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos. Universidad de Córdoba. Documentos de Trabajo Producción Animal y Gestión. DT, 1.

Cristancho, E. y Uribe, C.

2007. Inversiones en ciencia, tecnología e innovación para el sector pecuario por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20(4): 512–515.

Cleves-Leguizamo, J. and Jarma-Orozco, A.

2014. Characterization and typification of citrus production systems in the department of Meta. *Agronomía Colombiana* 32(1): 113-121.

<http://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n1.42164>

DANE. 2016.

Colombia – Tercer Censo Nacional Agropecuario – 2014 – 3er CNA.

https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/513/get_microdata

EPPO. 2021.

Distribution “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” (LIBEAS).

<https://gd.eppo.int/taxon/LIBEAS/distribution>

García-Ávila, C., Trujillo-Arriaga, F., Quezada-Salinas, A., Ruiz-Galván, I., Bravo-Pérez, D., Pineda-Ríos, J., Florencio-Anastasio, J. and Robles-García, P.

2021. Holistic area-wide approach for successfully managing citrus greening (Huanglongbing) in Mexico. En: Hendrichs, J., Pereira, R., and Vreysen, M. (Ed). *Area-Wide Integrated Pest Management*, CRC Press, p.33-49.

<https://doi.org/10.1201/9781003169239-4>

- Espinel, P. 2015.** Procedimiento para efectuar una clasificación ascendente jerárquica de un conjunto de puntos utilizando el método de Ward. *Infociencia* 9(1): 13-18.
- Gottwald, T. 2010.** Current epidemiological understanding of citrus huanglongbing. *Annual Review of Phytopathology* 48:119-139.
<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114418>
- Giraud, L. y Morantes, G. 2017.** Aplicación del análisis multivariante para la sostenibilidad ambiental urbana. *Bitácora Urbano-Territorial* 1(27): 89-100.
<https://doi.org/10.15446/bitacora.v27n1.52110>
- Hall, D., Richardson, M., Ammar, E. and Halbert, S. 2013.** Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, vector of citrus huanglongbing disease. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 146(2): 207-223.
<https://doi.org/10.1111/eea.12025>
- Hilf, M. and Luo, W. 2020.** Inoculation period and citrus host effect establishment of new infections of “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” transmitted via vegetative grafting. *Plant Disease* 104(7).
<https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-2022-RE>
- Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. 2016.** Resolución 10508 de 2016 “Por medio de la cual se declara en cuarentena fitosanitaria el departamento del Atlántico, por la presencia de la plaga denominada huanglongbing (HLB) de los cítricos”
<https://www.ica.gov.co/getattachment/7b0cf8e8-c92a-480f-8c8a-af6417107bec/2016R10508.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. 2019.** Resolución 1668 de 2019 “Por medio de la cual se declaran la enfermedad huanglongbing (HLB) de los cítricos y su vector el insecto *Diaphorina citri* Kuwayama como plagas de control oficial y se establecen las medidas fitosanitarias para su manejo y control”.
<https://www.ica.gov.co/getattachment/877b5bbb-0f20-4253-9f7d-7b20f03e2629/2019R01668.aspx>
- Lê, S., Josse, J. and Husson, F. 2008.** FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software* 25(1): 1-18.
<https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Leibovich, J. y Estrada, L. 2008.** Competitividad del sector agropecuario colombiano., En: Consejo Privado de Competitividad (Ed). Informe nacional de competitividad 2008 -2009: Ruta a la prosperidad colectiva. CPC, Bogotá, p139-168.
<https://compite.com.co/wp-content/uploads/2017/05/INC2008.pdf>
- National Academies of Sciences Engineering and Medicine - NASEM. 2018.** A Review of the citrus greening research and development efforts supported by the citrus research and development foundation: fighting a ravaging Disease. The National Academies Press, Washington.
<https://doi.org/10.17226/25026>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR. 2020.** Base Agrícola EVA 2007-2019 (P)
<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR. 2021.** Cadena del cítricos. Indicadores e instrumentos. Segundo trimestre 2021. Sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadenas – SIOC
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Citricos/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

- Miranda-Salas, T., Rodríguez-Yzquierdo, G., León-Pacheco, R. y Gómez-Correa, J. 2019.** Tipologías de productores de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) en el departamento del Meta, Colombia. Revista UNELLEZ Ciencia y Tecnología 37: 26-37.
- Páez, A., Robledo, L., Buelvas, S., López, O., Torregroza, G., Cuello, J., Caicedo, A., Ávila, R. y Venegas, N. 2004.** Caracterización de los sistemas de producción de cítricos y papaya en la región Caribe colombiana. Corpoica, Valledupar, p10-77.
- Pulido, S., Arguelles, J., Alvarado, B. y Polanco, N. 2009.** Tipificación de productores de cítricos en el departamento del Casanare. En: Orduz, J., Pulido, S., Alvarado, B., Polanco, N., Almansa, E., Julesmar, A., Salamanca, C., Arguello, J., y Arguelles, J. (Ed). Evaluación de la citricultura del departamento del Casanare y recomendaciones para su mejoramiento productivo, Corpoica, Villavicencio, p31-45.
- R Core Team. 2021.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
<https://www.R-project.org/>
- Robles-González, M., Orozco-Santos, M., Manzanilla-Ramírez, M., Velázquez-Monreal, J. y Carrillo-Medrano, S. 2017.** Efecto del HLB sobre el rendimiento de limón mexicano en Colima, México. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas 8(5): 1101-1111.
[10.29312/remexca.v8i5.111](https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.111)
- Santos, O., Guerrero, M. y Palacino, J. 2020.** Bases para el Manejo Integrado de *Diaphorina citri* (*Hemiptera: Liviidae*): vector del HLB de los cítricos. ICA-ASOHOFRUCOL, Bogotá, p16-19.
- Thapa, S., De Francesco, A., Trinh, J., Gurung, F., Pang, Z., Vidalakis, G., Wang, N., Ancona, V., Ma, W. and Coaker, G. 2020.** Genome-wide analyses of *Liberibacter* species provides insights into evolution, phylogenetic relationships, and virulence factors. Molecular Plant Pathology 21(5): 716-731.
<https://doi.org/10.1111/mpp.12925>
- Trujillo, S. 2009.** La Educación como factor generador de competitividad Agropecuaria en Colombia. Tesis en Zootecnia, Universidad de La Salle, Bogotá.
- Useche, J. 2020.** Factores asociados al relevo generacional en la producción agropecuaria familiar, en la zona rural del municipio en San José del Guaviare. Tesis de Maestría en Agrociencias, Universidad de La Salle, Bogotá.

Eficiencia de dos consorcios bacterianos para el control de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en cultivos de papa *Solanum tuberosum* var. andígena.

Efficiency of two bacterial consortia on *Spongospora subterranea* f sp. *subterranea* control in *Solanum tuberosum* var. andigena potato crops

Yoldi Dalila Ortiz Muñoz^{1*} ; Luis Francisco Rodríguez Rodríguez¹

Recibido para publicación: octubre 07 de 2021 - Aceptado para publicación: diciembre 14 de 2021

RESUMEN

Para los cultivadores de papa, las plagas y enfermedades son los principales problemas que afectan la producción. Cultivos completos se pierden por la enfermedad llamada sarna polvorosa causada por el protozoo *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* (Sss), la cual perjudica a las raíces generando reducción en la producción de tubérculos y deteriorando la apariencia del mismo. Con el fin de validar una alternativa para su control, se evaluaron en el municipio de Subachoque – Cundinamarca, dos consorcios bacterianos: uno conformado por tres cepas de *Bacillus* spp (C1) y otro formado con dos cepas de *Pseudomonas* spp (C2). La evaluación se realizó en cultivos de papa orgánica *Solanum tuberosum* var. andígena-cultivar nativo, en unidades experimentales empleando el modelo estadístico Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), con tres tratamientos, incluyendo el testigo y cuatro repeticiones cada uno. Se midió la severidad expresada como presencia/ausencia de pústulas en los tubérculos (post cosecha), el número de quistosoros de Sss/g de suelo (antes, durante y post cosecha), y el rendimiento por unidad de área. El consorcio C1 reportó mayor acción antagonista frente Sss, presentando un 4,5% en la aparición de las pústulas en la piel de los tubérculos, frente un 23,6% reportado para el testigo. El mismo tratamiento tuvo diferencias estadísticas significativas frente a los otros tratamientos ($P \leq 0,05$) tanto en la disminución del recuento de quistosoros en suelo, como en la presencia de pústulas. Se concluye que, el consorcio C1 (*Bacillus subtilis*, *B. megaterium* y *B. thuringiensis*), es una alternativa para el manejo integrado de Sss.

Palabras clave: Agricultura; Antagonismo; *Bacillus subtilis*, *B. megaterium*, *B. thuringiensis*; *Pseudomonas fluorescens*, *P. moraviensis*.

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

*Autor para correspondencia: Yoldi Dalila Ortiz Muñoz
Email: andessumapaz@gmail.com

ABSTRACT

For potato growers, pests and diseases are the main factors that affect production. Entire crops are lost due to Powdery scab disease caused by the protozoan *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* (Sss) which damages the roots, reducing tuber production and appearance. To validate a control alternative, two bacterial consortia were evaluated in the municipality of Subachoque - Cundinamarca: *Bacillus* spp and *Pseudomonas* spp (C2). Evaluation was performed on an experimental crop of *Solanum tuberosum* var. andigena - native, using a Completely Randomized Design, with three treatments, including the control, and four replicates each. Severity was assessed as pustules presence/absence in the tubers (post-harvest), number of Sss cystosorus g⁻¹ soil (before, during and post, harvest), and yield per unit area. C1 consortium reported greater antagonistic action against Sss, showing only 4.5% in pustule appearance on tuber skin compared to 23.6% reported in the control. The same treatment reported significant statistical differences compared to other treatments ($P \leq 0.05$) in both, decrease in Sss cystosorus g⁻¹ soil, and pustules. It is concluded that using C1 consortium (*Bacillus subtilis*, *B. megaterium* and *B. thuringiensis*) is an alternative for integrated management of Sss.

Key words: Agriculture; Antagonism; *Bacillus subtilis*, *B. megaterium*, *B. thuringiensis*; *Pseudomonas fluorescens*; *P. moraviensis*.

Cómo citar

Ortiz Muñoz, Y.D. y Rodríguez Rodríguez, L.F. 2021. Eficiencia de dos consorcios bacterianos para el control de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en cultivos de papa *Solanum tuberosum* var. andígena. *Temas Agrarios* 26(2): 182-189.
<https://doi.org/10.21897/rt.v26i2.2742>



Temas Agrarios 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la papa se cultiva en climas fríos y zonas de páramo, siendo las plagas y enfermedades el principales problemas que afectan la producción (Vargas *et al.*, 2020). La sarna polvorosa enfermedad producida por el parásito *Spongospora subterranea f.sp. subterranea* (Sss), está presente en la mayoría de las zonas paperas del país generando pérdidas hasta del 50% en cosechas, debido a la malformación generada y la reducción en la producción de tubérculos. Este protozoo presenta difícil manejo por los largos periodos de supervivencia en el suelo y la falta de tratamientos efectivos, puesto que no hay plaguicidas químicos ni biológicos para su control (Mesa *et al.*, 2018).

Estudios han demostrado que existen en la naturaleza biocontroladores como hongos y bacterias capaces de minimizar los efectos asociados a la sarna polvorosa en cultivos de papa; entre los cuales se destacan *Trichoderma* spp, *Pseudomonas* spp, *Bacillus* spp, y *Streptomyces* spp, (Mesa *et al.*, 2018). Con base en lo anterior y con el fin de contribuir en el manejo de la enfermedad, se planteó comprobar la eficiencia de dos consorcios bacterianos no patógenos previamente aislados e identificados como *Bacillus* spp, consorcio 1 (C1); *Pseudomonas* spp, consorcio 2 (C2).

El cultivar seleccionado fue *Solanum tuberosum* var andígena, grupo de papas nativas recuperadas que se ha venido extendiendo por Sudamérica presentando gran diversidad morfológica de plantas, incluyendo formas y colores en tubérculos y flores (Atencio *et al.*, 2019). Los tubérculos empleados en los cultivos experimentales coinciden con la descripción hecha por Monteros *et al.* (2017), quienes caracterizaron al cultivar *Leona negra* con flores en cantidades moderadas de color violeta - morado oscuro con forma

pentagonal, tallos pigmentados y nervaduras de color verde rectas, hojas con cinco pares de folíolos laterales, periderma rojo-morado y pulpa amarilla con manchas rojas circulares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área y del cultivo.

La eficiencia de los consorcios se determinó en un cultivo experimental de papa nativa (*Solanum tuberosum* var. andígena), ubicado en la vereda El Hato (LN 4,966 y LW 74,140. 2584 msnm), de Subachoque, Cundinamarca – Colombia, suelos en los que se identificó previamente la presencia de Sss. El cultivo se realizó entre los meses de junio a octubre de 2021 siguiendo los principios agroecológicos propuestos por Bover y Suárez (2020). El área del cultivo se caracteriza por presentar temperatura promedio anual de 13 °C con zonas de clima frío y páramo. La precipitación promedio anual es de 890 mm, distribuida entre abril y junio, y entre octubre y diciembre (Vargas *et al.*, 2020).

Características de los inóculos antagonistas.

En fases anteriores al proyecto, se tomaron muestras de suelos de cultivos de papa de la región Cundi-Boyacense, de las cuales se aislaron, purificaron e identificaron *In Vitro* 21 cepas bacterianas nativas no patógenas con potencial antagonico frente al Sss, en el laboratorio de la línea de biotecnología del TecnoParque SENA, nodo Bogotá. Las mismas se identificaron molecularmente en el laboratorio de investigación y biotecnología CORPOGEN®. Las cepas no patógenas fueron sometidas, de nuevo, a pruebas de antagonismo en campo con condiciones controladas, según los métodos propuestos por Espinoza, *et al.* (2019). Por su comportamiento antagonista frente a Ss, se seleccionaron: C1, *B. subtilis*, *B. megaterium* y *B. thuringiensis*; y C2, *P. fluorescens* y *P. moraviensis*.

Las cepas bacterianas seleccionadas, se conservaron y encapsularon por separado con tierra de diatomeas siguiendo la metodología de Espitia *et al.* (2019), obteniendo un polvo de fácil manipulación. En campo se mezclaron las cepas correspondientes a C1 y por aparte las cepas de C2. Los consorcios se aplicaron de forma líquida sobre el suelo en una dilución acuosa 1:100, aproximadamente 200 mL por planta, tres veces durante el cultivo de la papa: en la siembra, en el primer y segundo aporque. Antes de cada aplicación, se realizó recuento de microorganismos garantizando concentraciones entre 10^7 - 10^8 ufc/mL.

Variables evaluadas.

Se tomaron muestras de suelo compuestas para realizar los análisis físico químicos de interés agrícola (Rodríguez, Olivera y Peña, 2019) y para determinar el recuento de quistosoros de Sss. Este último se hizo modificando el método empleado por Pérez, *et al.* (2012). De cada unidad experimental se tomaron 300 g de muestra de suelo secado al ambiente durante 48 h. Posteriormente, se tamizó por mallas 500, 350, 106 y 53 μ m, sucesivamente. De cada muestra se pesó 1 g, se hidrató con agua hasta completar 10 mL y se adicionó 1 gota de azul de tripano.

Esta suspensión se agitó en vortex durante 3 minutos a 1500 rpm. Después de reposar un minuto, se tomó una alícuota superficial de 20 μ L para ver en cámara de Neubauer bajo objetivo 4x de microscopio óptico. Se contaron únicamente los quistosoros reconocidos morfológicamente ubicados en los cuatro cuadrantes para recuento de Leucocitos (García *et al.* 2018) (Figura 1A). La concentración se calculó multiplicando el número de quistosoros contados x 50. Para calcular los quistosoros por gramo de suelo, se multiplicó el resultado por el factor de dilución (10) y se dividió por el peso de la muestra de suelo (300 g). Lo anterior se repitió por triplicado.

Después de la cosecha se recolectaron aleatoriamente dos plantas junto con todos sus tubérculos, ubicadas en las parcelas centrales de cada unidad experimental. De cada una de ellas, se seleccionaron las papas sanas e infectadas con Sss según la morfología caracterizada por García *et al.* (2018) (Figura 1B), obteniendo el número de tubérculos por planta sanos y el número de tubérculos por planta enfermos. Para determinar el rendimiento por tratamiento y área, se pesó la totalidad de las papas por unidad experimental y se comparó frente

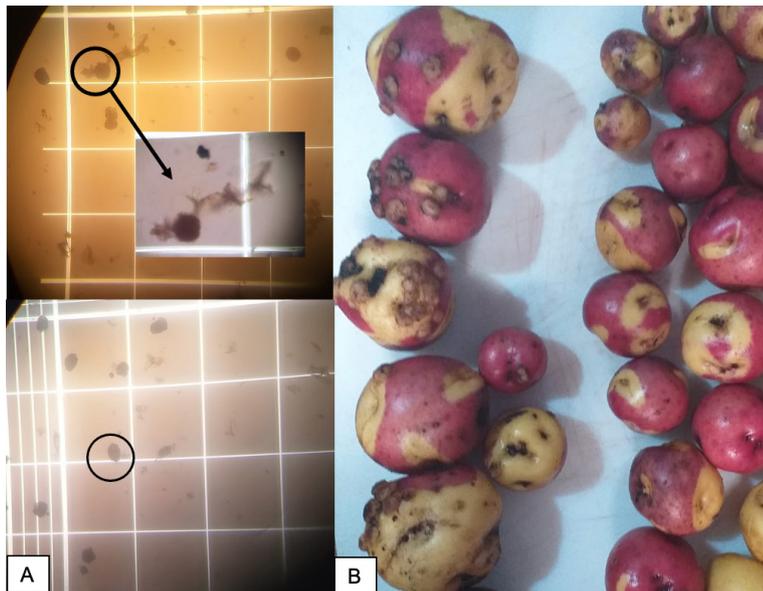


Figura 1.A. Identificación de quistosoros recuperados de suelos de cultivo. Microscopio óptico 4x. **B.** Identificación y recuento de tubérculos con presencia de pústulas de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*.

al peso de la cosecha (Lavilla *et al.*, 2021). Análisis estadísticos.

Se empleó un Diseño Completamente Aleatorizado, conformado por tres tratamientos (C1, C2 y un testigo), cada uno con cuatro repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales. Cada unidad de 4 m x 4 m, con cuatro surcos internos en los que se sembraron 32 semillas de papa con yemas o estado de brote. Las características de las unidades experimentales fueron extrapoladas de los protocolos para ensayos de eficacia (ANDI – ICA. 2015).

Para el análisis de los resultados del número de tubérculos infectados y el recuento de los quistosoros de Sss, se utilizó el software libre R. Se comprobó la normalidad de las variables a través de un análisis descriptivo y análisis de varianza ANAVA. La significancia de la varianza se corroboró con la prueba F. Las medias se compararon a través de Rangos Múltiples de Tukey con un α de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis físico químicos y climáticos de interés para Sss.

Los principales parámetros de interés agrícola monitoreados fueron pH (5,9 para todas las unidades), Carbono Orgánico Total (COT entre 7,6 y 11,4%), Nitrógeno Total (NT entre 1 y 1,4%), Fósforo Disponible (FD entre 7,4 y 9,3 mg/kg) y Potasio (K entre 463,8 y 628 mg/kg). En todas las unidades, incluyendo los testigos y a lo largo del cultivo, se registró un incremento de los nutrientes, sin diferencia significativa estadística entre ellos. Puede que dicho aumento se debe a la adición de los bioinsumos empleados a lo largo del cultivo (Bover y Suárez, 2020) y no por la capacidad de los microorganismos en movilizar y/o fijar nutrientes. Sin embargo, autores como Rodríguez *et al.* (2019) manifiestan que

los géneros empleados *Bacillus* spp y *Pseudomonas* spp ostentan esta capacidad, así como algunos hongos micorrízicos.

El desarrollo de la enfermedad es altamente dependiente de las condiciones ambientales, más no de la cantidad de quistosoros en el suelo. Al respecto, se encontró que no hay una correlación directa entre el recuento de quistosoros y las condiciones climáticas del lugar (suelo y aire). Balendres, *et al.* (2017), plantean que, aunque haya una mínima cantidad de zoosporas (fase asexual de movilidad del protozoo), sí las condiciones del suelo respecto a humedad (WC) son superiores al 60%, y con temperaturas medias (ST) entre 15 – 20 °C, el microorganismo pasa a fase de reproducción propagándose rápidamente sobre los tubérculos. Puntualmente, una WC entre 65 – 100% y ST entre 12 a 15°C, son las condiciones necesarias para el desarrollo Sss; es decir, clima húmedo y frío (Mesa *et al.*, 2018); siendo los 17 °C la ST óptima para la formación de agallas y liberación de zoosporas (Franco *et al.*, 2015).

Al respecto, las condiciones edafológicas del área de estudio, reportaron promedio de WC 28% y ST de 19°C (Figura 2), lo que indica que existían los escenarios favorables para la propagación de la sarna polvorosa entre los tubérculos del cultivo; sin embargo, según el conteo post cosecha de papas con pústulas, las unidades que fueron tratadas con C1 y C2 no manifestaron altos niveles de infestación (Tabla 1). De manera similar, parámetros como la temperatura del aire (TEMP 17,4 °C) y la humedad relativa (RH 58,3%) del área de cultivo, permitieron identificar que el entorno del cultivo presentó condiciones óptimas para el crecimiento y propagación del fitopatógeno Sss; no obstante, el recuento de pústulas y de quistosoros reportaron evidencia estadística que indica que existió un control efectivo del patógeno por parte de los tratamientos.

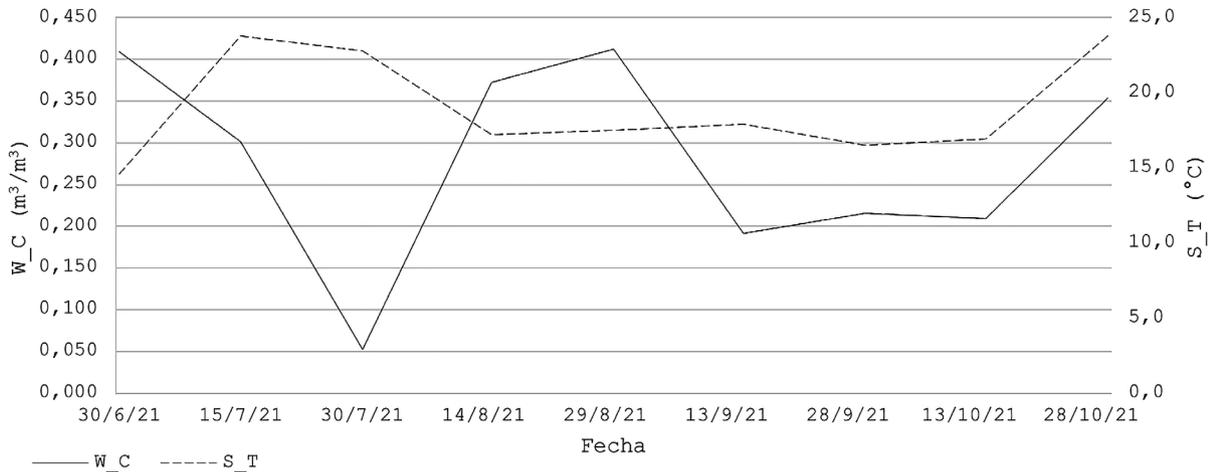


Figura 2. Condiciones de los suelos del área de estudio. Promedios: humedad WC 28% y temperatura ST 19°C.

Tabla 1. Cálculo postcosecha de la Incidencia de pústulas de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en tubérculos de papa *Solanun Tuberosum* var. *andigena*.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO (%)	TUBÉRCULOS INFECTADOS	GRADO INCIDENCIA
Testigo	31,7	23,8	3
Consorcio C1	32,8	4,5	1
Consorcio C2	35,6	7,4	1
TOTAL	100	35,7	4

Por otro lado, en suelos con WC constante, la incidencia de Sss es mayor que en aquéllos cuya WC está continuamente fluctuando (Falloon *et al.*, 2016). En los suelos de los cultivos el WC fluctuó desde el 5,2 % hasta el 41,2%. Esta información sumada a la disminución de los quistosoros en los suelos tratados con C1 y C2 puede interpretarse como efecto positivo de los tratamientos sobre el control de la sarna polvorosa.

La tasa de infiltración de los suelos analizados, corresponde a los valores de infiltración esperados para suelos en condiciones normales (Farias *et al.*, 2020). El promedio de infiltración para el predio fue de 59,13 y 65,81 mm/h, en el primer y segundo monitoreo, respectivamente. Para los mismos autores, los resultados se encuentran dentro del

rango normal de la capacidad de infiltración de suelos en condiciones adecuadas para labranza, con medio-alto contenidos de materia orgánica y medio-alto contenido de arcillas. Por otro lado, la diferencia entre los promedios de los monitoreos no supera el 10%, lo cual indica la certidumbre de los procedimientos y, por tanto, la veracidad de los resultados. Según las dos observaciones hechas en campo, la capacidad de infiltración de los predios presentó una tasa de infiltración normal en donde, a mayor saturación de agua (mayor tiempo de la prueba) menor capacidad de infiltración (mayor retención del agua en la superficie).

El resultado obtenido coincide con los antecedentes edáficos del lugar y con los resultados obtenidos en años anteriores

en pruebas de capacidad de infiltración. Al respecto, Úbeda y Delgado (2018) manifiestan que es evidente que las actividades antrópicas realizadas en la zona no hayan afectado las características edáficas del lugar, específicamente la capacidad de infiltración del suelo.

Al comparar los resultados de la infiltración con las concentraciones de materia orgánica disponible en los suelos de cultivo, se evidencia una relación directamente proporcional. Según los mismos autores, la materia orgánica en el suelo funciona como hidro retenedor, puesto que el desprendimiento de los coloides orgánicos que atraen las moléculas de agua, se conservan hasta cuando un organismo vivo los necesita; en este caso, las plantas de papa.

Recuento de quistosoros de Sss.

Según el ANAVA correspondiente al recuento de quistosoros, se comprobó que hay diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$). Posteriormente con la prueba de Tukey, se establecieron evidencias estadísticas que sugieren que el tratamiento C1 es el consorcio bacteriano con mejor capacidad antagónica frente al protozoo Sss. Al respecto, Mesa *et al.* (2018), plantean que hay microorganismos productores de metabolitos que son capaces de ejercer control biológico sobre el patógeno en la papa, específicamente, bacterias de los géneros *Bacillus spp* y *Pseudomonas spp*.

O'brien y Milroy (2017), y Simango y Van der Waals (2017), indican que al rededor del mundo existen pocas investigaciones sobre microorganismos que actúen como biocontroladores de Sss, destacando la capacidad antagónica de las bacterias pertenecientes al grupo de *Bacillus subtilis* y al género de *Pseudomonas spp*.

Ahora bien, O'brien y Milroy (2017), basados en estudios anteriores, manifiestan que no es

viabile mezclar dos géneros bacterianos para el control de Sss, pues entre ellos mismos se genera competencia. Esto último, desmotivó la idea de incluir un tratamiento que contuviera cepas de los dos géneros.

Número de tubérculos por planta enfermos.

De forma similar al recuento de quistosoros, se corrió un ANAVA y posteriormente prueba Tukey para determinar la respuesta de los tratamientos sobre el control de Sss en los cultivos experimentales. Al respecto, se encontró evidencia estadística de que existen diferencias entre los tratamientos ($P \leq 0,05$), y que el C1 fue el que mejor control ejerció sobre la aparición de pústulas del protozoo en el peridermis de las papas.

Adicionalmente, se obtuvieron los porcentajes y niveles de incidencia de la enfermedad, siguiendo la metodología clásica planteada por Abbott (1925). El tratamiento con menor incidencia fue el C1 (4,5% y grado de incidencia GI 1 – escala de 0 a 5, en donde 5 es el grado con mayor afectación con porcentajes > 60), seguido de C2 (7,4% y GI 1) y como era de esperarse, las unidades experimentales testigo fueron las que presentaron mayor grado de incidencia de la enfermedad (23,8% y GI 3). Con ello, una vez más se demuestra la capacidad de controlar la sarna polvorosa por parte de los microorganismos testeados y la certidumbre del ejercicio.

Rendimiento por tratamiento y área.

Se observó un leve incremento en el número de tubérculos obtenidos en los cultivos con los tratamientos, siendo el de mayor rendimiento el C2. Así pues, y aunque existió un número mayor de papas en las unidades con inóculos bacterianos, no existe evidencia estadística que apoye tal relación y, por tanto, no se puede aseverar que otro efecto de los tratamientos sea el mejoramiento en el rendimiento.

CONCLUSIONES

Los consorcios bacterianos C1 (tres cepas de *Baccillus* spp) y C2 (dos cepas de *Pseudomonas* spp) fueron eficientes al reducir significativamente los daños causados por *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. De los dos consorcios, el C1 reportó 2.9% menos porcentaje de afectación en los tubérculos, con respecto a C2. Por tanto, se recomienda el uso del consorcio C1 como estrategia en los planes de manejo de la enfermedad.

Aparentemente, los consorcios bacterianos empleados también generan mejores condiciones nutricionales para los cultivos, reflejado en un leve incremento del rendimiento de las cosechas. Sin embargo, esto último se deja como recomendación para futuras investigaciones con el fin de contrastar estadísticamente la información.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existió conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito.

REFERENCIAS

- Abbott, W. 1925.** A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol.; 18: 265-267.
- ANDI – ICA. 2015.** Manual para elaboración de protocolos para ensayos de eficacia. Cámara procultivos de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia ANDI.
<https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/regulacion-y-control-de-plaguicidas-quimicos/manual-protocolos-ensayos-eficacia-pqua-1.aspx>
- Atencio, H. Ispizúa, N., Feingold, S. y Clausen, A. 2019.** Conservación ex situ de variedades de papas nativas. Caso de estudio de la variedad 'Collareja' del noroeste de la Argentina. Revista de Investigaciones Agropecuarias 45(2): 242-251.
- Balendres, A., Tegg, S. and Wilson, C. 2017.** Resting spore dormancy and infectivity characteristics of the potato powdery scab pathogen *Spongospora subterranea*. Journal of Phytopathology 165(5): 323-330.
<https://doi.org/10.1111/jph.12565>
- Bover, F. y Suárez, H. 2020.** Contribución del enfoque de la agroecología en el funcionamiento y estructura de los agroecosistemas integrados Pastos y Forrajes; 43 (2): 102-111.
- Espinoza, C., Gallegos, M., Hernández, C., Ochoa, F., Cepeda, S. y Castillo, R. 2019.** Antagonistas microbianos a *Fusarium* spp., como agente causal de pudrición de raíces y tallo en melón. Ecosistemas y recursos agropecuarios 6(16): 45-55.
<https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1843>
- Espitia, N., Corredor, P., Castaño, O., Rodríguez, M., Ordoñez, B. and Pérez, F. 2019.** Mechanisms of encapsulation of bacteria in self-healing concrete: review. DYNA 86 (210): 17-22.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.75343>
- Fariás, B., Marquez, A., Guevara, E. and Rey, D. 2020.** Geostatistical modeling of surface water balance (SWB) under variable soil moisture conditions in the Pao river basin, Venezuela. Dyna 87(213): 192-201.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v87n213.84446>

- Falloon, E., Merz, U., Butler, C., Curtin, D., Lister, A. and Thomas, M. 2016.** Root infection of potato by *Spongospora subterranea*: knowledge review and evidence for decreased plant productivity. *Plant Pathology* 65(3): 422-434.
<https://doi.org/10.1111/ppa.12419>
- Franco, R., Amaya, Z. y Torres, C. 2015.** Evaluación de la Resistencia a la Sarna Polvosa en Genotipos de *Solanum Phureja* Bajo Condiciones Controladas a Partir de Tubérculos Semilla. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 11(1): 8-19.
<https://doi.org/10.18359/rfcb.378>
- García, Á., Valenzuela, T., Florencio, A., Ruiz, G., Moreno, V., Hernández, M., López, B., Bravo, P., Pineda, R., Quezada, S. y Ávila, Q. 2018.** Organismos asociados a daños en tubérculos de papa en postcosecha. *Revista mexicana de fitopatología* 36 (2): 308-320.
<https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1801-1>
- Lavilla, M. y Ivancovich, A. 2021.** Relación entre enfermedades y rendimiento de granos de soja. *Agronomía Mesoamericana* 32 (2): 479-486.
<https://doi.org/10.15517/am.v32i2.44057>
- Mesa, Q., García, D. y Cotes, P. 2018.** En búsqueda de una alternativa de manejo del camanduleo de la papa ocasionada por *Spongospora subterranea*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11 (2): 378-386.
<http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.6150>
- Monteros, A., Buitrón J., Orbe K. and Cuesta, X. 2017.** Ecuadorian potato landraces: Traditional names and genetic identity. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40 (4): 481-489.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2017.4.481-489>
- O'brien, A. and Milroy, P. 2017.** Towards biological control of *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*, the causal agent of powdery scab in potato. *Australasian Plant Pathology* 46: 1-10.
- Pérez, P., Gilchrist, R. y Reynaldi, S. 2012.** Producción de quistosoros de *Spongospora subterranea* (Walk.) Lagerh f. sp. *subterranea* Tomlinson durante un ciclo de cultivo de papa en tres tipos de suelo. *Acta Agronómica* 61(2): 111-116.
- Rodríguez, E., Olivera, V. y Peña, C. 2019.** Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 20 (2): 295-308.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1460
- Simango, K. and Van der Waals, J. 2017.** Effects of Different Soil Treatments on the Development of *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* in Potato Roots and Tubers in the Greenhouse. *Open Access* 60(1): 47-60
- Úbeda, R. y Delgado, D. 2018.** La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim* 4 (7): 889-896.
<http://dx.doi.org/10.5377/ribcc.v4i7.6299>
- Vargas, C., Plata, R. y Guevara, O. 2020.** Diseño participativo de una alerta agroclimática temprana para el cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*) en Subachoque, Colombia. *Acta Agronómica* 69 (3): 179-187.
<https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.77051>

Biotechnology on arrow cane (*Gynerium sagittatum* Aubl.). A plant of cultural interest.

Biotecnología en caña de flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.). Una planta de interés cultural.

Isidro E. Suarez-Padrón^{1*} ; Claudia M. López-Díaz² 

Recibido para publicación: octubre 13 de 2021 - Aceptado para publicación: diciembre 21 de 2021

ABSTRACT

Arrow cane (*Gynerium sagittatum* Aubl.) is a Poaceae associated to human development of the ancient Zenú culture present nowadays in the flat lands of Córdoba and Sucre department in the Colombian north Coast. Despite its importance, arrow cane is not cultivated in large scale and extraction from natural populations is the most common way for plant exploitation with negative environmental and economic consequences for the aboriginal communities. A research program based on biotechnology was implemented to generate information related to plant genetic diversity, plant propagation and genetic resource conservation in order to provide knowledge to contribute to implement technical crop development to minimize the impact of artisans' activity on the environment and increase sustainability on fiber source for craftsmanship. Accessions from different zones of the Colombian territory were characterized using morphological and molecular markers founding low genetic diversity. Cultivars UC121, "Criolla", "Criolla 1", Costera and "Martinera" were *in vitro* established and micropropagation results indicated that large quantities of high quality, fully adapted, homogeneous plants can be produced from any cultivar. *In vitro* cultured arrow cane plants can be stored by means of slow growth or modified structures such as micro rhizomes developed *in vitro*.

Key words: Wild cane; Zenú; Genetic diversity; *In vitro* culture; Micropropagation.

¹Universidad de Córdoba; Instituto de Biotecnología Aplicada para el Caribe Colombiano; Montería, Córdoba, Colombia.

*Author for correspondence: Isidro E Suarez-Padrón
Email: iesuarez@correo.unicordoba.edu.co

RESUMEN

Caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.) es una Poaceae que ha estado asociada al desarrollo humano de la antigua cultura Zenú asentada actualmente en las planicies de los departamentos de Córdoba y Sucre en la Costa Norte Colombiana. A pesar de su importancia, la caña flecha no es cultivada a gran escala y la extracción a partir de las poblaciones naturales es la forma más común de explotación de la planta con consecuencias negativas tanto en el ambiente como en la economía de las comunidades indígenas. Un programa de investigación basado en biotecnología fue implementado para generar información relacionada con la diversidad genética de la planta, propagación y conservación de recursos genéticos con el fin de proveer conocimientos que contribuyan a implementar el desarrollo de cultivos tecnificados para reducir el impacto de la actividad artesanal sobre el medio ambiente e incrementar la sostenibilidad en el suministro de fibra para las artesanías. Acciones de diferentes zonas de Colombia fueron caracterizadas usando caracteres morfológicos y moleculares encontrando una baja diversidad genética. Los cultivares UC121, "Criolla", "Criolla 1" y "Martinera" fueron establecidos *in vitro* y los resultados de la micropropagación indican que grandes cantidades de plantas, completamente adaptadas, homogéneas y de excelente calidad pueden ser producidas de cualquier variedad. Las plantas de caña flecha establecidas en condiciones *in vitro* pueden ser conservadas por largos períodos de tiempo mediante el uso de cultivo lento o la generación de estructuras modificadas como los micro rizomas desarrollados *in vitro*.

Palabras clave: Caña brava; Zenú; Diversidad genética; Cultivo *in vitro*; Micropropagación.

Cómo citar

Suarez-Padrón, I.E. and López-Díaz, C.M. 2021. Biotechnology on arrow cane (*Gynerium sagittatum* Aubl.). A plant of cultural interest. *Temas Agrarios* 26(2): 190-202.
<https://doi.org/10.21897/rtav26i2.2890>



Temas Agrarios 2021. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>), which allows copying, redistribution, remixing, transformation and creation from the material, on a non-commercial way, with appropriate credit and licensing to the authors of the work.

INTRODUCCIÓN

Arrow cane (*Gynerium sagittatum* Aubl.) (Poaceae) is a plant species that grows from Central America, the Antilles to Bolivia and Paraguay. In Colombia, arrow cane is the most important plant species for Zenú aboriginal people, a millenarian indigenous community established since pre-Columbus times in the flatlands of Córdoba and Sucre Departments. Zenues use the plant for home construction, tools for hunt and fish, musical instruments, feed animals, natural medicine, and the leaf central nerve to manufacture the most famous worldwide Colombian handicrafts (Artesanías de Colombia, 2019; SIC, 2019; Lopez y Suarez, 2018). Arrow cane crafts sales are the most important source of income for a legally organized Indian reservation called RISAS (Resguardo Indígena de San Andrés de Sotavento), a community with around 20000 aboriginal people (DANE, 2019).

Arrow cane large commercial crops are inexistent and most fiber is extracted from natural populations; it is estimated that craft sales increase in the past 20 years have contributed to decrease >50% plant natural populations, negatively impacting on wetland preservation, ecosystems stability and increasing fiber costs for artisan activities (Araméndiz *et al.*, 2005). Limitations to plant large crop plantations are based on the inability to provide large quantities of good quality plant material for crop initiation. Since seeds are not viable for germination and plant production, initial studies to find a workable propagation system focused on plant growth from cuttings and new shoot growth; however, propagule size needed for rooting and time for new shoot growth resulted highly inefficient (Hernández *et al.*, 2005). A research program to study arrow cane based on biotechnology techniques was set to minimize plant limitations for crop production by the Plant Biotechnology Research Group, Institute of

Applied Biotechnology for the Colombian Caribbean of the Universidad de Córdoba.

To assess genetic variability accessions from different origins of the Colombian territory were morphological and molecular characterized using agronomic characters and amplified fragments length polymorphism (AFLPs), respectively. Results from both methodologies revealed a low genetic diversity among accessions because of asexual propagation and anthropic movement of plant material from place to place (Araméndiz *et al.*, 2005; Rivera *et al.*, 2009). Micropropagation was used as an attempt to develop an efficient method for plant material production. Cultivar UC121 was successfully introduced *in vitro* and micropropagation resulted in a high multiplication rate (12 new shoots from a single explants); plants fully adapted to ex vitro conditions. Cultivar “Criolla”, the most preferred for artisans, was then micropropagated and multiplication rates doubled compared to UC121. Double phase medium was tested as a way to reduce cost by gelling agent elimination; results showed a 20% cost reduction per micropropagated shoot.

Micropropagation protocols were extended to cultivars “Criolla 1” and “Martinera” with multiplication rates above 10 new shoots per explant for both cultivars. Besides micropropagation, *in vitro* storage as a way for genetic resource preservation has been also implemented. Arrow cane plants were cultured during a year on the same medium conditions evidencing that reduced nutrient and low carbon source induced a better response to prolonged culture conditions. Alternatively, modified stems (micro rhizomes) were observed to provide a suitable structure for plant propagation and conservation (Suárez *et al.*, 2009; Pastrana and Suárez, 2009; Suárez *et al.*, 2013; Suárez *et al.*, 2017, Pérez *et al.*, 2019).

The present review will show how the arrow cane biotechnology program has allowed knowing that genetic diversity of the species in Colombia is low and strategies must be implemented to increase genetic variability. Arrow cane conventional plant propagation methods are inefficient; however, micropropagation protocols can supply large quantities of high-quality plants for commercial crop establishment, and *in vitro* culture can be used as a tool for a safe long term genetic resource conservation strategy.

**Arrow cane (*Gynerium sagittatum* Aubl.):
Origin, distribution, botany and importance.**

Arrow cane (*Gynerium sagittatum* Aubl.) is a plant species native from West India and widely distributed along the neotropics. In the Americas, arrow cane is found from South Mexico, Central America and the Antilles to Bolivia and Paraguay, always associated with floodplains, swamps and river shores, and grows between 0 and 1700 m.a.s.l.; several studies associate arrow cane as a colonizer for forest succession in rivers with high channel migration. In Colombia, arrow cane is found in the Cauca and Magdalena valley rivers, shores of Samaná River, South of Cauca and Valle departments, Sonsón and Medellín (Antioquia), San Martín Plains and Nechí river shores. Arrow cane is well adapted to the Colombian Atlantic Coast environmental conditions where grows in the planes of Córdoba and Sucre departments. The plant is endemic to Sinú and San Jorge river valleys and is cultivated at low scale by aboriginal communities in the municipalities of Montelibano, San Carlos, Tuchín, Chimá, Canalete, Valencia, Los Córdoba, San Andrés de Sotavento and Montería (Hitchcock, 1936; Conert, 1961; Pérez, 1978; Croat, 1978; Howard, 1979; Uribe, 1982; Salo *et al.*, 1986; Kalliola *et al.*, 1992).

The arrow cane plant is a perennial, giant, rhizomatous, reed grass with erect stems that grow from a single point forming culms. Low part of the culms are clothed with bladeless sheaths while the upper part has the unfold leaf blades with an open fan-shaped form. Culms can be 5 to 14 m long and die after flowering. Leaves are bright green 160 to 230 cm long and 8 to 14 cm wide; a culm can form as much as 200 leaves during lifetime with 19 to 28 fresh blades at any time. Culms are interconnected with an underground net of strong leafy rhizomes that originate from old culms and serve as source for new shoots working to prevent soil erosion. Floral biology of *Gynerium sagittatum* has been scarcely studied. Most culms flower and set seeds some do not flower at all. Flowers grow in staminate no feathery spikelet, 3 mm long, hyaline glumes, purple colored and pubescent at the base. Fruits are narrow and oblong about 1 mm long covered with silky hairs that favor wind and water dispersion. The plant is dioecious, wind pollinated and seed index is about 1,67 million kg⁻¹ (Howard, 1979; Pohl, 1983; Francis, 1983; Schnee, 1984; Kalliola *et al.*, 1988; Kalliola *et al.*, 1992; Araméndiz *et al.*, 2009; Suárez *et al.*, 2013).

Arrow cane is the keystone of the ancient Zenú culture, an aboriginal group that populated Colombian Atlantic coast planes since pre-Columbus times. The plant has been utilized to construct houses, make arrows to hunt and fish, manufacture ornamentals, use as medicine and feed animals. Old culms are used to make musical instruments and the central nerve is the source to manufacture around 50 types of handicrafts, and among them *Sombrero Vueltiao* is the most worldwide known and declared as Colombian Cultural Symbol by Congress; figures found in the crafts are associated with music, religious and political expression of the Zenú people. Crafts sales are the main source of income for Zenú communities established in the *Resguardo*

Indígena de San Andrés de Sotavento, an Indian Reservation with around 20.000 people established in seven municipalities in the Sucre and Córdoba Departments; however, increased sales have impacted negatively in arrow cane natural populations since few crops are established and most fiber needed for craftsmanship is extracted from the wild. Because of the crafts industry activity, it is believed that arrow cane natural population has decreased more than 50%, jeopardizing not only the economic sustainability of the *Zenú* people for the future but also impacting the ecosystem by disturbing wetlands ecosystems, increasing erosion and displacing associated species (Valencia, 1987; Serpa, 2000; Araméndiz *et al.*, 2009).

Molecular characterization

Arrow cane ($2n = 72$ or $2n = 76$), also known as wild cane, brave cane, can cane, carrizo or chusque, is systematically classified as class Magnoliopsida, order Poales, family Poaceae, genus *Gynerium*, species *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv. (GRIN, 2018; IT IS, 2018). Two distinct types of *Gynerium sagittatum* has been reported: a “large” typical of small and medium size meandering rivers, stems are 8-14 m long, soft, round and unbranched. The “small” type is characteristic of large rivers with meandering or anastomotic channels, stems 5-8 m long, oval or flattened culms and commonly branched. Unbranched culms, long leaves and culms, rhizome distribution and predominant clonal propagation may indicate that “large” type plants predominate in the Colombian North Coast (Ferreira, 2018; Kalliola *et al.*, 1988; Watson y Dallwitz, 2018; Araméndiz *et al.*, 2009).

In a study to assess genetic resources of arrow cane in Colombia, 38 accessions were collected from Antioquia, Córdoba, Caldas, Norte de Santander, Santander and Valle departments. Out of 38, 28 were successfully

rooted and established as a germplasm collection in the Universidad de Córdoba Experimental Field.

A morphological characterization was carried out using 12 qualitative characters such as internodal color, culm wall, wall texture, leaf orientation, leaf arch, blade pubescence, leaf base pubescence, sheath color, branching, flowering and fiber texture, and 10 quantitative characters such as plant high, tillering index, low and upper internodal distance, stem diameter, leaf number, leaf length, leaf wide, midrib size and shaft length. The collected data was analyzed using a multiple correspondence analysis and classification according with Ward Aggregation Hierarchical Ascendant Method (Ward, 1963). The results allowed to conclude that there was low genetic variability among collected accessions; specially, the ones collected inside Córdoba department. Different denomination of accessions is the result of personal and cultural origin rather than based on evolutionary changes in genotype or phenotype; however, the wide distribution of arrow cane all over the Colombian territory reduces risks of genetic erosion (Araméndiz *et al.*, 2009).

In an attempt to increase sensitivity of the genetic analysis, molecular approaches to characterize arrow cane collections were reported. To develop an AFLPs analysis protocol, genomic DNA was isolated from 25 arrow cane accessions obtaining pure, low degraded DNA that was used as a template for digestion with EcoRI and MseI. The digested DNA fragments were adapted with ACA, ACT and ACC for EcoRI terminals and CAG, CTA, CAT and CAA for MseI terminals. The adapted fragments were amplified using PCR (Polymerase Chain Reaction) with eighth primer combination and AFLP fragments were separated in a 6% polyacrylamide electrophoresis vertical gel. The presence (1) or absence (0) was plotted in a binary matrix for grouping several variables.

Initial analyses allowed to detect that only four pair of primers were polymorphic, and therefore were selected and used for a definitive analysis. The collected data showed that fragments ranged between 20 and 330 bp length, primer combination polymorphism ranged between 25.8 and 39.53%, E-ACC/M-CAG was the most polymorphic primer combination (38%), a total of 223 loci were generated. Primer combination with the lowest loci number resulted in the highest number of monomorphic loci (Nei and Li, 1979; Rivera *et al.*, 2009).

To assess genetic variability and association with geographical origin, AFLPs were used to analyze 25 *Gynerium sagittatum* Aubl. accessions. The results showed low genetic difference and low geographical origin correlation; however, the Dice similarity index (Dice, 1945) discriminated three groups based on fiber characteristics, such as softness, resistance, flexibility, important for crafts work. A first group comprised 13 accessions collected from inside Córdoba department distinguished by soft fiber texture, low pubescence and thick stem wall, consequent with accessions named as “Criolla” by local farmers and desirables for handicraft production. Groups two and three clustered accessions from Antioquia, Córdoba and Caldas departments with rough texture, abundant pubescence in leaves and shafts, thin stem wall, acute leaf angle and thick stem. Low correlation between accession clusters and geographical origin was attributed to clonal propagation of the plants and flow of plant material for planting *via* anthropic methods (Rivera *et al.*, 2008; 2009).

Propagation

Arrow cane can propagate naturally by seeds or rhizome growth, or directed by cuttings. When vegetative propagation occurs, culms produce new rhizomes with shoots at the end point that grow in free spaces at a distance 15 - 20 cm

from the original culm. Long distance dispersal also occurs when stems self-cut and water transports them elsewhere; these fragments are observed to root profusely. Viable seeds germinate 3-7 days after imbibition at 20-30 °C (Kalliola *et al.*, 1988; 1992).

“Large” type plants flower abundantly but seed viability is low; therefore, clonal propagation by rhizome growth and shoot development is the standard method for plant multiplication. Besides clonal propagation, seed germination and seedling development is frequent for “small” type plants. An experiment using sexual propagules to evaluate germination and seedling growth from both “small” and “large” type of plants, resulted in very low germination and seedling development (1%) for “large” type plants while “small” type fully germinated and seedling growth reached 50 cm 4 months after germination. In Colombia, under humid Caribbean conditions, seed propagation has not been reported (Pohl, 1983; Francis, 1983; Kalliola, 1992; Aramendiz *et al.*, 2009).

Cutting propagation was attempted to develop a system for rapid sustained production of plant material for commercial crop planting. The effect of type of cutting (rhizome or culm fragments), cutting longitude and position in the substrate were evaluated. Results showed that aerial 3-4 nut cuttings, vertically positioned in the substrate resulted in higher rooting percentage, a greater number of shoots and longer shoots compared to rhizome portions or shorter culm sections, horizontally positioned in the substrate. However, a different experiment under similar conditions reported a higher rooting percentage for horizontally positioned 3-4 nut culm sections. External auxin supply was used as a mechanism to improve rooting levels in cuttings. Culms sections of cultivar “Criolla” consisting of 2, 3 or 4 nuts (30, 40 and 50 cm, respectively) were treated with 0, 400, 800, 1200, 1600 or 2000 mg L⁻¹ naphthaleneacetic acid (NAA)

or indolebutyric acid, and their combinations. Auxins were dissolved in sterile-distilled water and cuttings were immersed 5 cm from the base during 1 hour in the dilution.

Treated cuttings were, thereafter, established in plastic bags (1.100 cm³) containing a silky:sand (1:1) substrate. After 60 days, rooting was common for all treatments, including those non-auxins treated; there were no statistical differences among treatments for root number and root length, root number range was 2-3 per cutting, root length was 3-4 cm, and total rooting was between 75% (control) and 100% (1200 mg L⁻¹ ANA + IBA) (Hernández *et al.*, 2005; Araméndiz *et al.*, 2009).

Micropropagation

Cutting propagation studies showed that arrow cane is an easy to root plant species, even when no exogenous auxin is supplied. However, cuttings should be long enough to provide at least one underground node for root formation, and at least 2-3 nodes above soil level for shoot growth. A 3-4 node section cutting is equivalent to 30-40 cm long; therefore, a maximum 2-3 cutting per adult culm may be obtained for rooting and shoot development. This fact makes arrow cane propagation by cuttings inefficient for production of large number of plants despite easiness for root formation. Micropropagation is a technique that allows massive clonal propagation of plants under controlled environmental conditions, in absence of microorganisms and supplied with culture media with organic and inorganic compounds that provide all nutrients for growth and development. Micropropagated plants grow in closed recipients (*in vitro*), under heterotrophic nutrition, usually is more space and time efficient than external propagation methods and has been attempted as an alternative for high quality, massive production of arrow cane plant material (Ball,

1946; Murashige, 1974; Kane, 1996; Gielis, 1999; Suarez *et al.*, 2013).

Micropropagation from pre-existing meristems consists of *in vitro* establishment of sterile explants containing at least one bud followed by its repetitive elongation in a cytokine-supplied medium (Debergh and Maene, 1981; Read, 1988; Davis, 1995; Kane, 1996; Chawla, 2003; Leifert and Cassells, 2001). The first study on arrow cane micropropagation was performed using a cultivar named UC121 (Stands for Universidad de Córdoba 121) obtained from the arrow cane collection established at the Universidad de Córdoba Experimental Field (Montería - Colombia). Explant consisting of surface-sterilized nodal segments (2.0 cm long) with a single axillary bud were cultured in three different semisolid MS (Murashige and Skoog, 1962) (Full strength, half strength and full strength plus 0.3 mg L⁻¹ BAP with 0.1 mg L⁻¹ NAA) to evaluate establishment conditions. Furthermore, to evaluate multiplication rate, *in vitro* established explants were transferred onto semisolid MS medium supplied with different BAP concentrations (0; 0.5; 1; 2 or 4 mg L⁻¹ BAP) or BAP (0.3 mg L⁻¹) combined with NAA (0.1 mg L⁻¹).

Once multiplied, shoots were transferred onto rooting media consisting of semisolid MS with different NAA (0, 1, 2, 3 or 4 mg L⁻¹) to evaluate rooting percentage, roots per explant and root length. Finally, rooted and rootless micropropagated shoots were transferred *ex vitro* onto peat substrate with fog irrigation for four weeks to evaluate plant survival. Data showed that culture of explants in MS medium supplied with 0.3 mg L⁻¹ BAP and 0.1 mg L⁻¹ NAA resulted in higher survival percentages (80%) during establishment and higher multiplication rates (12 new shoots per explant) after 12 weeks in culture. Shoots rooted in all treatments; however, NAA supply statistically increased (20X) root number per explant and decreased >3X the root length

after four weeks. *Ex vitro* transferred rooted and rootless plants fully adapted to external conditions. The overall results showed that arrow cane could be *in vitro* established and micropropagated, rooting was not necessary for *ex vitro* recovery and large amounts of plants can be produced from a single explant, becoming an efficient alternative for planting material production (Suarez *et al.*, 2009).

Fiber flexibility and resistance are the main characteristics artisans use to select arrow cane plants for craftsman work, and cultivar “Criolla” is one of the preferred (Aramendiz *et al.*, 2009). To develop a micropropagation protocol for “Criolla” plants, surface-sterile 2 cm long nodal segments containing an axillary meristem were *in vitro* established onto semisolid MS medium supplied with four different BAP (0, 0.5; 1, 2 or 4 mg L⁻¹) concentrations, and a treatment with 0.3 mg L⁻¹ BAP combined with 0.1 mg L⁻¹ NAA. Multiplied shoots were *in vitro* rooted with several NAA concentrations (0, 0.5; 1, 2 or 4 mg L⁻¹) and, thereafter, rooted and rootless shoots were transplanted *ex vitro* for plantlet recovery.

The results showed that “Criolla” explants proliferated statistically better (25 new shoots per explant) when cultured with 0.5 mg L⁻¹ BAP than those cultured with 0.3 mg L⁻¹ BAP combined with 0.1 mg L⁻¹ NAA as observed for cultivar UC121 (12 new shoots per explant). In addition, despite the excellent levels of rooting *in vitro* (100% rooting and >12 roots per explant when cultured with NAA supply), rooted and rootless micropropagated shoots fully adapted (100%) to *ex vitro* conditions; reinforcing the capacity of arrow cane micropropagated plants to adapt to *ex vitro* conditions without *in vitro* rooting. The results of this study, confirmed that arrow cane plants can be micropropagated for supplying massive number of high-quality plant material for commercial crops (Pastrana and Suarez, 2009).

Besides “Criolla”, other local cultivars are used by arrow cane artisans. Cultivars “Martinera” and “Costera” are also known because softness and flexibility of their fiber; however, fiber resistance seems to be lower than “Criolla”, and therefore are used for different types of crafts such as necklaces, wallets, shoes and other appliances (Aramendiz *et al.*, 2009). To provide a micropropagation protocol for these cultivars, shoots were isolated from field grown crops and planted in a soil:sand (1:1) substrate contained in plastic pots (20 x 35 cm) and maintained in a shade house (80% shade) with daily irrigation. Actively grown axillary buds were removed using a surgical blade, surface-sterilized with a 1.25% sodium hypochlorite solution during 15 min, washed three times with sterile deionized water inside a laminar flow hood and established onto MS semisolid medium supplied with (in mg L⁻¹) myo inositol (100), thiamine HCl (0.4), sucrose (30.000) and TC agar (7.000).

Once adapted to *in vitro* conditions, shoots were transferred onto semi solid MS medium supplied with different BAP (0; 0.5; 1 or 1.5 mg L⁻¹). Maximum multiplication rate resulted in 130 new shoots per explant for “Martinera” and 30 new shoots per explant for “Costera” when shoots were cultured in medium supplied with 1 mg L⁻¹ BAP. Shoot length for both cultivars were 3.8 cm and 2.7 for “Martinera” and “Costera”, respectively, at the same BAP concentration.

Multiplied shoots were cultured in rooting media to evaluate the effect of NAA different concentrations (0; 0.5; 1 or 1.5 mg L⁻¹) on rooting percentage, root number per explant and average root length. After 6 weeks in culture, shoots cultured with 0.5 mg L⁻¹ NAA produced a significant higher number of roots (4X for “Martinera” y 2X for “Costera”) than those cultured in simple media with no NAA. Number of roots per explant was as higher as 70 for “Martinera” and 50 for “Costera” when

NAA supply was 1.0 mg L⁻¹. Average root length was always higher in roots produced by shoots cultured in non-NAA supplied media; however, for this variable, short and thick roots are preferred for easiness to transfer from *in vitro* to *ex vitro* conditions. *In vitro* multiplied shoots from both cultivars were fully adapted to *ex vitro* conditions. The results of the study provided the bases for mass production of arrowcane plants cultivars “Martinera” and “Costera” through micropropagation (Suárez *et al.*, 2020).

Micropropagated plants are usually costly as a result of reagents used, labor employed and labs facilities needed for production. Reduction of costs of micropropagation protocols is always a challenge, and gelling agents used for semisolid media are always a target (Serrano-Martínez *et al.*, 2011; Scherwinski *et al.*, 2012; Senapati, 2015). In an attempt to reduce costs for arrow cane micropropagated plants, clusters of three stems of *in vitro* established plants of “Criolla” cultivar were established into 750 cc polycarbonate flasks containing double-phase medium consisting of 100 ml MS semisolid medium dispensed in the bottom of the recipient, and added with 30 ml liquid MS medium on top of the semisolid phase. Four explants were established in each container and the liquid phase was replenished every two weeks.

This system was compared to conventional semi solid system where similar explants were cultivated in 30 ml MS semisolid medium per flasks with transfers to fresh medium of the same formulation every four weeks. Media formulation for both treatments was MS (Murashige and Skoog, 1962) supplied with (in mg L⁻¹) myo inositol (100), sucrose (30.000), thiamine HCl (0.4) and BAP (0.5); the semisolid phase was gelled with Phytigel® (3.000) (Sigma Co.). The results showed that double-phase medium statistically increased the number of shoots per explant, the total

number of shoots and induced a significant increase in shoot length than semisolid medium. Additionally, cost analysis revealed that using double-phase medium for arrow cane micropropagation can lower plant cost by 20% compared to conventional semisolid medium with periodical transfer to fresh new media (López and Suárez, 2018). A second study to evaluate the double-phase medium strategy was performed including cultivars “Criolla”, “Martinera” and “Criolla 1” plants. The results not only reinforced multiplication rates (>20 new shoots per explant) for “Criolla” plants, but also showed that “Martinera” and “Criolla 1” plants proliferate efficiently at rates of 20 and 10 new shoots per explant, respectively. The results also made possible to provide high quality plant material for two more cultivar for crop establishment (López *et al.*, 2021).

Despite plant propagation per se, *in vitro* culture of arrow cane has been used to evaluate alternatives as a phytoremediator plant. *In vitro* established “Criolla” plants in semisolid MS medium with (in mg L⁻¹) thiamine-HCl (1), myo-inositol (100), pyridoxine-HCl (0,5), nicotinamide (0,5), glycine (2), sucrose (2500), agar (4500), and BAP (1) were supplied with different mercury (Hg) (0, 5, 10, 15, 25 or 75 µg) concentrations. Plants were stored at 25 C with 12 h photoperiod (50 µmol m⁻² s⁻²). After 20, 40 or 60 days, tissue samples from roots and stem-leaves were processed and total mercury (THg) measured; likewise, plant toxicity symptoms were evaluated. The results showed that plant toxicity and THg content in all tissues increased with time and Hg accumulation was higher in roots than in stem-leaves.

The fact that plants grew in high Hg concentrations in the culture medium, THg levels found in plant tissues were high (>14 µg THg g⁻¹) and toxicity symptoms, such as chlorosis and necrosis, were relatively low, indicated that arrowcane is a high tolerant

Hg plant with great potential to be used as soil phytoremediator in mining mercury contaminated areas (Ortega *et al.*, 2011).

Genetic resource conservation

Germplasm collections are necessary for plant breeding programs to readily access to genetic resources for different studies or to provide plant material to growers. For species like *Gynerium sagittatum* germplasm conservation is especially costly because no viable seed is produced, plant collections must be stored *in vivo* in the field, spreading growth habit requires high cost for maintenance and usually they have to be relocated to avoid plant mix in the field. *In vitro* conservation of germplasm is an alternative to *in vivo* field collections since costs are reduced because of lower space, plant material is free of pests and diseases, there is no risk for hazardous events, such as flooding or winds, and plants remain ready for growth and development once needed. There are several techniques to store plants material *in vitro* such as cell tissues, shoots, cryopreserved tissues or energy reserve organs (Kane, 1996).

In vitro long-term conservation for arrow cane plants has been achieved. *In vitro* established shoots of arrow cane “Criolla” cultivars were cultured in different media composition (MS strength and sucrose concentration) to evaluate their effect on long term culture conservation and *in vitro* plant survival. Seven semisolid media composition (MS + 15 g sucrose, MS + 30 g sucrose, MS + 60 g sucrose, ½ MS + 15 g sucrose, ½ MS + 60 g sucrose, ¼ MS + 15 g sucrose or ¼ MS + 60 g sucrose) solidified with 7 g TC agar (Sigma Co.) were evaluated. A single shoot cluster (3 stem per cluster) was established in 250 cc glass flasks containing 30 ml medium. Cultures were covered with two layers of heavy-duty aluminum foil, sealed with Nescofilm® and stored for 12 months at 25 °C with 12 h photoperiod (40 µmol m⁻² s⁻²).

The results showed that after a year, *in vitro* maintained arrow cane plants survived from 70%, when cultured in MS + 30 g sucrose, up to 96.7% in ¼ MS + 60 g sucrose. Shoots cultured in ¼ MS + 60 g sucrose proliferated more than those cultured in any other media formulation and shoot length of shoots was not statistically different for all treatments (Suarez *et al.*, 2013).

In a different study, *in vitro* rhizome growth has been induced as a way to develop modified vegetative organs for plant propagation and/or conservation. *In vitro* established arrow cane “Criolla” shoots were transferred onto semi solid MS medium supplied with a combination of different BAP (0; 2.2; 4.4 or 8.8 µM) with abscisic acid (ABA) (0; 1.39; 3.78 or 7.57 µM) concentrations at several sucrose (87000, 165000 or 263000 µM) levels. Flasks (250 cc with 30 ml medium) were covered with two-layers of heavy-duty aluminum foil, sealed with Nescofilm® and maintained at 25 °C with 12-hour photoperiod (40 µmol photons m⁻² s⁻¹) provided by white cold fluorescent lamps. After six weeks in culture, the results showed that media supplied with 263000 µM sucrose, 2.22 µM or 4.44 µM BAP and 1.89 µM ABA concentrations induced significant higher number of rhizomes compared to lower sucrose levels with no BAP/ABA or 8.88 µM BAP with 3.78 µM or 7.57 µM ABA.

However, when transferred to *ex vitro* conditions, only rhizomes developed from shoots cultured in media supplied with 4.44 µM or 8.88 µM BAP with ABA at 263000 µM sucrose were able to survive >30%, and develop new shoots that emerge as new plants. Rhizomes are specialized plant stems that serve as propagation units and storage organs that remain dormant under adverse environmental conditions. As an underground structure, *in vitro* grown rhizomes do not require acclimatization when transferred *ex vitro*; therefore, saving time and resources

for plant recovery. On the other hand, given a specific culture medium formulation, rhizomes could be maintained *in vitro* for long periods of time reducing growth and development. Induction of *in vitro* rhizome formation is a strategy that can be used for both, plant propagation and germplasm conservation of arrow cane (Suarez *et al.*, 2017).

CONCLUSION

Despite centuries of use by ancient communities, arrow cane is a non-domesticated plant species and knowledge about its biology and crop production techniques are scarce. During the past 15 years, the Institute of Applied Biotechnology for the Colombian Caribbean Research Program on Arrow Cane has been able to generate information about genetic diversity, propagation and conservation. Today is clear that non-conventional strategies must be implemented to increase genetic diversity for plant evolution and to sustain a plant breeding program, germplasm can be stored under *in vitro* conditions for long term and growers can count on micropropagation protocols to obtain any amount of high-quality plant material for commercial crops.

Arrow cane has a wide range of use; despite crafts and indigenous uses, home construction, biofuel and phytoremediation are some of the future uses for this plant species and some research is needed to provide more information. So far, genetic and agronomic evaluations, as well as *in vitro* culture studies, have solved questions regarding desirable cultivars and source of planting material required for large scale crop plantation.

Conflicts of Interest

The manuscript was prepared and reviewed with participation of all authors, who declare that

there is no conflict of interest that jeopardizes the validity of the results presented.

The present research program was supported by Universidad de Córdoba, Vicerrectoria de Investigación y Extensión

REFERENCES

- Araméndiz, H., Espitia M. y Cardona C. 2009.** Valoración de los recursos filogenéticos de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl) En Colombia. Ed:Producciones (Colombia). 108p.
- Araméndiz, H., Espitia, M. y Robles, J. 2005.** Colección, conservación, caracterización morfoagronómica y producción de semilla de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.) del Caribe Colombiano. CIUC. Universidad de Córdoba.
- Artesanías de Colombia. Colombia artesanal. 2019** Disponible desde Internet:
http://artesaniasdecolombia.com.co/PortalAC/General/template_index.jsf
- Ball, E. 1946.** Development in sterile culture of shoot tips and subjacent regions of *Tropaeolum majus* L and of *Lupinus albus* L. American Journal of Botany. 33: 301-318.
- Conert, H.J. 1961.** Die Systematik und Anatomie der Arubdinae, Verlag von J. Cramer, Weinheim..
- Croat, T. 1978.** Flora of Barro Colorado Island. Stanford California Stanford University Press, Stanford. 943 p.
- Chawla, H. 2003.** Introduction to Plant Biotechnology. Science Publisher Enfield. 1-134.

- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas). 2018.** Censo General 2005.
<http://www.dane.gov.co/censo/files/libroCenso2005nacional.pdf>
- Davis, P. 1995.** The plant hormones: their nature. Plant Hormones. Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. Kluwer Academic Publisher (Boston). 1-12.
- Debergh, P., Maene, L. 1981.** A scheme for commercial propagation of ornamental plants by tissue culture. Scientia Horticulturae 14(4): 335-346.
- Dice, L. R. 1945.** Measures of the amount of ecological association between species. Ecology 26:297-302.
- Francis, J. 1983.** *Gynerium sagittatum* (Caña brava, cane); En Janzen D (Ed.) Costa Rica Natural History. University of Chicago Press (Chicago) p.248-249.
- Ferreyra, R. 1996.** Comunidades vegetales de la cuenca superior de los ríos: Marañon, Huallaga y Ucayali Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Documento Técnico No. 27
<http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/st027.pdf>
- Gielis, J. 1999.** Micropropagation and *in vitro* flowering of temperate and tropical woody bamboos. In: Ryachaudhuri, S.; K. Maramorosch (Eds.). Biotechnology and plant protection in forestry science. Science Publisher. NY. p 13- 38.
- Germplasm Resources Information Network. GRIN. 2018.** Online Database. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland.
<https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomydetail?id=18116>
- Hernández, J., Aramendiz, H. y Cardona, C. 2005.** Influencia del ácido indolbutírico sobre el enraizamiento de esquejes de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.). Revista Temas Agrarios 10 (1): 5-13.
<https://doi.org/10.21897/rta.v10i1.626>
- Hitchcock, R. 1936** Manual of the Grasses of the West Indies. Miscellaneous Publication. United States Department of Agriculture. p 439
- Howard, R. 1979.** Flora of the Lesser Antilles. Leeward and Winward Islands. Arnold Arboretum. Harvard University. (Boston). p586.
- Kalliola, R., Mäkinen, Y. y Salo, J. 1988.** Regeneración natural de selvas en la Amazonia Peruana. 2: autoecología de algunas especies sucesionales. Universidad Nacional mayor de San Marcos (Lima).p 54.
- Kalliola, R., Puhakka, M. and Salo, J. 1992.** Intraspecific variation, and the distribution and ecology of *Gynerium sagittatum* (Poaceae) in the western Amazon. Flora.186(3-4):153-167.
[https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30531-5](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30531-5)
- Kane, M. 1996.** Micropropagation from pre-existing meristems. Plant Tissue Culture Concepts and Laboratory Exercises. CRC Press. Boca Ratón. p.75-86.
- López, C., Suarez, I. and Humanez, A. 2021.** Micropropagation of arrow cane, *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv. cv. "Criolla", "Criolla 1" and "Martinera", in a double-phase medium. Ciencia y Tecnología Agropecuaria
https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1821

- López, C. and Suarez, I. 2018.** *In vitro* arrow cane (*Gynerium sagittatum* Aubl.) multiplication in double phase medium. *Revista de Ciencias Agrícolas* (Colombia). 35: 5-13.
<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183502.86>
- Leifert, C. and Cassells, A. 2001.** Microbial hazards in plant tissue and cell cultures. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 367(2): 133-138.
- Nei, M. and Li, W. H. 1979.** Mathematical Model for Studying Genetic Variation in Terms of Restriction Endo Nucleases. *Proc Natl Acad Sci (USA)*. 76: 5269-5273.
- Murashige, T. 1974.** Plant propagation through tissue culture. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 25:135-166.
- Murashige, T. and Skoog, F. 1962.** A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum*. 15(3): 473-497.
- Ortega, D., Tamayo, A., Calderón J. y Galván, R. 2011.** Establecimiento aséptico en la micropropagación *in vitro* de banano williams (AAA, SUBGRUPO CAVENDISH). *Tierra Tropical*. 7(2):205-220.
- Pastrana, I. y Suarez, I. 2009.** Producción de plantas de caña flecha (*Gynerium sagittatum*) 'Criolla' a través de micropropagación. *Temas Agrarios* 14(2): 2-18.
<https://doi.org/10.21897/rta.v14i2.671>
- Pérez, A. 1978.** *Plantas Útiles de Colombia*. Editora Arco, Bogotá, (Colombia). p.831.
- Pohl, R. 1983.** *Gynerium sagittatum* (Caña brava, cane); In: Janzen, D. (Ed.) *Costa Rican Natural History*. University of Chicago Press (Chicago), p.816.
- Rivera, H., Vallego, F. y Suarez, I. 2008.** Caracterización Molecular De Introducciones Colombianas De Caña Flecha Utilizando La Técnica De AFLP". En: Colombia. *Acta Agronómica*. (Colombia). 54(4): 227 - 231.
- Read, P. 1988.** Stock plants influence micropropagation success. *Acta Horticulturae.*, 226(16):41-52.
- Rivera, H., Suarez, I. y Palacio, J. 2009.** Análisis de la diversidad genética de caña flecha *Gynerium sagittatum* Aubl. utilizando la técnica de AFLP. *Agricultura Técnica de México*. 35:81-87.
- Salo, J., Kalliola, R., Hakkinen, L., Makinen, Y., Niemela, P., Puhakka, M. and Coley, P. D. 1986.** River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest. *Nature*. 322: 254-258.
- Senapati, NK. 2015.** A double phase culture system: An economic and time saving protocol for *In vitro* propagation of plant. *SAJ Biotechnology*. 2 (1): 1-5.
- Serpa, R. 2000.** *Los Zenúes*; Secretaría de Cultura de Córdoba. Montería (Colombia). p 123-137.
- Serrano-Martínez, F., Cano-Castillo, M. y Marco-Medina, A. 2011.** El medio en doble fase y su aplicación en el cultivo *in vitro* de plantas amenazadas. Centro Iberoamericano de la Biodiversidad - Cibio *Revistas Cuadernos de Biodiversidad*. 37:3-8.
<http://dx.doi.org/10.14198/cdbio.2011.37.01>
- SIC. (Superintendencia de Industria y Comercio) 2019.** Informe de Gestión. Disponible en línea:
<http://www.sic.gov.co/sites/default/files/documentos/012018/INFORME-GESTION-SIC-2017.pdf>

- Suárez, I., Aramendiz, H. y Pastrana, I. 2009.** Micropropagación de Caña Flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.). Revista Facultad. Nacional de Agronomía (Colombia). 62(2):5135-5143.
- Suarez, I., Pastrana, I. y Rivera, H. 2013.** Biotecnología Aplicada a la Caña Flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.). Fondo Editorial Universidad de Córdoba. Montería (Colombia). p.72
- Suarez, I., López, O. and López, C. 2017.** Formación *in vitro* de rizomas en caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.) y recuperación de plantas. Revista Temas Agrarios (Colombia). 22:11-20.
<https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.911>
- Suarez, I., Pérez, C. and López, C. 2020.** Micropropagation of *Gynerium sagittatum* Aubl. Cvs “criolla”, “costera”, and “martinera”. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.
- Schnee, L. 1984.** Plantas Comunes de Venezuela. Biblioteca Universidad Central de Venezuela, Caracas. 280 p.
- Scherwinski-Pereira, J., Araruna, E., Da Silva, T., Gomes, A., Maciel, S. and Da Silva, F. 2012.** Double-phase culture system for large-scale production of pineapple. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 109(2): 263–269.
- Uribe, I. 1982.** Flora Sonsonera o colección de monografías familiares de vegetales selectos indígenas o cultivados en el Municipio de Sonsón. Concejo Municipal. Sonsón Antioquia. p 39-40.
- Valencia, G. 1987.** Córdoba su gente y su folclor. Casa de la Cultura 1ª Edición. Montería. Córdoba (Colombia). 146p.
- Ward, JH. 1963.** Hierarchical Grouping to Optimize an objective Function. Journal of the American Statistical Association. 58:236-244.
- Watson, L. and Dallwitz, M. 2018.** Grass Genera of the World.
<http://biodiversity.uno.edu/delta/>

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La Revista Temas Agrarios publica artículos con la siguiente tipología:

Artículo de investigación científica y tecnológica: Documento que presenta de forma detallada resultados originales de proyectos de investigación, entre 20 y 40 referencias, de las cuales el 60% debe provenir de artículos publicados en los últimos 5 años; y con un máximo de 5500 palabras, incluyendo tablas y figuras, que sumadas no pasen de seis. La estructura es: Resumen, Abstract, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones, Referencias.

Artículo de revisión: Documento que describe un análisis sistematizado y la integración de investigaciones con un mínimo de 50 referencias, de las cuales el 60% debe provenir de artículos publicados en los últimos 5 años; y con un máximo de 8500 palabras, incluyendo tablas y figuras, que al sumarlas no pasen de seis. Este artículo se presenta por solicitud del Comité Editorial. El artículo debe presentar una revisión crítica de la literatura publicada en el tema de estudio, más los aportes de los autores. La estructura es: Resumen, Abstract, Introducción, Desarrollo del tema, Conclusiones, Referencias.

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 referencias bibliográficas científicas de los últimos 5 años, entre 20 y 30 referencias. Este debe tener como máximo 4000 palabras, incluyendo seis tablas o figuras. La estructura es similar al del artículo de revisión.

Artículo corto: Documento breve de resultados originales preliminares o parciales que requieren de pronta difusión, con un mínimo de 15 referencias; de las cuales el 60% corresponderá a artículos publicados en los últimos 5 años. Este debe tener como máximo

4000 palabras, con un máximo de seis tablas o figuras. La estructura es similar a la del artículo científico.

Cartas al editor: Posiciones críticas analíticas o interpretativas sobre los artículos publicados en la revista.

Editorial: Documento escrito por el editor, un miembro del comité editorial o un investigador invitado sobre orientaciones en el dominio temático de la revista.

Políticas de publicación en Temas Agrarios: Los artículos deben ser remitidos por la plataforma OJS (Open Journal System) <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios> o en su defecto al correo electrónico revistatemasagrarios@correo.unicordoba.edu.co acompañado de una carta remisoría firmada por todos los autores declarando expresamente que el manuscrito es original, que todos conocen y están de acuerdo con su contenido e igualmente, que no ha sido publicado anteriormente ni está siendo sometido simultáneamente a publicación en otra revista. Todo documento propuesto para publicación tendrá una revisión preliminar por parte del Comité Editorial, quienes corroborarán que el documento está escrito siguiendo las normas establecidas por la revista y determinarán su pertinencia para publicación. Una vez verificado esto, los artículos serán arbitrados por pares externos y expertos en el área específica del conocimiento quienes en forma anónima determinarán:

- 1) publicar sin modificaciones,
- 2) publicar con modificaciones menores,
- 3) publicar después que se ha efectuado una revisión a fondo
- 4) rechazar el artículo.

Si llegase a presentarse una diferencia de conceptos entre los evaluadores con relación a la aceptación o rechazo del artículo, este será enviado a un tercer evaluador que determinará la decisión final.

Los manuscritos que no sigan las normas de presentación se devolverán a los autores sin pasar por el proceso de evaluación.

Una vez aceptado el artículo para publicación el Comité Editorial solicitará enviar una declaración de cesión de los derechos de reproducción y divulgación, la cual debe ser firmada por todos los autores.

Los artículos deben llegar en formato Word, en una sola columna, letra Arial 12 puntos. La Revista Temas Agrarios acepta artículos en español, portugués e inglés.

Estructura del manuscrito.

Título en español e inglés. Debe ir centrado, en minúscula, los nombres científicos en letra itálica y debe responder al objetivo planteado, debe contener como máximo 15 palabras, excluyendo los nombres científicos. En el renglón inmediatamente posterior se escribe el título en Inglés.

Título corto. Los autores deben suministrar un título en español no mayor a 6 palabras, para ser ubicado, en el encabezado de las páginas.

Autor (es). Debe ir debajo del título e incluir nombres completos del (los) autor (es). Los autores se nombran de acuerdo con la importancia de su contribución a la investigación o en la preparación del artículo. En nota de pie de página se indicará: orcid, institución a la que pertenece, ciudad y país. El autor responsable de la correspondencia debe venir señalado con asterisco, correo electrónico y número telefónico.

Resumen. Debe ser escrito en un solo párrafo sin exceder las 250 palabras para artículos de investigación y de revisión, y máximo 100 palabras para notas de investigación. El resumen debe responder a las preguntas: ¿Cuál es el problema que resolverá la investigación? ¿Cuál es el objetivo? ¿Cómo se realizó el estudio? ¿Cuáles son los resultados más relevantes? y a que conclusión llegó. La estructura del resumen lo conformará una

breve introducción, el objetivo y la metodología que abarcará un 50% del texto; el resto lo debe conformar los resultados y la conclusión. En el resumen no se incluyen citas bibliográficas, figuras, ni tablas. Los artículos en español o portugués deben incluir el abstract en inglés y los que estén escritos en inglés, un resumen en español.

Abstract. Corresponde a una traducción fiel del resumen al idioma inglés.

Palabras clave, key words. Una lista de máximo seis palabras clave deben ser incluidas, y su respectiva traducción al idioma Inglés (key words), y colocadas después del resumen y abstract. Las palabras no deben estar incluidas en el título y deben llevar el orden alfabético.

Organización del texto. El cuerpo del artículo debe estar dividido en:

Introducción

Materiales y métodos

Resultados y discusión

Conclusiones

Agradecimientos (opcional) y

Referencias

Los títulos principales del cuerpo del trabajo deben ser centrados y escribirse en negrita.

Introducción. Debe formular el estado del arte del tema a investigar en orden cronológico, sustentado en revisiones actualizadas, resaltar la importancia y necesidad de la investigación, así como indicar los objetivos que se persigue, la metodología a desarrollar y los resultados de investigaciones alcanzadas por otros investigadores, expresando conclusiones de esos resultados.

Materiales y métodos. Se escribirá de forma lógica, en pasado y con los detalles suficientes que permita la replicación de la investigación por parte del lector. Si la metodología ha sido publicada, se explica brevemente dando la cita de la publicación original. Si la metodología ha sufrido modificaciones, debe contener esos cambios. Debe incluir el sitio experimental, materiales y equipos utilizados, métodos con

sus respectivas referencias; si el método es inédito proporcione todos los detalles de este. Describa claramente el diseño experimental y análisis de los datos. En caso que se mencione el uso de un software para el análisis de los datos, se debe especificar la versión y licencia o uso libre.

Resultados y discusión. Los resultados deben redactarse en pasado, en forma impersonal y concurrente con la formulación de los objetivos, métodos y deben limitarse a los datos obtenidos y presentarse en una secuencia lógica.

La discusión debe establecer una relación entre los resultados encontrados en el presente trabajo y los reportados por otros autores, realizando las respectivas citas bibliográficas de éstos.

Las tablas y figuras deben ser citadas en el texto. La información que se presenta en las gráficas no debe ser repetición de la presentada en las tablas, ni en el texto. Cuando se citen tablas o figuras dentro del texto no colocar punto después de la numeración de las mismas. Incluir el nivel de significancia estadística en letras minúsculas (a,b,c,d,...), usar un asterisco (*) para $P < 0,05$ y dos asteriscos (**) para $P < 0,01$.

Enumeración y medidas. Se rige por el sistema métrico decimal; use números cada vez que éste es seguido por una unidad estándar de medida, ej: 1 g, 9 cm; en otro caso, use palabras desde cero a nueve y números para cantidades superiores. Los denominadores de unidades deben escribirse con índices negativos, ej: kg ha^{-1} , g m^{-2} . La barra oblicua (/) debe usarse como sustituto de la palabra “por”,. utilice la barra para conectar unidades del SI con unidades que no lo son (por ejemplo: plantas/ha o 10 racimo/planta).

Nombres y términos. Use letras itálicas para nombres científicos de organismos e incluya los nombres de los clasificadores solamente refiriéndose al organismo utilizado en la investigación. El nombre del cultivar o variedad debe encerrarse en comillas cuando

este es escrito después del nombre científico. Las especies de plantas y animales deben referirse por su nombre común. El nombre científico y el clasificador deben escribirse completamente cuando la especie de planta es enunciada por primera vez en el texto o resumen para las especies vegetales utilizadas en la investigación. Pesticidas deben referirse por su ingrediente activo aprobado. Los nombres de los productos comerciales deben llevar la anotación de marca registrada, cuando sea estrictamente necesario que aparezcan los nombres comerciales.

Estadísticas. El diseño estadístico debe ser descrito claramente en Materiales y Métodos. Los datos deben ser analizados por los métodos estadísticos apropiados. Al reportarse datos cuantitativos, debe ser reportada una medida de variabilidad (desviación estándar o error estándar).

Tablas. Se acepta un máximo de tres tablas por manuscrito, las cuales deben tener como máximo 6 columnas y 15 filas. Deben estar citadas en orden numérico en el texto. El título debe ser conciso y autoexplicativo del contenido de la tabla y debe ir en la parte superior (**Tabla 1**. Título en letra normal-sin negrillas). El tamaño del título de las tablas debe ser de 11 puntos, al igual que el de los títulos de las columnas, y el tamaño del contenido de las celdas debe ser de 10 puntos. Se pueden utilizar notas al pie de la tabla, con un tamaño de 9 puntos. Se pueden dejar las líneas horizontales del cuerpo de la tabla y se deben eliminar las líneas horizontales internas en la tabla. No debe haber líneas verticales internas a los datos dentro de la tabla. El formato de la tabla debe ser vertical.

Figuras. Se acepta un máximo de tres figuras por manuscrito. Las figuras deben enumerarse dentro del texto y el título debe ir en la parte inferior con un tamaño de 11 puntos (**Figura 1**. Título en letra normal-sin negrillas). Estas deben estar en los siguientes formatos: *.jpg, *.tif, *.bmp, *.gif, *.eps. Las imágenes deben tener suficiente resolución (mínimo 150 dpi). Las figuras deben ser proyectadas para encajar en una columna,

dos columnas o una página completa. Las líneas deben tener un grosor mínimo de 0,5 puntos y las letras deben estar en proporción con la figura con un tamaño suficiente para ser reducidas sin perder claridad.

Conclusiones. Deben ser claras, concisas y originarse de los resultados obtenidos en el trabajo. Es importante no repetir en esta sección los resultados, la conclusión debe brindar una respuesta al objetivo de la investigación.

Agradecimientos. Son potestad del autor, éstos deben ser el reconocimiento a contribuciones que tuvieron un impacto significativo en la ejecución del trabajo y que han sido realizadas por personas, entidades oficiales u organizaciones no gubernamentales.

Formas de citar en el texto:

1. Cuando el nombre de los autores son parte de la oración, ej: Gutiérrez (2008), Gutiérrez y Lozano (2008) o Gutiérrez *et al.* (2008).

2. Cuando el nombre del autor (es) va al final de la frase o del párrafo, ej: (Gutiérrez, 2008); (Gutiérrez y Lozano, 2008) o (Gutiérrez *et al.*, 2008).

3. Cuando se citen dos artículos del mismo autor, ordenar del más antiguo al más reciente, ej: (Gutiérrez, 2008; 2009). Cuando se citen dos artículos del mismo autor en un mismo año, colocar al año letras minúsculas ej: (Gutiérrez, 2008a; 2008b).

4. Cuando se citan múltiples artículos de autores diferentes, se ordenan cronológicamente, ej: (Bustos, 2007; Gutiérrez, 2008; Lozano, 2009). Solo se deben citar fuentes originales.

Referencias. Las referencias deben ser ordenadas alfabéticamente y sólo se debe hacer referencia de la bibliografía mencionada en el interior del artículo. Cite las referencias en el texto con apellido del autor (es) y el año (sincoma entre ellos) ejemplos: (Gutiérrez, 2008); (Gutiérrez y Lozano, 2008). Cuando son más de dos autores, use “*et al.*”, ejemplo: (Gutiérrez *et al.*, 2008), pero en las referencias deben ser registrados todos los autores.

Para la estructura de referencias, se pueden interpretar los siguientes ejemplos (**Preste atención a los espacios, negritas y signos de puntuación**).

Artículos de revistas electronicas con DOI (Sistema de Identificación de Objeto Digital):

Autor(es) (primer apellido, inicial del primer nombre). Año. Título del artículo. Nombre completo de la revista volumen (número): páginas y el hipervínculo o enlace web en extenso.

Ejemplo: **Grandett, L., Reza, S., Jaraba, J. y Pardo, Y. 2015.** Efecto de la actividad microbiana sobre la nitrificación en suelos cultivados con *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweicerdt en Cereté, Córdoba. *Temas Agrarios* 20(2): 9-18.
<http://dx.doi.org/10.21897/rta.v20i2.754>

Artículo de revista impresas:

Autor(es) (primer apellido, inicial del primer nombre). Año. Título del artículo. Nombre completo de la revista volumen (número): páginas.

Ejemplo: **Gómez, R., Contreras, P. y Sánchez, J. 1998.** Efecto de diferentes dosis de nitrógeno en el rendimiento de maíz (*Zea mays*). *Temas Agrarios* 5(2):12-18.

Libro

Autor (es). Año de publicación. Título. Editorial o entidad responsable de la publicación, ciudad de edición y páginas.

Ejemplo: **Rivera, J. y Pérez, M. 2003.** El cultivo del maíz. Fenalce, Bogotá, p314-356.

Libro con capítulos editados

Autor del capítulo. Año. Título del capítulo, En: nombre del editor (Ed), título del libro, editorial, ciudad de edición y páginas.

Ejemplo: **Fernández, R. y Escobar, L. 1995.** Métodos de propagación. En: Jimenez, C. y Carmona, J. (Ed). El Cultivo del Mango. Ediciones Mundial, Bogotá, p126-157.

Tesis de grado: Autor(es). Año. Título del trabajo. Título de grado, Universidad que lo ciudad sede de la universidad.

Ejemplo: **Pastrana, I. 2007.** Micropropagación de caña flecha (*Gynerium sagitatum* Aubl.). Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Córdoba, Montería.

Ponencia en un Congreso: Autor(es). Año. Título de la ponencia. Memoria del congreso, entidad que editó las memorias, ciudad, fecha, páginas.

Ejemplo: **Miranda, D. 2006.** Estado actual y tendencias de la horticultura en el mundo y su relación con la horticultura colombiana. Memorias I. Congreso Colombiano de Horticultura. Sociedad Colombiana de Ciencias Horticolas, Bogotá, junio de 2003, p19-36.

Citas de documentos en línea CD-Rom:

Autor/editor. Año. Título. [Medio]. Disponible: Proveedor, dirección; Sitio deInternet, URL.

Ejemplo: **Martínez, M. 2007.** Biblioteca virtual de plantas en peligro de extinción [CD-ROM]. Internet, <http://www.portalecologico.org>

Sitio de Internet

Autor/editor. Año. Título. URL

Ejemplo: **Cabrera, B. 1998.** Cambios genéticos en plantas cultivadas *in vitro*. <http://www.biotec/veg/res.agr.co.html>

El Comité Editorial se reserva el derecho de aceptar o rechazar las colaboraciones científicas, Igualmente, el de hacer cualquier modificación editorial que estime conveniente para mejorar la presentación.

Las ideas y afirmaciones emitidas por los autores son responsabilidad de éstos y no expresan necesariamente las opiniones y políticas de la Universidad de Córdoba.

Comité Editorial Revista Temas Agrarios
Universidad de Córdoba, Colombia.
Carrera 6 No. 77- 305 Montería, Córdoba, Col.
Facultad de Ciencias Agrícolas

Open journal System:

<http://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/index>

Email:

revistatemasagrarios@correo.unicordoba.edu.co

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

Temas Agrarios publishes research articles, short research papers, technical notes, letters to the editor and editorials.

Research paper: Document that presents detailed original results of research projects, between 20 and 40 references, of which 60% must come from articles published in the last 5 years; and with a maximum of 5500 words, including maximum, together, six tables and figures. The structure is: Abstract, Introduction, Materials and Methods, Results and Discussion, Conclusions, References.

Review article: Document that describes a systematized analysis and integration of research with a minimum of 50 references, of which 60% must come from articles published in the last 5 years; and with a maximum of 8500 words, including a maximum, together, six tables and figures. This article is submitted at the request of the Editorial Committee. The article should present a critical review of the literature published on the topic of study, plus the contributions of the authors. The structure is: Abstract, Introduction, Topic development, Conclusions, References.

Reflection article: Paper presenting research results from an analytical, interpretative and critical perspective of the author, on a specific topic using scientific bibliographic articles from the last 5 years, between 20 and 30 references. It should have a maximum of 4000 words, including, a maximum together of six tables or figures. The structure is similar to that of a review article.

Short article: Brief document of original preliminary, or partial, results that requires prompt dissemination, with a minimum of 15 references; of which, 60% will correspond to articles published in the last 5 years. It must have a maximum of 4000 words, with a maximum of six tables or figures. The structure is similar to that of the scientific article.

Letter to the editor: A manuscript that explains, amplifies or, otherwise, comments on research published in the journal, or elsewhere.

Editorial: Manuscript expressing the opinion of the editorial committee, the journal editor, a member of the journal editorial staff, or an invited scientific.

All manuscripts should be sent through the OJS (Open Journal System) platform <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios> to email revistatemasagrarios@correo.unicordoba.edu.co. Authors must include a letter certifying that the paper is original, the article has not been sent simultaneously to another journal for publication, and that they know, and agree with, the content of the journal. The editorial committee will determine if the contents of the manuscript is appropriate for publication in Temas Agrarios and the manuscript conforms to the style and format requirements given below. The pre-selected articles will be sent to two anonymous peer reviewers. Scientific peers will determine if:

- 1) The article can be published without modifications;
- 2) The paper needs minor changes;
- 3) The manuscript needs major modifications or
- 4) The manuscript is not appropriate for publication.

If reviewers do not agree in their evaluation, manuscripts will be sent to a third anonymous peer reviewer for evaluation.

The third peer will determine the final decision. The final version of the paper accepted for publication must be sent with a letter signed by the authors giving the right to the editorial committee of this journal to reproduce, or to transmit by any means the content of the manuscript.

The manuscripts must be written in Word format in a single column, Arial letter font 12.

Temas Agrarios accepts articles for publication in Spanish, Portuguese and English language.

Structure of the manuscript

Title: Must be in Spanish, or Portuguese, and in English. Title should be in capital letters, centered and brief (no more than 15 words in length). If the title is longer, a subtitle should be included.

Short title: Authors should submit a short title (no more than six words in length) to be included as a footprint on the body of the manuscript.

Authors: The name of the authors must go under the title. It should include full names of the author (s). Authors should be listed based on their contributions to the research performance, or on the paper elaboration. All the author information (academic degree, position, affiliation, organization and location (city and country) has to be posted in a footprint. The name of the main author should be marked with a star, and all his or her contact information, including his or her e-mail address, must be given.

Abstract. Should be written in a single paragraph not exceeding 250 words for research articles and review, and no more than 100 words for short articles. Will include the rationale for resolving the problem, objective, methodology (materials and methods), more relevant results and findings of the investigation with an emphasis on achievements. The abstract does not include references, figures, or tables. Articles in Spanish or Portuguese must include an abstract in English and those that are written in English, an abstract in Spanish.

Key words: Should be placed below the abstract and may not exceed six words.

Organization of the text: The body of article in Temas Agrarios includes an introduction, materials and methods, results and discussion, conclusions, acknowledgements (optional), and references (bibliographical). The main titles in the body of the manuscript must be centered, black font color and capital letters.

Introduction: This section must formulate the state of the art of the subject to investigate, based on updated reviews, highlight the importance and necessity of the investigation, as well as indicate the objectives that are pursued with the accomplishment of the work.

Materials and Methods: This section give enough detail to allow a competent scientist to repeat the experiments. This section may be arranged in any logical manner and may include tables and figures. Authors should describe the whole procedure, if their methodology is original. A brief description of the procedure should be explained with a citation of the respective source when methodology is already published. Authors should indicate modifications made to any methodology previously published. The materials and methods section should describe place, materials and instruments, techniques, experimental designs and analysis of the data. Software version, brand and company should be specified.

Results and Discussion: This section needs to be written in an impersonal way and in agreement with the research objectives and methods. Results should be compared to previous finding of other authors, followed by the citation of the respective source. Use tables, graphs, and other illustrations in this section to provide a clear understanding of representative data obtained from the experiment. Although, tables and illustrations should be cited on the body of this section, they need to be individually placed in separated sheet at the end of the paper. Include the level of statistical significance in lower case letters (a, b, c, d, ...).

Enumeration and measurement: Use numbers whenever it is followed by a standard unit of measurement, e.g., 1 g, 9 cm, otherwise, use words from zero to nine and numerals for higher amounts. The denominators of units should be written with negative indices, e.g., kg ha⁻¹, g m⁻². Report all figures taken based on the International System of Units. The oblique bar (/) should be used as a substitute for the word "by". Use the bar to connect SI units with units that are not (eg plants/ha or 10 cluster/plant).

Names and terms: Use italics for scientific names of organisms and include the names of the classifiers only referring to the organism used in the investigation. The variety name must be enclosed in quotes when it is written after the scientific name. The species of plants and animals must refer to its common name.

The scientific name and the classifier must be written completely when the plant species is first enunciated in the text for plant species used in research. Pesticides should be referred by their active ingredient approved. The names of commercial products must bear the proprietary annotation, when strictly necessary trade names appear. The statistical design should be clearly described in Materials and Methods. The data should be analyzed by appropriate statistical methods. For quantitative data a measure of variability (standard deviation or standard error) should be reported.

Tables: A maximum of three tables with 6 columns and 15 rows for manuscript will be accepted. Must be cited in numerical order in the text. The title should be concise and self-explanatory of the contents of the table and should be in the top (Table 1. Text of the table in normal font-without blacks). Table title and column title should be 11 font, cell size should be 10 points. Table footnotes can be used with 9-font letter. Horizontal and vertical internal lines of the table body should be eliminated.

Figures: A maximum of three figures for manuscript will be accepted. Figures should be listed in the text and the title should be in the bottom with 11-font letter (Figure 1. Text of the figure in normal font-without blacks). These must be in the following formats: jpg, *. tif, *. bmp, *. gif, *. eps. Images must have sufficient resolution (minimum 150 dpi). Figures should be designed to fit in one column, two columns or an entire page. The lines must have a minimum thickness of 0.5 points and letters must be in proportion to the figure with a sufficient size to be reduced without losing clarity.

Conclusions: Should be clear, concise and arise from the results of the work.

Acknowledgements: At the author's authority. They must be the recognition of contributions that had a significant impact on the performance of work and have been made by individuals, government entities or NGOs.

References: References should be listed alphabetically and should only refer to the literature mentioned within the article. Cite references in the text the surname of the author (s) and year (with comma between them) examples: (Gutiérrez, 2008), (Gutierrez and Lozano, 2008). When more than two authors, use "et al", e.g., (Gutiérrez *et al.*, 2008), but in references must be recorded all authors.

Within the text:

1. When the names of the authors are part of the sentence, e.g., Gutierrez (2008), Gutierrez and Lozano (2008) and Gutiérrez *et al.* (2008).
2. When the names of the authors are at the end of the sentence or paragraph, e.g., (Gutiérrez, 2008), (Gutierrez and Lozano, 2008) or (Gutiérrez *et al.*, 2008).
3. When citing two articles by the same author, order from oldest to most recent, e.g., (Gutiérrez 2008, 2009).
4. When citing two articles by the same author in the same year, a year place lowercase letters e.g., (Gutiérrez, 2008a, 2008b). When citing multiple articles by different authors are listed chronologically, e.g., (Bustos, 2007, Gutiérrez, 2008, Lozano, 2009).

For the structure of references, the following examples of references can be interpreted (Pay attention to the spaces, bold and punctuation):

Reference citations with DOI (Digital Object Identification System): Author (s) first name, first letter initial. Year. Article title. Full name of the journal volume, number (in parentheses), pages and the hyperlink or web link in extenso.

Example: **Grandett, L., Reza, S., Jaraba, J. and Pardo, Y. 2015.** Effect of microbial

activity on nitrification in soils cultivated with *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweicerdtd in Cereté, Córdoba. *Temas Agrarios* 20 (2): 9-18
<http://dx.doi.org/10.21897/rta.v20i2.75>

Journal article: Author (s) surname, first name initial. Year. Article title. Journal name volume number (in parentheses): pages.

Example: **Gómez, R., Contreras, P. and Sanchez, J. 1998.** Effect of different nitrogen rates on yield of maize (*Zea mays*). *Temas Agrarios* 5 (2):12-18.

Book: Author (s). Year of publication. Title. Publisher or entity responsible for the publication, city of publication and pages.

Example: **Rivera, J. and Perez, M. 2003.** The cultivation of maize. Fenalce, Bogotá, p314-356.

Book chapters published: Author (s). Year. Chapter title, In: Name of editor (Ed.), book title, publisher, city of publication and pages.

Example: **Fernández, R. and Escobar, L. 1995.** Propagation methods. In: Jimenez, C. And Carmona, J. (Ed). *Cultivation of Mango*. World Publishing, Bogotá, P126-157.

Thesis: Author (s) name. Year. Title, degree, University awarded him, site of the university.

Example: **Pastrana, I. 2007.** Micropropagation of sugarcane arrow (*Gynerium sagittatum* Aubl.). Agricultural Engineer thesis, Universidad de Cordoba, Monteria.

Presentation at a Congress: Author (s) name. Year. Title of the presentation, the conference report, the entity that published the reports, city, date, pages.

Example: **Miranda, D. 2006.** Current status and trends of horticulture in the world and its relationship with Colombian horticulture. I. Reports Colombian Congress of Horticulture. Colombian Society of Horticultural Science, Bogotá, June 2003, p19-36.

Dating Online Documents CD-Rom: Author(s) name/editor. Year. Title. [Medium]. Available: Supplier, Address, Website, URL.]

Example: **Martínez, M. 2007.** Virtual Library endangered plants [CD-ROM]. Internet
<http://www.portalecologico.org>

Web Site: Author / editor (s) name. Year. Title. URL

Example: **Cabrera, B. 1998.** Genetic changes in plants grown *in vitro*.
<http://www.biotec/veg/res.agr.co.html>

The Editorial Board reserves the right to accept or reject scientific collaborations, also the publisher to make any changes that it deems appropriate to improve the presentation.

The ideas and statements issued by the authors are their responsibility and do not necessarily express the views and policies of the University of Córdoba.

Journal Editorial Committee Agricultural Issues.
University of Córdoba

Carrera 6 No. 77- 305 Montería
College of Agricultural Sciences.
AA: 354 Monteria, Colombia.

Open journal System:
<http://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/index>

Email:
revistatemasagrarios@correo.unicordoba.edu.co

ÁRBITROS REVISTA TEMAS AGRARIOS VOLUMEN 26 (2) 2021

REFEREES JOURNAL TEMAS AGRARIOS VOLUME 26 (2) 2021

- Ana María López Gutiérrez. Ph.D.** Universidad Tecnológica De Pereira. Colombia. 26(2)
- Ana Teresa Mosquera Espinosa. Ph.D.** Pontificia Universidad Javeriana. Colombia. 26(2)
- Antonio Martínez Reina. Ph.D.** Agrosavia. Colombia. 26(2)
- Carlos Andrés Benavides Cardona. M.Sc.** Universidad de Nariño. Colombia. 26(2)
- Clara Inés Medina Cano. Ph.D.** Agrosavia. Colombia. 26(2)
- Dagoberto Castro Restrepo. Ph.D.** Universidad Católica Del Oriente. Colombia. 26(2)
- Daniel Iván Ospina Salazar. Ph.D.** Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Colombia. 26(2)
- Diana Sánchez López. M.Sc.** Agrosavia. Colombia. 26(2)
- Ender Correa Álvarez. M.Sc.** Agrosavia. Colombia. 26(2)
- Fabio Emilio Forero Ulloa. M.Sc.** Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia.26(2)
- Gabriel Rodolfo Navas Suárez. Ph.D.** Universidad de Cartagena. Colombia. 26(2)
- Giovanni Orlando Cancino Escalante. Ph.D.** Universidad de Pamplona. Colombia. 26(2)
- Javier García Álzate. Ph.D.** Universidad de Nariño. Colombia. 26(2)
- José Alejandro Cleves. Ph.D.** Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 26(2)
- José Juvencio Castañeda Nava. Ph.D.** Universidad de Guadalajara, México. 26(2)
- Leónides Castellanos González. Ph.D.** Universidad de Pamplona. Colombia. 26(2)
- Lilibeth Tordecilla Zumaqué. M.Sc.** Agrosavia. Colombia. 26(2)
- María del Rosario Manzano Martínez. Ph.D.** Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Colombia. 26(2)
- María del Valle Rodríguez. M.Sc.** Agrosavia. Colombia. 26(2)
- María Sara Mejía de Tafur. Ph.D.** Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Colombia. 26(2)
- Nelson Virgilio Piraneque Gambasica. Ph.D.** Universidad del Magdalena. Colombia. 26(2)
- Rodrigo Campo Arana. Ph.D.** Universidad de Córdoba. Colombia. 26(2)

ÍNDICE DE ÁRBITROS REVISTA TEMAS AGRARIOS VOLUMEN 26 (2) 2021
REFEREES JOURNAL TEMAS AGRARIOS VOLUME 26 (2) 2021

A

Ana María López Gutiérrez
Ana Teresa Mosquera Espinosa
Antonio Martínez Reina

C

Carlos Andrés Benavides Cardona
Clara Inés Medina Cano

D

Dagoberto Castro Restrepo
Daniel Iván Ospina Salazar
Diana Sánchez López

E

Ender Correa Álvarez

F

Fabio Emilio Forero Ulloa

G

Gabriel Rodolfo Navas Suárez
Giovanni Orlando Cancino Escalante

J

Javier García Álzate
José Alejandro Cleves
José Juvencio Castañeda Nava

L

Leónides Castellanos González
Lilibeth Tordecilla Zumaqué

M

María del Rosario Manzano Martínez
María del Valle Rodríguez
María Sara Mejía de Tafur

N

Nelson Virgilio Piraneque Gambasica

R

Rodrigo Campo Arana

ÍNDICE DE AUTORES REVISTA TEMAS AGRARIOS VOLUMEN 26 (2) 2021
AUTHORS INDEX JOURNAL TEMAS AGRARIOS VOLUME 26 (2) 2021

A

Alberto Willian Rodríguez Rubio

C

Camilo Iguaran Díaz

Carlos Alberto Abaunza González

Carlos Cardona Ayala

Carlos E. Brochero-Bustamante

Claudia M. López-Díaz

E

Eduardo Barragan Quijano

Eliseo Polanco Díaz

Ender Manuel Correa Álvarez

Esteban Augusto Escobar Posada

H

Hermes Aramendiz Tatis

I

Isidro E Suarez-Padrón

Isueh Arenas-Rubio

J

Jacobo Robledo-Buriticá

Jenry Rafael Hernández Murillo

Jorge Cadena-Torres

Jorge Luis Romero Ferrer

Juan Alejandro Villazón Gómez

Juan C. Gómez-Correa

Juan Felipe Rivera Hernández

K

Karen Tatiana Cardona Restrepo

Kelly Mercado

L

Liliana Andrea Ramírez Franco

Luis Francisco Rodríguez Rodríguez

Luisa F. Guzmán-Sánchez

Lumey Pérez-Artiles

M

Madeleyne Parra-Fuentes

Marlon José Yacomelo Hernández

Miguel Espitia Camacho

R

Roberto Alejandro García Reyes

Y

Yoldi Dalila Ortiz Muñoz

REVISTA
TEMAS AGRARIOS

Volumen 26 (2) Julio - Diciembre de 2021
Publicación científica

¿DESEA RECIBIR LOS CONTENIDOS DE TEMAS AGRARIOS?

Suscríbase a través de nuestra página web

[http://revistas.unicordoba.edu.co/revistas/index.php/temasagrarios/
index](http://revistas.unicordoba.edu.co/revistas/index.php/temasagrarios/index)

POLÍTICA DE ACCESO ABIERTO:

"Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente la investigación al público, lo cual fomenta un mayor intercambio de conocimiento global."



Consejo Editorial revista Temas Agrarios
Universidad de Córdoba Carrera 6 No. 77- 305
Bloque 20. 2do. piso. Facultad de Ciencias Agrícolas
AA: 354 Montería
E-mail: revistatemasagrarios@correo.unicordoba.edu.co

Financiada por/ Sponsored by:
Universidad de Córdoba

INGENIERÍA AGRONÓMICA

Institución	Universidad de Córdoba
Título que otorga	Ingeniero Agrónomo
Modalidad	Presencial
Área de conocimiento	Ciencias Básicas, Básicas de Ingeniería, Ingeniería Aplicada y Complementarias
Duración	10 semestres
Periodicidad de la admisión	Semestral
Número de créditos académicos	161
Adscrito a	Facultad de Ciencias Agrícolas
Registro Calificado	Resolución 06607 – Junio 26 de 2019
Acreditación Internacional	Acuerdo de Acreditación N° 4/2018 – octubre 3 y 4 de 2018

Misión

Formar y capacitar profesionales integrales en el Área de Ciencias Agronómicas, que mejoren la productividad de los sistemas de producción agrícola, articulando el proceso Enseñanza y Aprendizaje con la investigación, producción, servicios técnicos, transferencia de tecnología y formación posgradual, contando para ello con la dotación técnica, de infraestructura y docentes altamente calificados, acorde con las características del entorno para la solución de problemas con criterios de calidad, equidad y sostenibilidad y contribuir al bienestar de la población.

Visión

Los Ingenieros Agrónomos egresados de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba tienen una formación integral, con gran sentido de la equidad y grandes valores éticos y morales, capacitados para generar el desarrollo agrícola sostenible y el bienestar de la región Caribe y del país, dándole solución a los problemas de producción en el campo con calidad y eficiencia, creando y/o generando empresas para mejorar la productividad agrícola, aplicando conocimientos y habilidades adquiridas con un enfoque gerencial.

Página Web

<https://www.unicordoba.edu.co/index.php/facultad-ciencias-agricolas/ingenieria-agronomica/>

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRONÓMICAS

Institución	Universidad de Córdoba
Título que otorga	Magíster en Ciencias Agronómicas
Modalidad	Presencial
Área de conocimiento	Agronomía, Veterinaria y Afines
Duración	4 semestres
Periodicidad de la admisión	Anual
Número de créditos académicos	60
Adscrito a	Facultad de Ciencias Agrícolas
Registro Calificado	No. 14436. del 7 de septiembre de 2015 (7 años).
Énfasis	Fitomejoramiento Sanidad Vegetal Fisiología Vegetal Ciencias del Suelo

Misión

Formar integralmente recurso humano de alta calidad y capacidad investigativa que aumente la masa crítica de profesionales para liderar la producción y multiplicación de conocimientos y tecnologías, la solución de problemas, prestación de servicios y la implementación de políticas agrícolas en Colombia y en la Región Caribe, con principios, valores, aptitudes y competencias asociadas a la ética profesional y la cultura local y regional de una manera sostenible, competitiva y equitativa en el desarrollo del proceso agrícola.

Visión

Ser reconocido dentro de diez años como el programa de Maestría en Ciencias Agronómicas líder en la formación de recurso humano cualificado para responder a la problemática del sector agrícola del Caribe Colombiano y el país con una perspectiva propedéutica y capaz de transformar a la región en ejemplo de escuela de pensamiento científico, conservación, uso y transformación sostenible de los recursos naturales, acorde con las diferentes cadenas productivas agroalimentarias del Caribe y el país.

Página Web

<https://www.unicordoba.edu.co/index.php/maestria-en-ciencias-agronomicas/>

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

Institución	Universidad de Córdoba
Título que otorga	Ph.D en Ciencias Agronómicas
Modalidad	Presencial
Área de conocimiento	Agronomía, Veterinaria y Afines
Duración	8 semestres
Periodicidad de la admisión	Semestral
Número de créditos académicos	120
Adscrito a	Facultad de Ciencias Agrícolas
Registro Calificado	Resolución No. 018324 28 SEP 2021

Misión

El PDCA forma investigadores para contribuir con la seguridad alimentaria, la calidad productiva y la conservación del medio ambiente desde la sanidad vegetal, la fisiología de cultivos, el manejo de los suelos y aguas, el fitomejoramiento y el desarrollo empresarial.

Visión

El PDCA será reconocido entre los mejores programas doctorales en Ciencias Agrarias en el Caribe por la generación de nuevos conocimientos, su transferencia y la innovación en las áreas de sanidad vegetal, fisiología de cultivos, manejo de suelos y aguas, fitomejoramiento y desarrollo empresarial.

Página Web

<https://www.unicordoba.edu.co/index.php/maestria-en-ciencias-agronomicas/x>

Volumen 26 (2) Julio-Diciembre 2021

CONTENIDO

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Extracción de nutrientes del mango cv. *Tommy Atkins* en suelos Entisoles e Inceptisoles del departamento del Tolima, Colombia.
Yacomelo Hernández Marlon José, Abaunza González Carlos Alberto, Polanco Díaz Eliseo, Arenas-Rubio Isueh, Correa Álvarez Ender Manuel, Jaramillo Bonilla Sair..... 117

Crecimiento foliar y comportamiento diario de la fotosíntesis en plantas de fique cv Ceniza (*Furcraea cabuya* Trelease).
Cadena-Torres Jorge, Barragan Quijano Eduardo, Romero Ferrer Jorge Luis, Mercado Kelly..... 129

Efecto de diferentes tipos de fertilizantes en el crecimiento del maíz criollo, Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquia.
Cardona Restrepo Karen Tatiana, Escobar Posada Esteban Augusto, Ramírez Franco Liliana Andrea, Rivera Hernández Juan Felipe..... 140

Sensoramiento remoto del rendimiento agrícola en caña de azúcar en Cacocum, Cuba.
García Reyes Roberto Alejandro, Villazón Gómez Juan Alejandro, Rodríguez Rubio Alberto Willian... 152

Variaciones morfométricas de semillas y alternativas físico-químicas en la germinación de tamarindo (*Tamarindus indica* L.).
Hernández Murillo Jenry Rafael, Iguaran Díaz Camilo, Aramendiz Tatis Hermes, Espitia Camacho Miguel, Cardona Ayala Carlos..... 160

Caracterización del sistema productivo de cítricos, con énfasis en la enfermedad huanglongbing, en Ponedera, Atlántico.
Gómez-Correa Juan C, Robledo-Buriticá Jacobo, Parra-Fuentes Madeleyne, Brochero-Bustamante Carlos E, Guzmán-Sánchez Luisa F, Pérez-Artiles Lumey..... 170

Eficiencia de dos consorcios bacterianos para el control de *Spongospora subterranea* f sp. subterranea en cultivos de papa *Solanum tuberosum* var. andígena.
Ortiz Muñoz Yoldi Dalila, Rodríguez Rodríguez Luis Francisco..... 182

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Bioteología en caña de flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.). Una planta de interés cultural.
Suarez-Padrón Isidro E, López-Díaz Claudia M..... 190

Instrucciones para los autores..... 203