

ISSN 0377-9424
Versión digital ISSN 2215-2202

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
COLEGIO DE INGENIEROS AGRÓNOMOS
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

www.cia.ucr.ac.cr
www.mag.go.cr/rev_agr/index.html



Enero - Junio 2023

Volumen 47

Número 1

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

Revista semestral de Ciencias Agrícolas de la
Universidad de Costa Rica,
El Colegio de Ingenieros Agrónomos,
y el Ministerio de Agricultura y Ganadería

DIRECTOR

Nevio Bonilla Morales
Ministerio de Agricultura y Ganadería
San José, Costa Rica.

EDITORA

Silvia Elena Arce Quesada
Escuela de Economía Agrícola y Agronegocios
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

ASISTENTE EDITORIAL

Rosibel Serrano Gómez
Centro de Investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

PORTADA

En relación con el artículo “Retorno potencial
de nutrientes vía hojarasca foliar en sistemas
silvopastoriles en el norte de Colombia” de
Martínez-Atencia *et al.*



Los miembros del Consejo Editorial y el Consejo Editorial
Asesor Internacional realizan un arbitraje permanente de los
trabajos publicados en la Revista Agronomía Costarricense.

CONSEJO EDITORIAL

Floria Bertsch Hernández
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
Elizabeth Arnáez Serrano
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
Fernando Mojica Betancur
Colegio de Ingenieros Agrónomos. Costa Rica.
Primo Luis Chavarría
Colegio de Ingenieros Agrónomos. Costa Rica.
Jorge Alberto Elizondo Salazar
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
Mario Villatoro Sánchez
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

CONSEJO EDITORIAL ASESOR INTERNACIONAL

Aixa Ofelia Rivero Guerra
European Centre for Applied Statistics S. L., Spain
Alcido Elenor Wander
Embrapa Rice and Beans, Brasil
André Mendes Jorge
Universidade Estadual Paulista – UNESP, Brasil
Beatriz Irene Eibl
Universidad Nacional de Misiones, Argentina
Danilo Pezo
Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE), Perú
Francisco Paulo Chaimsohn
Instituto Agronômico do Paraná, Brasil
Guadalupe Valdovinos Ponce
Colegio de Postgraduados, México
Gustavo J. Lascano
Clemson University, USA
Héctor Horacio Murcia Cabra
Universidad de Santo Tomás (USTA), Colombia
Héctor Mario Andrade Montemayor
Universidad Autónoma de Querétaro, México
Hugo Antonio Tobías Vásquez
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala
Jorge Etchevers Barra
Colegio de Posgraduados, México
Jorge Hernán Chiriboga Pareja
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Brasil
Laura Berta Reyes Sánchez
Universidad Nacional Autónoma de México, México
Martha Nascimento Castro
Faculdade Araguaia, Brasil
Mónica Matilde Barbazán Pacheco
Universidad de la República, Uruguay
Olegario Muñiz Ugarte
Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura (MINAG), Cuba
Patrice Cannavo
Agocampus Ouest, Francia
Renato de Mello Prado
Universidade Estadual Paulista–UNESP, Brasil
Rogelio Nogales Vargas-Machuca
Estación Experimental del Zaidín, España
Raúl E. Jaramillo Velastegui
International Plant Nutrition Institute, Ecuador

Revista Agronomía Costarricense / Centro de Investigaciones Agronómicas.

Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Teléfono 2511 2080, fax 2234 1627. Correo electrónico: rac.cia@ucr.ac.cr

ISSN 0377-9424

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

COLEGIO DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

Volumen 47

2023

Número 1


EDITORIAL
UCR

REVISORES ESPECIALIZADOS

Revisores Nacionales

Adrian Pinto
Adriana Murillo
Alexandra Urbina
Alfredo Alvarado H.
Alfredo Bolaños
Alfredo Durán
Álvaro Castro
Álvaro Jiménez C.
Álvaro Ramírez
Amelia Paniagua
Ana Cecilia Segreda
Ana Gabriela Pérez
Andrés Hernández P.
Anthony Valverde
Antonio Bogantes
Argerie Cruz
Arturo Brenes A.
Bernal Azofeifa
Bernal Herrera
Bernal Rodríguez
Bernal Valverde
Bernardo Vargas
Bryan Alemán
Carlos Alfaro
Carlos Alpizar
Carlos Enriquez
Carlos Luis Loria
Carlos Luna T.
Carlos Méndez
Carlos Pomareda
Carlos Ramírez M.
Carlos Rodríguez V.
Carmela Velásquez
Claudia Charpentier
Claudia Fernández
Claudia Martínez
Cristina Chinchilla
Cristina Vargas
Daniel Saborio
David Mora
Denis Hine
Dennis León
Diego Berrocal
Diógenes Cubero
Dora Flores
Douglas Marín
Edgar Aguilar
Edgar Alvarado
Edgar Gutiérrez
Edgar Vidal
Edgardo Alpizar
Eduardo Barrantes
Edwin Esquivel
Edwin Orozco
Elizabeth Arnáez
Eloy Molina
Eric Mora N.
Eugenio Corea
Eugenio González
Federico Albertazzi
Felipe Arauz C.
Felipe Arguedas
Fermín Subirós R.
Flores Antillón
Francisco Mesén
Francisco Romero
Francisco Saborio
Franklin Herrera
Freddy Soto
Gabriel Garbanzo
Geiner Matamoros
Geovanny Garro

Gerardina Umaña
Gerardo Ávalos
Gilbert Barrantes
Gilberto Cabalceta
Gloria Meléndez
Guillermo Araya
Gustavo Fallas
Gustavo Quesada
Héctor Medrano
Helga Blanco M.
Hernán Castro E.
Hugo Aguilar
Ileana Moreira
Ismael Hernández
Johan Lotz A.
Johnny Montenegro
Jorge Camacho
Jorge C. Rodríguez
Jorge Elizondo
Jorge Leiva
Jorge Mora B.
Jorge Sandoval
Jorge Segura
José Bejarano
Jose L. Corrales
José P. Jiménez
José Valerín
Juan Araya
Juan Carlos Madrigal
Juan José Romero
Juan Luis Fallas
Juan Luis Morales
Juan Manuel Hernández
Juan Mora
Juan R. Navarro
Julieta Carranza
Julio Arias
Julio Mata
Julio Rodríguez
Karolina Villagra
Kenneth Largaespada
Kenneth Madriz
Laura Segura
Laura Solís
Leida Castro
Leslie Medina
Lidieth Uribe
Lisela Moreira
Lolita Durán
Lorena Flores
Lorena Uribe
Luis Barboza
Luis Brenes Q
Luis Calvo
Luis Carrera
Luis Diego Arroyo
Luis Vargas
Luis Villalobos
Luko Hilje
Manuel E. Camacho U.
Manuel Masis
Marco Adamson
Marco Lobo
Marco V. Sáenz
Marcos Chaves
María Isabel González
Maricruz Ramírez
Mario Araya
Mario Arias
Mario Saborio
Mario Villatoro

Marta Montero
Marta Valdéz M.
Marvin Araya
Marvin Vargas
Mercedes Montero
Milagro Granados
Milton Villarreal
Mónica Blanco
Natalia Barboza
Natalia Soto
Néstor Chaves
Noé Salazar
Olga Calvo
Olman Murillo
Orlando Carrillo
Orlando Chinchilla
Oscar Acuña
Oscar Castro
Oscar Obando
Oscar Quesada
Patricia Quesada
Patricia Ramírez
Paul Esker
Rafael Mata
Rafael Salas C.
Ramiro Alizaga
Ramón Mexzón
Ramón Molina
Randall Chacón
Randy Chinchilla
Raúl Botero
Rebeca Zamora
Renato Jiménez
Ricardo Piedra
Roberto Azofeifa
Roberto Camacho
Roberto Ramírez
Roberto Villalobos
Rodolfo Araya
Rodrigo Jiménez
Rodrigo Ríos
Rodrigo Rosales
Roger Fallas
Roger Molina Coto
Roger Muñoz
Ronald Vargas
Rose Marie Menacho
Roy Artavia
Rubén Calderón
Rubén Ortiz
Ruth de la Asunción
Ruth León G.
Sergio Abarca
Susana Cascante
Sisgo Acuña
Victor Hugo Porras
Victoria Arronis
Victoria García
Vidal Vega
Viviana Madrigal
Walter Marín M.
Walter Peraza
Werner Rodríguez
Wilbert Phillips
William Hernández
William Meléndez
William Rivera
William Sánchez
Wilson Beita
Yannery Gómez

Revisores Internacionales

Abellino Pitty (Honduras)
Adriana Escudero (España)
Adriana Murillo (EE.UU.)
Ana Scopel (Argentina)
André Finkler (Brasil)
Andrés Búcaro (Guatemala)
Aura Morales (El Salvador)
Beatriz Eibl (Argentina)
Bernardo Villegas (Colombia)
Carolina Zamorano (Colombia)
Cesáreo Rodríguez H. (México)
Corina Bernigaud (Uruguay)
Consuelo Estevez (Puerto Rico)
Daniel Carreira (Argentina)
Edgar Amezcuita (Colombia)
Emilio Olivares Sáenz (México)
Florencia Montagnini (EE.UU.)
Francisco Coll (Cuba)
Francisco Ibarra (México)
Francisco P. Chaimsohn (Brasil)
Géni E. Meneghello (Brasil)
Guadalupe Valdovinos (Puerto Rico)
Guillermo Reyes (Nicaragua)
Héctor Mario Andrade (México)
Hernán Chiriboga (Ecuador)
Hugo del Cid H. (Guatemala)
Ildefonso Pla Sentis (España)
Jaime Garzón (Colombia)
Jorge Etchevers (México)
José A. Ordoñez (Honduras)
José L. Barrera Violet (Colombia)
José M. Tapia (México)
José Moure (España)
Juan Carlos Rosas (Honduras)
Juan F. Gallardo (España)
Juan Francisco Barrera (México)
Juan Pedro Agostini (Argentina)
Julián F. Becerra (Colombia)
Kellen Gatti (Colombia)
Lérida Almaguel (Cuba)
Leonides Castellanos (Colombia)
Rodrigo Rosales
Leopoldo Álvarez (Argentina)
Luis Castresana (España)
Luis Felipe Lata (Brasil)
Manuel Reigosa (España)
Manuel Sandoval (México)
Marcela Guerrero (Colombia)
Marta Nascimento (Brasil)
Mauricio Arango (Colombia)
Miguel Marchamalo (España)
Nolver Arias Arias (Colombia)
Olegario Muñiz Ugarte (Cuba)
Óscar A. Guzmán P. (Colombia)
Óscar G. Campos (Guatemala)
Patrice Cannavo (Francia)
Ramiro Ramírez P. (Colombia)
Ramón Rivera (Cuba)
Raúl Zapata (Colombia)
Reynaldo Mendoza (Nicaragua)
Roberto Fernández (Argentina)
Roberto Ferreira (Brasil)
Rolando Cifuentes (Guatemala)
Ronald Ochoa (EE.UU.)
Rubén Cabanillas Cruz (México)
Santiago M. Sáenz (Colombia)
Sergio Hernández (México)
Sonia Ospina (Colombia)
Tania Mulkey (Cuba)
Thomas J. Smyth (EE.UU.)
Victor Hugo Porras (Colombia)
Victor Ordaz Chaparro (México)
Yisa María Ochoa (México)
Yolanda Moguel (México)

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA EN LÍNEA

Si desea visitar la Revista Agronomía Costarricense puede hacerlo a través del

Ministerio de Agricultura y Ganadería http://www.mag.go.cr/rev_agr/index.html

y el **Portal de Revistas Académicas de la Universidad de Costa Rica** <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost>

Centro de Investigaciones Agronómicas www.cia.ucr.ac.cr

También puede encontrarla en los siguientes índices internacionales:

	LATINDEX (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal)
	REDALYC (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal)
	SciELO (Scientific Electronic Library Online)
	SIDALC (Sistema de Información y Documentación Agropecuaria de las Américas)
	INIS Atomindex (International Nuclear Information System)
	Base AGROC
	DIALNET
	DOAJ (Directory of Open Access Journals)
	AGRIS
	REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico)
	PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas de Ciencias)
	Ulrich's
	OCLC World Cat
	CAB Abstracts

	COPAC
	ROAD (Directory of Open Access Scholarly Resources)
 Food and Agriculture Organization of the United Nations	FAO Online Catalogues
	SHERPA/RoMEO
	Organization for tropical studies
	Gale (Cengage Company)
	DGB UNAM
	CONRICyT (Consortio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica)
	CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe)
	LA Referencia (Red de repositorios de acceso abierto a la ciencia)
	Zoological Record
	Academic Search Complete
	MIAR (Matriz de Información para el Análisis de Revistas)
	SABIO
	SUDOC

CANJES

Universidad de Costa Rica
 Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información
 Unidad de Selección y Adquisiciones
 -CANJE
 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
 Costa Rica

DIRECCIÓN

REVISTA AGRONOMÍA COSTARRICENSE

Centro de Investigaciones Agronómicas
 Universidad de Costa Rica
 San José, Costa Rica
 Teléfono 2511-2080
 Fax 2234-1627
 Correo electrónico: rac.cia@ucr.ac.cr

CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial Universidad de Costa Rica
 administracion.siedin@ucr.ac.cr
 www.editorial.ucr.ac.cr
 Apartado Postal 11501
 2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
 Costa Rica

Número suelto:

Costa Rica ₡ 3060.00 incluye el 2% de IVA

Suscripción anual:

Costa Rica ₡ 8160.00

América Latina,
 Asia y África US\$ 20.40

Resto del mundo US\$ 71.40

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

Revista semestral de ciencias agrícolas de la Universidad de Costa Rica, el Colegio de Ingenieros Agrónomos y el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

VOLUMEN 47

2023

NÚMERO 1

Artículos científicos

Retorno potencial de nutrientes vía hojarasca foliar en sistemas silvopastoriles en el norte de Colombia. 9-24
Judith Martínez-Atencia, Nelson Osorio-Vega, Juan León-Peláez, Yasmín Cajas-Girón, José Contreras-Santos y Emel Berrío-Guzman

Evaluación de un nematocida biológico y un bioestimulante radical sobre *Meloidogyne exigua* en café en Naranjo, Costa Rica. 25-36
Andrea Quirós-Castro y Walter Peraza-Padilla

Comportamiento morfofisiológico y productivo de chile dulce hidropónico en invernadero con diferentes estrategias de manejo del fertiriego. 37-57
Freddy Soto-Bravo y Josué Isaac Monge-Palma

Evaluación de herbicidas preemergentes para el control de arvenses en camote. 59-71
Franklin Herrera-Murillo y Grettel Picado-Arroyo

Comportamiento agronómico de injertos de sandía en la zona Puerto Cayo en Ecuador. 73-86
Julio Gabriel-Ortega, Jackson Medranda-Barre, Washington Narváez-Campana, Fernando Ayón-Villao y Alfredo Castro-Landín

Notas técnicas

Diagnóstico del uso de antibióticos en regiones productoras de tomate en Costa Rica. 87-99
Mónica Blanco-Meneses, Oscar Castro-Zúñiga y Anny Calderón-Abarca

Efecto del balanceo de cargas en los ejes de tractores agrícolas sobre la eficiencia de labranza y las propiedades físico-mecánicas de un suelo vertisol. 101-121
Karolina Villagra-Mendoza, Daniela Brenes-Cano y Natalia Gómez-Calderón

Productividad de maíz (Diamantes 8843) bajo diferentes densidades de siembra y dosis de potasio..	123-134
<i>Cesar Urbina-Briceño, Jorge Claudio Vargas-Rojas, Edgar V. Vega-Villalobos, Alfredo Alvarado-Hernández, Gilberto Cabalceta-Aguilar y Gabriel Garbanzo-León</i>	

Obras nuevas

Suelos de Centroamérica	135
<i>Alfredo Alvarado-Hernández</i>	

RETORNO POTENCIAL DE NUTRIENTES VÍA HOJARASCA FOLIAR EN SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL NORTE DE COLOMBIA*

Judith Martínez-Atencia^{1/**}, Nelson Osorio-Vega², Juan León-Peláez³, Yasmín Cajas-Girón⁴, José Contreras-Santos⁵, Emel Berrío-Guzmán⁶

Palabras clave: Sistemas silvopastoriles; ciclaje de nutrientes; hojarasca foliar; especies arbóreas; pradera.

Keywords: Silvopastoral systems; nutrient cycling; leaf litter; tree species; grassland.

Recibido: 16/03/22

Aceptado: 08/07/22

RESUMEN

Introducción. Los sistemas ganaderos del Caribe Colombiano presentan problemas de degradación de suelo, lo que afecta la productividad y calidad de las gramíneas. Los sistemas silvopastoriles son alternativas para el manejo sostenible del suelo, ya que contribuyen con el ciclaje de nutrientes a través de la hojarasca de las especies vegetales que los conforman. **Objetivo.** Cuantificar el retorno potencial de nutrientes a través de la hojarasca foliar de especies vegetales, en 3 sistemas silvopastoriles de 13 años y en una pradera de solo gramíneas, bajo condiciones de bosque seco en el norte de Colombia. **Materiales y métodos.** Se estimó la cantidad anual

de nutrientes en la hojarasca foliar de diferentes especies vegetales en sistemas silvopastoriles y en una pastura de solo gramíneas, con trampas de hojarasca instaladas en el área de influencia de cada especie vegetal. **Resultados.** Las especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles generaron mayor cantidad de hojarasca foliar y nutrientes que la pastura de solo gramíneas. *Albizia saman* presentó los mayores valores de producción de hojarasca foliar y retorno de nitrógeno y fósforo dentro de los sistemas silvopastoriles, con respecto a las otras especies. **Conclusión.** La producción de hojarasca de las diferentes especies fue independiente del sistema silvopastoril en el cual se encontraban, y el retorno potencial de nutrientes vía hojarasca foliar de las especies arbóreas en los sistemas

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

** Autora para correspondencia. Correo electrónico: jmartinez@agrosavia.co

1 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, C.I Turipaná, Colombia.  0000-0003-0492-2486.

2 Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biociencias, Medellín – Antioquia, Colombia.  0000-0002-0654-1399.

3 Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ciencias Forestales, Medellín – Antioquia, Colombia.

 0000-0002-3442-7649.

4 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia, Colombia  0000-0002-8740-9567.

5 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, C.I Turipaná, Colombia.  0000-0002-8179-3430.

6 Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria - Agrosavia, C.I Turipaná, Colombia.  0000-0002-1195-9220.

silvopastoriles fue superior a la registrada en la gramínea de la pradera sin árboles.

ABSTRACT

Potential return of nutrients by leaf litter in silvopastoral systems in Northern Colombia. Introduction. Livestock systems in the Colombian Caribbean present soil degradation problems, which decreases productivity and quality of grasses. Silvopastoral systems are alternatives for sustainable soil management, since they contribute to nutrient cycling through litter of plant species that comprise them. **Objective.** To quantify the potential return of nutrients through leaf litter of plant species, in three thirteen-year silvopastoral systems and in a grass-only pasture, under dry forest conditions

in Northern Colombia. **Materials and methods.** Annual amount of nutrients in foliar litter of different plant species was estimated in three silvopastoral systems and in a grass-only pasture, by the use of litter traps installed in the area of influence of each plant species. **Results.** Tree species in the silvopastoral systems generated a greater amount of foliar litter and nutrients than the grass-only pasture. *Albizia saman* presented the highest values of foliar litter production and nitrogen and phosphorus return within the silvopastoral systems, with respect to the other species. **Conclusion.** Litter production of the different species was independent of the silvopastoral system in which they were found, and the potential return of nutrients through foliar litter of tree species in silvopastoral systems was higher than that recorded in the grass-only pasture.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de alimentos ha conllevado a la transformación de ambientes boscosos en tierras de cultivo y pastoreo, mediante la modificación de los ecosistemas, la biodiversidad, agua, suelo y ambiente; en este sentido, los sistemas ganaderos tropicales basan su productividad en grandes extensiones de tierra asociadas a gramíneas nativas poco productivas sin árboles y alta carga animal (sobrepastoreo), asociado a procesos degradativos de suelo (Mora *et al.* 2017). En Colombia el 13,3% del área total del país presenta suelos con vocación ganadera (15 Mha), de las cuales el 33,9% tienen procesos degradativos asociados al cambio en el uso del suelo, sobrepastoreo y mal manejo (IDEAM-UDCA 2015). Sumado a esto, la región Caribe Colombiana presenta alta vulnerabilidad asociada a eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías y deslizamientos, con la consecuente disminución en el reciclaje de nutrientes por la escasa producción de hojarasca en las praderas, que conlleva a

baja disponibilidad y calidad de forrajes para los bovinos. El retorno potencial de nutrientes vía hojarasca foliar es uno de los eslabones más importante en los ciclos biogeoquímicos, en el mejoramiento de la fertilidad del suelo, mediante la redistribución de los nutrientes extraídos por las raíces, desde capas profundas del suelo (Pau-del *et al.* 2015, Del Valle-Arango 2003).

Los sistemas silvopastoriles y/o agroforestales representan alternativas que permiten mejorar el sistema productivo ganadero en la región caribe y ofrecen mayor disponibilidad de forraje en épocas críticas, lo que reduce los procesos degradativos del suelo, agua y aire, además del aporte de servicios ecosistémicos y adaptabilidad a los efectos del cambio climático actual (Martínez-Atencia *et al.* 2020, Contreras *et al.* 2019). El objetivo de esta investigación fue cuantificar el retorno potencial de nutrientes a través de la hojarasca foliar de especies vegetales que componen 3 sistemas silvopastoriles de 13 años y una pradera de solo gramíneas, bajo condiciones de bosque seco en el norte de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló, durante el 2013, en el Centro de Investigación-CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, localizado en Cereté, Córdoba, Colombia (8°51' N, 75°49' W, Altitud 18 m), ubicado en la parte media de la cuenca del río Sinú con presencia de sedimentos

finos y condición natural imperfectamente drenado. Según la clasificación de Holdridge (2000), el área de estudio corresponde a la zona de vida bosque seco tropical, con temperatura media anual de 28°C, humedad relativa de 81% y precipitación anual de 1380 mm; con un periodo seco de diciembre a abril y otro lluvioso de mayo a noviembre (Figura 1).

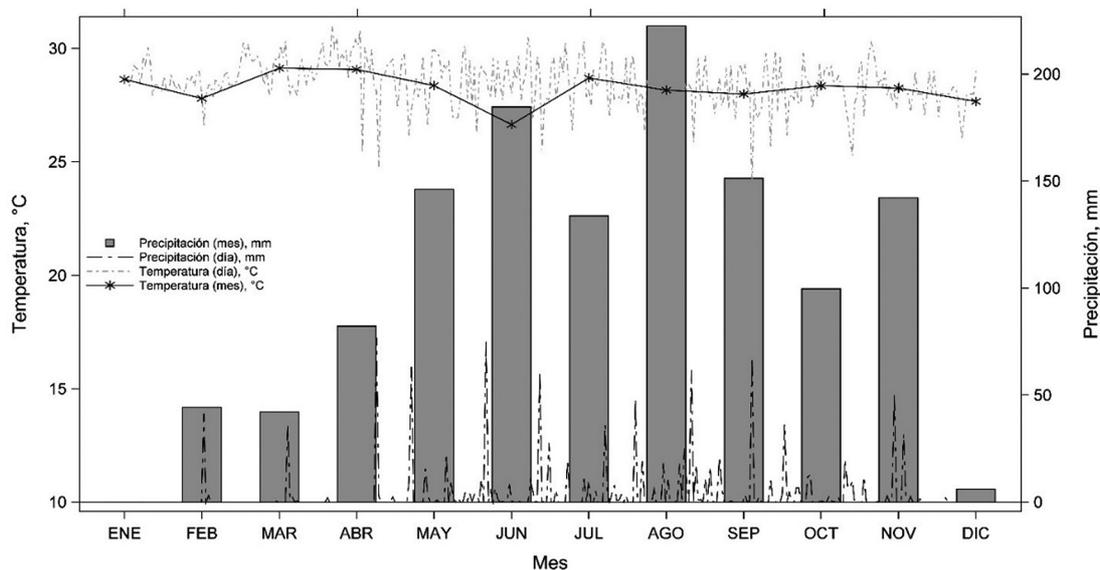


Figura 1. Variación de temperatura y precipitación durante el periodo de estudio. Estación meteorológica CI Turipaná.

Este estudio se realizó en el área de sistemas silvopastoriles de estratos múltiples establecidos en 1998 (Cajas y Sinclair 2001), bajo un diseño de bloques completos al azar, con 3 repeticiones; cada unidad experimental con un área de 2 ha, para un total de 24 ha en todo el

experimento (Figura 2). Los tratamientos consistieron en 3 sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) de diferente complejidad estructural y diversidad vegetal y una pastura de gramíneas, utilizada como control, tal como se describe a continuación:

	SSP₃ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete+P. quinata+S. macrophylla</i>	p. control <i>D. aristataum+P. maximum</i>	SSP₁ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman</i>
Repetición II			
SSP₁ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman</i>	SSP₂ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete</i>	SSP₃ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete+P. quinata+S. macrophylla</i>	SSP₂ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete</i>
SSP₃ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete+P. quinata+S. macrophylla</i>		SSP₂ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman+L. leucocephala+C. kujete</i>	Repetición I
p. control <i>D. aristataum+P. maximum</i>	SSP₁ <i>D. aristataum+P. maximum+G. ulmifolia+C. grandis+A. saman</i>		p. control <i>D. aristataum+P. maximum</i>
Repetición III			

Figura 2. Plano de campo con diseño experimental.

Pastura control (p. control). Pradera combinada con las gramíneas *Dichanthium aristatum* y *Panicum maximum*.

SSP₁. Tratamiento con las gramíneas *D. aristatum* y *P. maximum* asociadas con árboles de *Guazuma ulmifolia*, *Cassia grandis* y *Albizia saman*. Árboles establecidos a 16 m x 16 m.

SSP₂. Tratamiento que contiene lo descrito en SSP₁ más la inclusión de arbustos forrajeros *Leucaena leucocephala* y *Crescentia kujete*, establecidos a 4 m x 4 m.

SSP₃. Tratamiento que combina el SSP₂ con las especies maderables *Pachira quinata* y *Swietenia macrophylla*, establecidos a 16 x 16 m.

Las características dasométricas de los árboles que conforman los sistemas silvopastoriles se describen en la Tabla 1. De igual manera, en la Tabla 2 se muestran las características químicas del suelo asociado a cada especie vegetal dentro de los sistemas evaluados.

Tabla 1. Parámetros de crecimiento de las especies arbóreas dentro de los sistemas silvopastoriles. Los valores corresponden a promedios \pm desviación estándar entre valores de una misma especie en diferente tratamiento silvopastoril.

Tratamiento	Especie	Arboles/ha*	Altura (m)	DAP (cm)
SSP ₁	<i>A. saman</i>	11	19,2 \pm 1,96	68,0 \pm 2,87
	<i>C. grandis</i>	11	13,3 \pm 0,47	36,3 \pm 2,18
	<i>G. ulmifolia</i>	11	12,2 \pm 1,10	42,4 \pm 6,75
SSP ₂	<i>A. saman</i>	11	21,4 \pm 1,96	67,3 \pm 2,87
	<i>C. grandis</i>	11	14,0 \pm 0,47	38,6 \pm 2,18
	<i>G. ulmifolia</i>	11	12,8 \pm 1,10	54,7 \pm 6,75
SSP ₃	<i>A. saman</i>	11	21,2 \pm 1,96	66,9 \pm 2,87
	<i>S. macrophylla</i>	11	12,3 \pm 1,52	27,3 \pm 1,86
	<i>P. quinata</i>	11	19,2 \pm 1,09	58,6 \pm 2,12
	<i>C. grandis</i>	11	12,1 \pm 0,47	40,3 \pm 2,18
	<i>G. ulmifolia</i>	11	13,2 \pm 1,10	43,3 \pm 6,75

*SSP₂ y SSP₃ = Adicionalmente incluyen 300 arbustos de *L. leucocephala* y 300 arbustos de *C. cujete*. DAP = Diámetro a la altura de pecho.

Tabla 2. Propiedades químicas del suelo en los sistemas silvopastoriles, los valores corresponden a promedios \pm error estándar.

Tratamiento	Especie	pH	C	N	Ca	Mg	Na	P
			(%)		cmol.kg ⁻¹			
P	<i>Da</i>	5,7 \pm 0,205	4,10 \pm 0,345	0,42 \pm 0,029	11,19 \pm 0,772	11,19 \pm 0,505	0,24 \pm 0,047	0,025 \pm 0,0033
	<i>Pm</i>	5,7 \pm 0,082	3,51 \pm 0,140	0,47 \pm 0,036	11,87 \pm 0,709	10,40 \pm 0,654	0,24 \pm 0,028	0,024 \pm 0,0026
	<i>As</i>	5,9 \pm 0,443	3,64 \pm 0,353	0,38 \pm 0,071	12,90 \pm 0,673	7,92 \pm 0,881	0,17 \pm 0,035	0,051 \pm 0,0243
SSP ₁	<i>Cg</i>	6,3 \pm 0,332	4,06 \pm 0,557	0,37 \pm 0,058	14,00 \pm 0,173	8,93 \pm 1,015	0,15 \pm 0,115	0,064 \pm 0,0248
	<i>Gu</i>	6,5 \pm 0,297	3,27 \pm 0,594	0,35 \pm 0,078	13,80 \pm 0,239	9,05 \pm 1,443	0,15 \pm 0,072	0,076 \pm 0,0144
	<i>As</i>	5,9 \pm 0,057	3,61 \pm 0,140	0,38 \pm 0,018	13,32 \pm 0,140	9,72 \pm 1,077	0,15 \pm 0,006	0,043 \pm 0,0088
SSP ₂	<i>Cg</i>	6,0 \pm 0,154	4,20 \pm 0,237	0,42 \pm 0,027	13,52 \pm 0,559	9,95 \pm 0,822	0,17 \pm 0,009	0,071 \pm 0,0236
	<i>Gu</i>	6,3 \pm 0,037	3,73 \pm 0,353	0,39 \pm 0,029	14,69 \pm 0,592	9,61 \pm 0,862	0,17 \pm 0,062	0,067 \pm 0,0103
	<i>As</i>	6,0 \pm 0,218	3,65 \pm 0,100	0,33 \pm 0,009	11,39 \pm 1,514	9,16 \pm 0,456	0,23 \pm 0,060	0,057 \pm 0,0094
SSP ₃	<i>Cg</i>	6,0 \pm 0,119	4,56 \pm 0,179	0,43 \pm 0,006	11,33 \pm 0,654	9,27 \pm 0,458	0,24 \pm 0,052	0,075 \pm 0,0063
	<i>Gu</i>	6,3 \pm 0,203	3,85 \pm 0,164	0,42 \pm 0,010	11,46 \pm 1,193	9,84 \pm 0,590	0,29 \pm 0,060	0,074 \pm 0,0190
	<i>Sm</i>	5,3 \pm 0,345	3,95 \pm 0,348	0,41 \pm 0,015	9,47 \pm 1,274	8,93 \pm 2,885	0,34 \pm 0,060	0,030 \pm 0,0066
	<i>Pq</i>	5,8 \pm 0,303	4,25 \pm 0,314	0,42 \pm 0,031	11,46 \pm 1,145	10,52 \pm 0,643	0,35 \pm 0,061	0,051 \pm 0,0072

Método de análisis = pH: 1:2 (suelo:agua); Carbono (C) = Walkley and Black; Nitrógeno (N) = Kjeldahl; Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na) = 1 mol/L acetato de amonio; Fósforo (P) = Bray II.

Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes. La hojarasca fina producida por las especies vegetales en los tratamientos se colectó mediante el uso de trampas circulares con un área individual de 0,45 m². Se seleccionaron 5 árboles de cada especie por tratamiento y se dispusieron 2 trampas de hojarasca en la mitad de la sombra proyectada por cada árbol seleccionado. En la pastura la hojarasca se tomó manualmente del área delimitada por círculos de 0,45 m² sobre la superficie del suelo. El número total de trampas en todo el experimento fue de 390. Quincenalmente se colectó el material caído en cada trampa, se clasificó por especies y fracciones que contemplaron hojas, raquis, pedúnculos, frutos, flores y otros restos; posteriormente, el material limpio, clasificado y separado por fracciones se secó en estufa a 60°C hasta alcanzar masa constante (~72 horas), para determinar su masa seca por unidad de área. El contenido de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) en la hojarasca foliar, de cada especie vegetal dentro de los tratamientos, se determinó a partir de la masa seca de hojarasca foliar y la concentración de cada nutriente contenido en ella. Para cuantificar la concentración de nutrientes en la hojarasca foliar se obtuvo una muestra compuesta, cada 2 meses durante un año, del material colectado en cada unidad experimental, para un total de 39 muestras bimestrales. En el laboratorio se determinaron los contenidos de carbono con el método Walkley-Black; nitrógeno con el método Kjeldahl, norma AOAC 988,05, calcio, magnesio, potasio y fósforo (Digestión ácida (HNO₃:HClO₄, 5:2) y cuantificación por Absorción atómica (calcio, magnesio y potasio) y Espectrofotometría visible (fósforo).

Se realizó un análisis de varianza para comparar las medias de las variables respuesta. Cuando se detectaron efectos de los tratamientos, se procedió a separar las medias a través de la prueba de Tukey. En ambos casos se utilizó un nivel de significancia (α) ≤ 0,05.

RESULTADOS

Producción de hojarasca foliar. Los sistemas silvopastoriles exhibieron anualmente, valores de producción de hojarasca foliar entre 2877,3 y 3148,2 kg.ha⁻¹ (p < 0,0001), superiores a los observados en la pastura control. No se registró diferencia significativa en la producción de hojarasca foliar anual entre los SSP. La cantidad de hojarasca foliar dependió de la complejidad o número de especies vegetales presentes en cada tratamiento (Tabla 3). Asimismo, se observó el aporte por especie dentro de los tratamientos, que destacó a P. control la producción anual de hojarasca foliar para *P. maximum* fue de 551,3 kg.ha⁻¹, mientras que la de *D. aristatum* fue 218,4 kg.ha⁻¹. La especie *A. saman* aportó el mayor volumen de hojarasca foliar dentro de los tratamientos de SSP, Seguida de *C. grandis*, con contribuciones alrededor del 24% de la producción total de hojarasca foliar en los sistemas que la contienen (Tabla 3). De igual forma, la cantidad de hojarasca foliar de *G. ulmifolia* fue independiente de la complejidad del sistema silvopastoril. Las especies maderables *S. macrophylla* y *P. quinata* aportaron 8,6% y 12,8%, respectivamente de la hojarasca foliar anual dentro de SSP₃ (Tabla 3).

Tabla 3. Producción anual de hojarasca foliar ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por especie en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) y en una pastura control. Los valores corresponden a promedios \pm error estándar.

Tratamiento	Especie							Total
	<i>D. aristatum</i>	<i>P. maximum</i>	<i>A. saman</i>	<i>C. grandis</i>	<i>G. ulmifolia</i>	<i>S. macrophylla</i>	<i>P. quinata</i>	
P. control	218,4 \pm 6,59	551,3 \pm 23,03	-	-	-	-	-	769,7 a
SSP ₁	-	-	1607,7 \pm 77,11	761,9 \pm 55,67	507,8 \pm 36,88	-	-	2877,3 b
SSP ₂	-	-	1594,6 \pm 92,42	706,6 \pm 48,07	771,4 \pm 48,34	-	-	3072,6 b
SSP ₃	-	-	1246,0 \pm 69,34	740,3 \pm 9,53	487,8 \pm 43,66	272,4 \pm 53,63	401,7 \pm 26,63	3148,2 b

Letras minúsculas diferentes en la columna del Total indican diferencias significativas en la masa seca de hojarasca foliar entre tratamientos. Prueba de Tukey ($p\leq 0,05$).

El comportamiento de la producción de hojarasca foliar dentro de los tratamientos a lo largo del periodo de evaluación, presentó diferencias altamente significativas ($p<0,0001$). Alrededor del 39% de la producción anual de hojarasca foliar se concentró durante el periodo

seco, entre diciembre y febrero. Asimismo, se presentó otro momento de acumulación de hojarasca foliar comprendido entre agosto y septiembre en el periodo de lluvias, correspondiente al 24% de la producción anual (Figura 3).

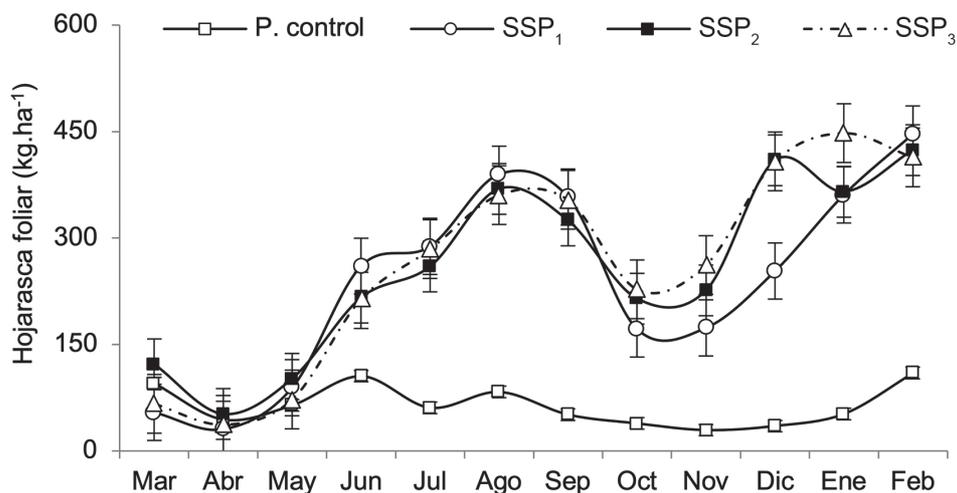


Figura 3. Distribución mensual de la caída de hojarasca foliar en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) y en una pastura control.

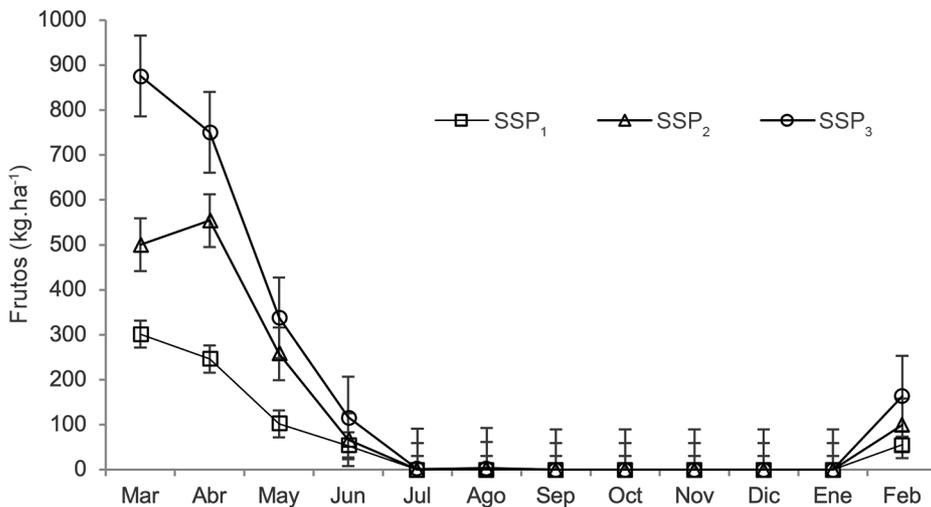
Adicionalmente a la caída de hojarasca foliar, la producción de fruto dentro de los tratamientos fue significativa ($p < 0,0001$). Las especies forestales dentro de sistemas silvopastoriles produjeron frutos, con valores entre 723 y 767 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Para el caso de los aportes de frutos de las especies dentro de los SSP, se resaltan a las especies *A. saman* y *C. grandis* fueron las de mayor producción de frutos (Tabla 4). Los valores para *G. ulmifolia* fluctuaron entre 28,1 y 71,2 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, donde el tratamiento SSP₂ reportó la mayor producción de fruto de esta especie

(Tabla 4). Con la finalidad de observar el comportamiento de la caída de los frutos dentro de los SSP, se observó comportamiento diferencial ($p < 0,0001$) en la interacción tratamiento periodos de evaluación. Se obtuvo que el total de estos frutos cayeron entre febrero y agosto, con énfasis en los meses más secos del año (febrero a abril), donde empieza a disminuir con la entrada de los meses con lluvia y la caída de frutos se hace nula, con registros mínimos en aportes de frutos, solo por las especies *C. grandis* y *G. ulmifolia* en junio y *S. macrophylla* en julio (Figura 4).

Tabla 4. Producción anual de frutos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por especie en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) y en una pastura control. Los valores corresponden a promedios \pm error estándar.

Tratamiento	Especie							Total
	<i>D. aristatum</i>	<i>P. maximum</i>	<i>A. saman</i>	<i>C. grandis</i>	<i>G. ulmifolia</i>	<i>S. macrophylla</i>	<i>P. quinata</i>	
P.control	0,00	0,00	-	-	-	-	-	0,00 a
SSP ₁	-	-	372,4 \pm 67,73	356,9 \pm 56,89	28,1 \pm 4,54	-	-	757,4 b
SSP ₂	-	-	248,2 \pm 40,55	403,8 \pm 67,03	71,2 \pm 11,40	-	-	723,2 b
SSP ₃	-	-	416,0 \pm 72,80	280,5 \pm 36,34	60,2 \pm 11,38	3,0 \pm 0,58	8,5 \pm 1,33	756,7 b

Letras minúsculas diferentes en la columna del Total indican diferencias significativas en la masa seca de frutos entre tratamientos. Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).



Las barras verticales en cada observación representan el error estándar.

Figura 4. Distribución mensual de la producción de frutos de base seca en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃).

Retorno de nutrientes vía hojarasca foliar. Se destacaron los retornos de nitrógeno total por la hojarasca foliar de esta especie en los sistemas silvopastoriles SSP₁ y SSP₂ (~44,4 kg.ha⁻¹.año⁻¹), significativamente mayores ($p=0,02$) a los encontrados en SSP₃, con un retorno anual de 34,8 kg de nitrógeno por hectárea (Tabla 5). El retorno de nitrógeno por la

hojarasca foliar de las especies *G. ulmifolia* y *C. grandis* (11,6-17,7 kg.ha⁻¹.año⁻¹) fue significativamente menor a los registrados en la hojarasca foliar de *A. saman* y significativamente mayor a lo aportado por el material senescente de las gramíneas (*D. aristatum* y *P. maximum*) en el tratamiento P. control (Figura 5a).

Tabla 5. Retorno potencial de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) y en una pastura control.

Tratamientos	Retorno potencial nutrientes (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	C
P. Control	6,8 b	1,1 b	3,0 b	5,1 c	2,5 b	390 b
SSP ₁	71,9 a	3,1 a	13,9 a	57,9 a	7,5 a	1751 a
SSP ₂	76,2 a	2,9 a	13,3 a	52,2 ab	6,8 a	1699 a
SSP ₃	73,6 a	2,7 a	10,6 a	40,7 b	6,3 a	1573 a
C.V. (%)	10,5	8,6	16,9	13,1	12,3	9,3

Letras minúsculas diferentes en la columna indican diferencias significativas en la cantidad del nutriente entre tratamientos. Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). C.V. = coeficiente de variación.

El retorno potencial de fósforo (P) a través de la hojarasca foliar mostró un comportamiento similar al de nitrógeno. El menor retorno de fósforo se presentó en *D. aristatum* (0,25 kg.ha⁻¹.año⁻¹), significativamente menor ($p=0,02$) al de *P. maximum* (0,84 kg.ha⁻¹.año⁻¹) (Figura 5b). En general, los aportes de fósforo fueron mayores en los sistemas silvopastoriles, particularmente por los aportes de *A. saman* (sistemas silvopastoriles, SSP₂ y SSP₃ $\geq 0,98$ kg.ha⁻¹.año⁻¹) y *G. ulmifolia* (sistemas silvopastoriles y SSP₂ $\geq 0,67$ kg.ha⁻¹.año⁻¹). Adicionalmente, los retornos de fósforo en la hojarasca foliar de *S. macrophylla* (0,22 kg.ha⁻¹.año⁻¹), *P. quinata* (0,53 kg.ha⁻¹.año⁻¹) y *C. grandis* (0,63-0,69 kg.ha⁻¹.año⁻¹) no presentaron diferencias significativas con los valores hallados para *D. aristatum* (Figura 5b).

El comportamiento de los nutrientes potasio, calcio y magnesio en la hojarasca de las

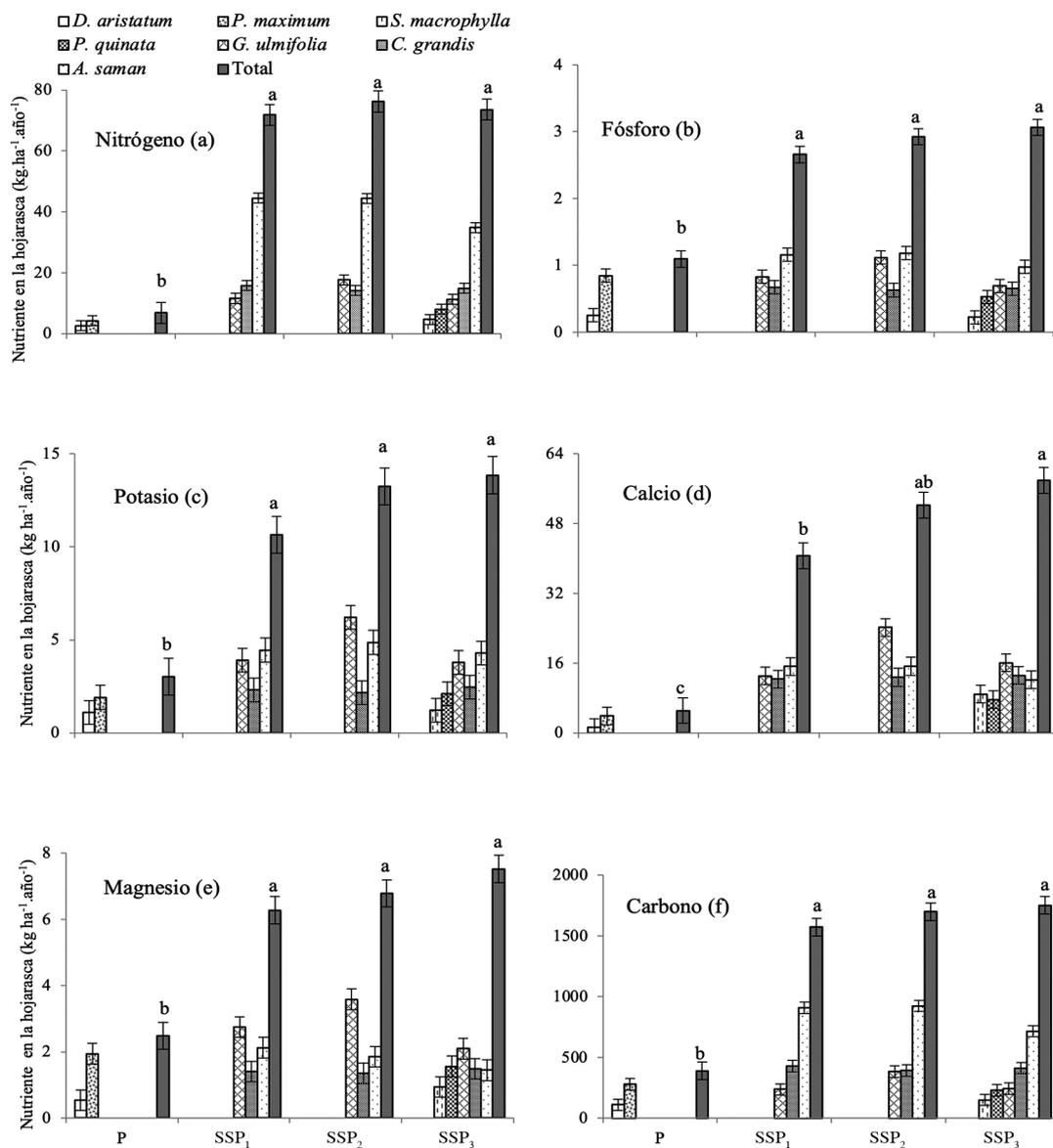
especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles fue diferente a lo hallado para nitrógeno. Los aportes de estos nutrientes por la especie *G. ulmifolia* fueron significativamente mayores que los de las otras especies en el SSP₂, pero no en los otros sistemas silvopastoriles (Figura 5c, d, e). Las diferencias detectadas para los 3 nutrientes (potasio, calcio y magnesio) fueron más evidentes entre las especies arbóreas y *D. aristatum*, que con *P. maximum* ($p < 0,0001$). Los retornos potenciales de potasio, calcio y magnesio por la hojarasca foliar de las especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles también fueron significativamente mayores a los determinados para las gramíneas (Figura 5c, d, e).

Los aportes o retornos potenciales de carbono vía hojarasca foliar dentro de los tratamientos evidenció diferencias significativas ($p < 0,0001$). Los mayores aportes se obtuvieron

dentro de los sistemas silvopastoril, los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 5f). Para el caso de la pastura control, la especie *P. maximum* aportó 2,5 veces más de carbono vía hojarasca foliar que *D. aristatum* (Figura 5f). Los aportes de carbono vía hojarasca foliar de *A. saman* fueron significativamente mayores a los de las otras especies arbóreas en los 3 sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃). Asimismo, los aportes de carbono en la hojarasca de *C. grandis* y *G. ulmifolia* dentro de los SSP mostró comportamiento similar, excepto dentro del sistema SSP₁ donde *G. ulmifolia* mostró comportamiento diferencial respecto a *C. grandis* (Figura 5f). Los aportes de carbono en la hojarasca foliar de *S. macrophylla* y *P. quinata*

fueron de 150 y 230 kg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente (Figura 5f).

En general, el retorno potencial de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) por la hojarasca foliar en los sistemas silvopastoriles fue significativamente mayor que las halladas en la pradera control, con registros de carbono (1674 kg.ha⁻¹.año⁻¹), nitrógeno (73,9 kg.ha⁻¹.año⁻¹), fósforo (2,9 kg.ha⁻¹.año⁻¹), potasio (12,6 kg.ha⁻¹.año⁻¹), magnesio (6,9 kg.ha⁻¹.año⁻¹) y calcio (50,3 kg.ha⁻¹.año⁻¹) (Tabla 5). Por otra parte, en el tratamiento pradera control el retorno potencial de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) fue en promedio de 390 (carbono) > 6,8 nitrógeno > 5,5 calcio > 3,0 potasio > 2,5 magnesio > 1,1 fósforo (Tabla 5).



Las barras verticales en cada columna representan el error estándar. Letras diferentes encima de las columnas de total denotan diferencias significativas ($p < 0,05$), y letras iguales diferencias no significativas entre tratamientos.

Figura 5. Retorno potencial anual de nutrientes vía hojarasca foliar en sistemas silvopastoriles (SSP₁, SSP₂ y SSP₃) y en una pastura control (P).

DISCUSIÓN

En general, los sistemas silvopastoriles permiten un mayor retorno de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Carbono) y producción de hojarasca que los aportes observados en la pastura control. En los sistemas silvopastoriles se destaca la especie *A. Saman*, con un aporte de hojarasca foliar de alrededor del 49% del total de la hojarasca cuantificada, en los sistemas que incluyen esta especie. A esta especie le siguen en orden descendente, en la producción de hojarasca foliar *C. grandis*, con un aporte equivalente al 24% del total, *G. ulmifolia*, *P. quinata* y *S. macrophylla*. La producción de hojarasca de cada especie arbórea fue independiente del sistema silvopastoril que la incluía, es decir no hubo diferencia entre los registros de hojarasca foliar observados en cada sistema silvopastoril, para una misma especie.

La producción de hojarasca foliar observada en estos sistemas silvopastoriles fue menor a la reportada por Báez (2018) en arreglos agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.), abarco (*Cariniana piryformis* M) y teca (*Tectona grandis* L.f.), con valores entre 2484–3279 y 1730–4248 kg.ha⁻¹.año⁻¹ en las especies abarco y cacao, respectivamente y mayores registros que los exhibidos por *T. grandis* (~1300 kg.ha⁻¹.año⁻¹). Como referencia, la producción de hojarasca foliar de *G. ulmifolia* en este estudio (489-797 kg.ha⁻¹.año⁻¹) fue menor a la reportada por Bonilla *et al.* (2008), en estudio realizado en un relicto de bosque seco tropical en el municipio de Codazzi (Cesar, Colombia) donde se encontró que los valores máximos de producción de hojarasca en las especies *Anacardium excelsum* y *G. ulmifolia*, fueron de 1350 y 1180 kg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente; esto podría atribuirse a la baja densidad de árboles (11 árboles de cada especie por ha) dentro de los sistemas silvopastoriles evaluados. Asimismo, en estudios realizados por Xavier *et al.* (2014) en Minas Gerais (Brasil), bajo un sistema silvopastoril con pasto *Brachiaria decumbens* y especies arbóreas *Acacia mangium*, *Mimosa artemisiana* y *Eucalyptus grandis*, se reportó valores de producción de hojarasca foliar

de 5038 kg.ha⁻¹.año⁻¹ en el sistema silvopastoril con densidad arbórea de 198 individuos.ha⁻¹, de 5 años y 3944 kg.ha⁻¹.año⁻¹ en una pradera de *B. decumbens* sin árboles. Otro estudio realizado por Castellanos-Barliza *et al.* (2022) registraron los aportes de hojarasca durante un año en varios remanentes de bosque seco tropical, ubicados en unidades de paisaje contrastantes (Montaña y Lomerío) en el Caribe Colombiano; registraron tasas de caída de hojarasca de 4500 kg.ha⁻¹ y 4900 kg.ha⁻¹ en los paisajes de Montaña y Lomerío, respectivamente; lo cual dependió de las especies vegetales y de la dinámica de la precipitación en estos ambientes. Cabe destacar, que estos registros de hojarasca incluyeron el material leñoso de hasta 2 cm de diámetro, mientras que el presente estudio se cuantificó la hojarasca fina foliar, en los sistemas silvopastoriles (Tabla 3). Asimismo, en condiciones de bosque seco tropical, en Colombia, la producción de hojarasca foliar de *Albizia nipoides*, *Cordia alba* y *Machetium milleflorum*, en un fragmento de bosque urbano, correspondieron al 55% (4700 kg.ha⁻¹.año⁻¹) del total de la hojarasca observada en este sistema (Castellanos *et al.* 2018).

En estudios similares Pimenta *et al.* (2011) registraron aportes anuales de hojarasca fina de 5341 y 8212 kg.ha⁻¹ en una reforestación y en un bosque caducifolio, respectivamente, en el estado de Paraná en el sur de Brasil. Asimismo, en la zona cafetera de Colombia, en plantaciones de coníferas y en bosque secundario se registraron producciones de hojarasca de 5190 y 6150 kg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente (Gómez 2011).

La producción de hojarasca varía según las especies vegetales que conforman los sistemas, así como también las condiciones ambientales donde se desarrollan. Florez *et al.* (2013), reportaron que la producción de hojarasca fina en plantaciones de *Azadiractha indica*, en suelos altamente erosionados en zonas secas de Antioquia - Colombia, fue de 557,5 kg.ha⁻¹. En contraste, Celentano *et al.* (2011) bajo condiciones de bosque húmedo tropical premontano, en el sur de Costa Rica, reportaron producciones anuales de hojarasca foliar de 5400 kg.ha⁻¹ en plantaciones

mixtas con las especies *Inga eudiles*, *Erythrina poeppigiana*, *Vochysia guatemalensis* y *Terminalia amazonia*, con aportes correspondientes al 70%, 15%, 5% y 3%, respectivamente; asimismo, la gramínea con un aporte del 2% del total, y el resto a otros materiales no identificados. En el mismo estudio, determinaron que la producción de hojarasca foliar, de las mismas especies en bosquetes o islas fue de 3060 kg.ha⁻¹.año⁻¹, cuya variación está en función de la densidad de los árboles y el tipo de estructura de cada sistema. Adicionalmente, registraron aportes anuales de hojarasca de 5430 kg.ha⁻¹ y de 1230 kg.ha⁻¹, en un bosque secundario (7-9 años) de regeneración natural y un bosque de regeneración natural (3-5 años), respectivamente.

La producción de hojarasca foliar o material senescente de las pasturas (*D. aristatum* y *P. maximum*), en la pradera control de este estudio, exhibió un patrón de caída constante e independiente de la época del año, con registros mensuales medios de 53 kg.ha⁻¹. En contraste, las especies arbóreas mostraron un patrón estacional de aporte de hojarasca foliar, con el mayor pico de producción en la época más seca del año (diciembre a febrero). Este comportamiento, también ha sido observado para otras especies en diferentes ambientes, tal como lo evidenciaron Paudel *et al.* (2015) en monitoreos realizados en bosques maduros, bosques de regeneración y un monocultivo de Té en Yunnan (China), bajo condiciones de bosque húmedo tropical montano. Ahí reportaron que el mayor pico de producción de hojarasca para los hábitats de bosque ocurre durante la estación seca (marzo a mayo), con registros anuales de hojarasca foliar alrededor de 7100 kg.ha⁻¹, mientras que en el monocultivo de Té el aporte fue de 2400 kg.ha⁻¹.año⁻¹ y no mostró un patrón específico de caída de hojarasca a lo largo del año.

La producción anual de frutos (750 kg.ha⁻¹), registrada por las especies arbóreas dentro de los sistemas silvopastoriles de este estudio, se considera de mucha importancia para la nutrición de los bovinos, debido a que estos aportes de frutos se presentan entre febrero y agosto,

lo que coincide con parte de la época seca del año. En este sentido, estos sistemas contribuyen favorablemente a la disponibilidad de alimento en la época de menor precipitación y disponibilidad de forraje en las praderas que se presenta en esas condiciones, tal como lo reporta Mejía *et al.* (2019) en el área de estudio.

La dinámica de producción y descomposición de hojarasca foliar y el consecuente retorno potencial de nutrientes dependen de factores ambientales como temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, entre otros; así como también del tipo de especie vegetal, de la densidad de siembra y edad del sistema donde estas se encuentren (Martínez-Atencia *et al.* 2020, Birhane *et al.* 2019). En este sentido, la producción de hojarasca foliar de *A. saman* en esta investigación, exhibió correlación negativa con la temperatura y la velocidad del viento. Asimismo, Murovhi *et al.* (2012) se evidenció correlación positiva entre las variables ambientales humedad atmosférica y temperatura, con la producción de hojarasca de *Persea americana*, mientras que se observó correlación entre la producción de hojarasca con variables de crecimiento (diámetro a la altura de pecho, diámetro de copa y altura total) de las especies *Mangifera indica* y *Litchi chinensis*.

En este estudio la especie *A. saman* presentó los mayores retornos potenciales de carbono, nitrógeno y fósforo, en tanto que los mayores retornos de calcio, magnesio y potasio fueron aportados por la hojarasca foliar de *G. ulmifolia*. Seguidamente, se destacan las especies *S. macrophylla* y *P. quinata* con retornos intermedios de nutrientes y los menores registros en estos sistemas fueron exhibidos por las pasturas (*P. maximum* y *D. aristatum*). Estos resultados demuestran que los sistemas silvopastoriles evaluados, retornan potencialmente mayor cantidad de nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) al suelo, a través de la hojarasca foliar, que lo retornado por la pastura control. Estos mayores aportes resultan en conjunto de la mayor producción de hojarasca foliar en los sistemas silvopastoriles, y de la mayor

concentración de nutrientes de esta fracción (Martínez-Atencia *et al.* 2020).

El mayor retorno potencial de nutrientes se registró en la época seca del año, lo cual es consecuente con las mayores producciones de hojarasca foliar en esta época. Asimismo, en los sistemas silvopastoriles se observó el mayor retorno anual de carbono vía hojarasca foliar (1674 kg.ha⁻¹), en comparación con lo registrado en la pastura control (390 kg.ha⁻¹). Las especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles retornaron anualmente alrededor de 147 kg.ha⁻¹ de nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio), en contraste la pastura control retornó 19 kg.ha⁻¹. Los retornos de N en los sistemas silvopastoriles corresponden al 50% del total de los retornos de nutrientes en estos sistemas, donde juega un papel importante la especie *A. saman*, por su capacidad de retornar N en su hojarasca foliar. Esta especie presentó el mayor retorno de N en los sistemas silvopastoriles SSP₁ y SSP₂. Se infiere que el mayor número de especies en el sistema silvopastoril SSP₃ pudo generar competencia por recursos bióticos, lo que incidió en menor producción de hojarasca foliar y consecuentemente menor retorno potencial de nutrientes. Asimismo, se registraron retornos anuales potenciales de otros nutrientes, vía hojarasca foliar de las especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles, como calcio (50 kg.ha⁻¹), potasio (13 kg.ha⁻¹), magnesio (7 kg.ha⁻¹) y fósforo (3 kg.ha⁻¹). La baja cantidad de fósforo que retorna puede estar asociada a la baja disponibilidad de este elemento en el suelo (Tabla 2), lo que podría conducir a una inmovilización biológica del elemento, y de hecho las plantas pueden acudir a la estrategia de reabsorberlo previo desprendimiento foliar, como mecanismo de conservación del nutriente por parte de la planta (Machado *et al.* 2016, Gallardo *et al.* 2009). Los sistemas silvopastoriles retornan potencialmente mayor cantidad de nutrientes por año (nitrógeno: 73,9; fósforo: 2,9; potasio: 12,6; calcio: 40,7-57,9; magnesio: 6,9 kg.ha⁻¹) que la pastura control (nitrógeno: 6,8; fósforo: 1,1; potasio: 3; calcio: 5,5; magnesio: 2,5 kg.ha⁻¹).

En un fragmento de bosque urbano, en bosque seco tropical, Castellanos *et al.* (2018) determinaron retornos potenciales de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y potasio en la hojarasca fina de las especies *A. niopoides*, *M. milleflorum* y *C. alba*, con registros medios anuales (kg.ha⁻¹) de nitrógeno: 9,4, fósforo: 0,6, calcio: 20, magnesio: 6,4 y potasio: 6,6. En estudios realizados por Paudel *et al.* (2015), en sistemas de bosque tropical lluvioso, el retorno de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) fue mayor en hábitats forestales (carbono: 3.200, nitrógeno: 98, calcio: 63, potasio: 36, magnesio: 16, fósforo: 8,1), que en una plantación monocultivo de Té (carbono: 1.048, nitrógeno: 31, calcio: 22, potasio: 11, magnesio: 5,6, fósforo: 3,1). Los resultados anteriormente expuestos, se ajustan en magnitud y en orden a los retornos de nutrientes encontrados en el presente estudio, donde se destaca el P como el elemento con los menores retornos potenciales.

Las especies vegetales y el clima determinan en gran medida la producción de hojarasca y el consecuente retorno de nutrientes en los sistemas donde estas se encuentran establecidas. En este sentido, en el presente estudio se destacó la especie *A. saman*, con los mayores aportes de carbono (~ 800 kg.ha⁻¹.año⁻¹) y nitrógeno (~ 40 kg.ha⁻¹.año⁻¹), con respecto a las otras especies. Lo anterior se reviste de mayor importancia al considerar el almacenamiento de carbono, el mejoramiento de las condiciones del suelo y el desarrollo de las especies vegetales al disponer potencialmente de nitrógeno en estos ambientes (Espinosa *et al.* 2020, Contreras *et al.* 2019, Gallardo *et al.* 2009).

El entender la funcionalidad de los sistemas silvopastoriles, y cada uno de los elementos presentes, ayuda a valorar las dinámicas biológicas internas, como es el caso de las especies leñosas perennes (árboles o arbustos), capaces de producir altos volúmenes de biomasa foliar (hojarasca) y su posterior descomposición, incrementa la fertilidad del suelo (ciclaje de nutrientes), (Martínez-Atencia *et al.* 2020, Contreras *et al.* 2019, Upson *et al.* 2016, Casals *et al.* 2014, Martínez *et al.* 2014), control de malezas, almacenamiento de carbono,

conservación de los hábitats de muchas especies de fauna (Shibu 2012). De esta manera, los resultados de este trabajo permitieron comprender el funcionamiento de los sistemas silvopastoriles evaluados e identificar los de mayor potencial para retornar nutrientes bajo condiciones del bosque seco tropical y orientar su implementación en sistemas de producción ganadera en la Región Caribe Colombiana.

CONCLUSIÓN

El conjunto de especies vegetales dentro de los sistemas silvopastoriles genera mayor cantidad de hojarasca foliar y nutrientes que las gramíneas en la pastura control. Asimismo, la producción de hojarasca foliar fue especie-dependiente e independiente de la combinación con otras especies dentro de cada sistema silvopastoril.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, dentro del proyecto 200705209-866/1466, liderado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA.

LITERATURA CITADA

- Báez, EY. 2018. Producción y aporte de nutrientes en la hojarasca de las especies abarco (*Cariniana piryformis* M), teca (*Tectona grandis* L.f.) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal en los municipios de Rionegro, Santander y Muzo, Boyacá. Tesis M.Sc. Agroforestería Tropical. Bogotá, Colombia, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. 80 p.
- Birhane, E; Desalegn, T; Kebede, F; Giday, K; Hishe, H; Hadgu, KM. 2019. Insitu leaf litter production, decomposition and nutrient release of dry Afromontane tres. *East African Agricultural and Forestry Journal* 83(3):176-190.
- Bonilla, R; Roncallo, B; Jimeno, J; García, T. 2008. Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp. en Codazzi, Cesar. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 9(2):5-11.
- Cajas, YS; Sinclair, FL. 2001. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pasture in the Caribbean region of Colombia. *Agroforestry Systems* 53:215-225.
- Casals, P; Romero, J; Rusch, GM; Muhammad, I. 2014. Soil organic C and nutrient contents under trees with different functional characteristics in seasonally dry tropical silvopastures. *Plant Soil* 374:643-659.
- Castellanos-Barliza, J; Carmona-Escobar, V; Linero-Cueto, J; Ropain-Hernández, E; León-Peláez, JD. 2022. Fine litter dynamics in tropical dry forests located in two contrasting landscapes of the Colombian Caribbean. *Forests* 13:660. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13050660>
- Castellanos, J; León, JD; Armenta, R; Barranco, W; Caicedo, W. 2018. Contributions of organic matter and nutrients via leaf litter in an urban tropical dry forest fragment. *Revista Biología Tropical* 66(2):571-585.
- Celentano, D; Zahawi, RA; Finegan, B; Ostertag, R; Cole, RJ; Holl, KD. 2011. Litterfall dynamics under different tropical forest restoration strategies. *Biotropica* 43:279-287.
- Contreras, JL; Martínez, J; Cadena, J; Falla, CK. 2019. Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe Colombiano. *Agronomía Costarricense* 44(1):29-41.
- Del Valle-Arango, JI. 2003. Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina de bosques pantanosos del pacífico sur Colombiano. *Interciencia* 28:443-449.
- Espinosa, MR; Contreras, JL; Cadena, J; Martínez, J; Jaramillo, CI; Hurtado, MP. 2020. Methane fluxes in soils with pasture covers in the North of Colombia. *Agronomía Mesoamericana* 31(2):291-309.
- Florez, CP; León, JD; Osorio, NW; Restrepo, MF. 2013. Dinámica de nutrientes en plantaciones forestales de *Azadirachta indica* (Meliaceae) establecidas para restauración de tierras degradadas en Colombia. *Biología Tropical* 61(2):515-529.
- Gallardo, A; Covelo, F; Morillas, L; Delgado, M. 2009. Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas* 18(2):4-19.
- Gómez, M. 2011. Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistémicos entre plantaciones forestales y bosques secundarios subandinos. Tesis M.Sc. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 72 p.
- Holdridge, L. 2000. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. 225 p.
- IDEAM-UDCA (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales). 2015. Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en

- Colombia - 2015. Bogotá D.C., Colombia, IDEAM – MADS. 62 p.
- Machado, MR; Sampaio, P. de TB; Ferraz, J; Camara, R; Pereira, MG. 2016. Nutrient retranslocation in forest species in the Brazilian Amazon. *Acta Scientiarum. Agronomy* 38(1):93-101. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i1.26805>
- Martínez-Atencia, J; Loaiza, JC; Osorio, NW; Correa, G; Casamitjana, M. 2020. Leaf litter decomposition in diverse silvopastoral systems in a neotropical environment. *Journal of Sustainable Forestry* 39:710-729.
- Martínez, J; Cajas, YS; León, JD; Osorio, NW. 2014. Silvopastoral systems enhance soil quality in grasslands of Colombia. *Applied and Environmental Soil Science Article ID 359736*. 1-8 p. DOI: [10.1155/2014/359736](https://doi.org/10.1155/2014/359736)
- Mejía, S; Suárez, E; Martínez, J; Atencio, L; Sánchez, D; Pérez, JE; Aguayo, L; Mestra, LI; Cuadrado, H; Martínez, AM; Sánchez, L; Rodríguez, JL; Mayorga, O; Doria, M; Pérez, JV; Paternina, Y; Garrido, JF; Fernández, JC; Mejía, J; Medina, D; Ariza, C; Sierra, AM; Mancipe, E; Parra, D. 2019. Modelo productivo de carne bovina en la región Caribe colombiana. Mosquera, Colombia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). 171 p. DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.740-272-8>
- Mora, MA; Ríos-Pescador, L; Ríos-Ramos, L; Almario, JL. 2017. Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería Y Región* 17:1-12.
- Murovhi, NR; Materechera, S; Mulugeta, S. 2012. Seasonal changes in litter fall and its quality from three subtropical fruit tree species at Nelspruit, South Africa. *Agroforestry Systems* 86:61-71.
- Paudel, E; Dossa, GGO; Xu, J; Harrison, RD. 2015. Litterfall and nutrient return along a disturbance gradient in a tropical montane forest. *For. Ecol. Manage* 353:97-106.
- Pimenta, JA; Rossi, LB; Torezan, JMD; Cavalheiro, AL; Bianchin, E. 2011. Producao de serapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma floresta estacional semidecidual no sul do Brasil. *Acta Botanica Brasílica* 25:53-57.
- Shibu, J. 2012. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry Systems* 85:1-8.
- Upton, MA; Burgess, PJ; Morison, JIL. 2016. Soil carbon changes after establishing woodland and agroforestry trees in a grazed pasture. *Geoderma* 283:10-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.002>
- Xavier, DF; Da Silva Le' do, FJ; Paciullo, DSC; Urquiaga, S; Alves, BJ; Boddey, RM. 2014. Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutr Cycl Agroecosyst* 99:45-62.



Agronomía Costarricense. Universidad de Costa Rica. Se encuentra licenciada con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr

EVALUACIÓN DE UN NEMATICIDA BIOLÓGICO Y UN BIOESTIMULANTE RADICAL SOBRE *Meloidogyne exigua* EN CAFÉ EN NARANJO, COSTA RICA*

Andrea Quirós-Castro^{1/**}, Walter Peraza-Padilla²

Palabras clave: *Coffea arabica*; nematodo agallador; nematocida biológico.

Keywords: *Coffea arabica*; root-knot nematode; biological nematicide.

Recibido: 24/06/22

Aceptado: 04/08/22

RESUMEN

Introducción. *M. exigua* ocasiona pérdidas importantes en el cultivo del café (*Coffea arabica*). Una práctica común para su control, es el uso de productos químicos que, en ocasiones, no son suficientemente efectivos, son además costosos y tóxicos para el humano y el ambiente. **Objetivo.** Evaluar un nematocida biológico y un bioestimulante radical como una alternativa para reducir las poblaciones de *M. exigua* en el cultivo de café. **Materiales y métodos.** Se evaluaron cuatro tratamientos: un nematocida biológico, un bioestimulante radical, un testigo químico terbufos (TQ) y un testigo absoluto (TA) en plantas de café de tres años donde se realizaron los muestreos de nematodos en suelo y raíz. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Para el conteo

de *M. exigua* antes y después de la aplicación de los tratamientos, se recurrió al modelo lineal generalizado con distribución binomial negativa de los residuos (Proc GenMod de SAS 9.2). **Resultados.** No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, es decir, ninguna de las alternativas evaluadas logró disminuir la población de nematodos, por el contrario, las poblaciones aumentaron después de tres meses de la aplicación de los productos. El uso del nematocida biológico aumentó las poblaciones en un 88%, el TQ en un 30%, el bioestimulante radical en un 137% y por último, el TA la aumentó en un 134%. Una razón de la baja eficacia podría estar relacionada con el número de aplicaciones de los productos. **Conclusión.** Por lo anterior, es necesario buscar nuevas y eficaces alternativas para el combate de nematodos.

* Esta investigación formó parte de los resultados del trabajo final de graduación de Licenciatura en Agronomía de la primera autora. Universidad Nacional (UNA), Costa Rica.

** Autora para correspondencia. Correo electrónico: andrea.quirós.castro@est.una.ac.cr

1 Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
 0000-0002-1761-9710.

2 Universidad Nacional, Laboratorio de Nematología, Heredia, Costa Rica.
 0000-0003-4651-5555.

ABSTRACT

Evaluation of a biological nematicide and a root biostimulant on *Meloidogyne exigua* in coffee in Naranjo, Costa Rica. Introduction. *M. exigua* causes important losses in the cultivation of coffee (*Coffea arabica*). A common practice for its control is the use of chemical products that sometimes are not effective, are also expensive and toxic for humans and the environment. **Objective.** To evaluate a biological nematicide and a radical root biostimulant as an alternative to reduce populations of *M. exigua* in coffee cultivation. **Materials and methods.** Four treatments were evaluated: a biological nematicide, a root biostimulant, a chemical control terbufos (TQ) and an absolute control (TA) in three-year-old coffee plants in which nematodes were sampled in soil and

root. A randomized complete block design with four treatments and four replications was used. For the count of *M. exigua* before and after treatments application, the generalized linear model with negative binomial distribution of the residuals (Proc GenMod of SAS 9.2) was used. **Results.** No significant differences were found between treatments, that is, none of the evaluated alternatives managed to reduce the population of nematodes, on the contrary, the populations increased after three months of application. The use of the biological nematicide increased population by 88%, TQ by 30%, root bioestimulant by 137%, and finally, TA by 134%. **Conclusion.** One reason for the low efficacy could be related to the number of applications of the products. Therefore, it is necessary to look for new and effective alternatives to combat nematodes.

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los principales cultivos industriales y su fruto, una de las bebidas más consumidas en el mundo y millones de personas dependen directa o indirectamente de la producción y venta de este cultivo como medio de subsistencia (ICAFE 2021). De acuerdo con cifras de la Organización Mundial del Café (OIC), durante el periodo 2020-2021, se produjeron a nivel mundial, 169.64 millones de sacos de café de 60 kg (OIC 2020). Asimismo, datos porcentuales de esta institución para México y Centroamérica, determinaron que hubo una producción de 19.195 mil sacos de 60 kg para el periodo de cosecha 2020-2021; de ellos Honduras tuvo una participación del 31,3%, seguido de México con un 20,8%, Guatemala 18,2%, Nicaragua 13,8%, Costa Rica 7,6%, El Salvador 3,1% y otros con un 5,2%.

En Costa Rica, este fruto ha sido a lo largo de la historia un pilar fundamental para la sociedad costarricense, como un motor para su desarrollo y economía nacional donde logró

para el periodo de cosecha 2020-2021 un total de 1 472 202 sacos de 60 kilogramos (kg) (USDA 2021). Por este motivo, es que en Costa Rica el café se conoce como el “Grano de Oro” (Aguilar 2012). Esta actividad agrícola, se encuentra en su mayoría en manos de medianos y grandes cafetaleros, los cuales representan aproximadamente el 20% de los productores nacionales.

El cultivo de café no escapa a problemas en su producción debido a condiciones climáticas desfavorables así como a enfermedades y plagas, entre estas últimas se encuentran los nematodos fitoparásitos. La afectación de estos microorganismos está asociada a la alteración y destrucción del sistema radical, donde afectan la absorción de agua y nutrientes. Se estima que las pérdidas económicas anuales generadas por esta plaga son cercanas al 20% (Sasser y Freckman 1987). La permanencia activa de los caficultores se encuentra sujeta a una producción rentable, lo que conduce a incrementar la eficiencia en la relación costo-beneficio del uso de la tierra y prácticas de cultivo como uso de nematicidas, pesticidas y fertilizantes (Araya 1994).

El uso de nematicidas en el cultivo del café como el Counter, es una práctica común que genera un costo económico y un efecto negativo a la salud humana y al ambiente (Franco 1986). Hasta junio de 2022 se encontraban registrados en el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), algunos nematicidas para uso en café. Los diferentes productos son formulados a base de fluopyram, fenafifos, etoprofos y oxamil. Todos esos ingredientes activos se clasifican como alta o extremadamente peligrosos y en Costa Rica su venta es restringida, sólo bajo receta profesional (SFE 2022). Otro grupo de ingredientes activos han sido retirados del mercado, o su uso está fuertemente restringido y conlleva a los agricultores a la dificultad de no poder contar con soluciones que sean efectivas y compatibles con los requerimientos actuales (Navia 1999). En este sentido, es necesario buscar nuevas y eficaces opciones para el combate de nematodos, ya que es uno de los problemas más importantes en la reducción de la producción cafetalera (Araya 1990). Dentro de las alternativas al uso de agroquímicos existen los bioestimulantes, biofertilizantes, extractos naturales de plantas, biopesticidas dentro de los cuales destacan bacterias como *Bacillus* y *Pasteuria penetrans*, hongos como *Purpureocillium lilacinus*, *Arthrobotrys irregularis* y *Trichoderma* (Novasys 2015). Estos agentes de control además de constituir una opción amigable con el ambiente, tienen un efecto sobre el crecimiento, desarrollo de las plantas.

Para disminuir las poblaciones de nematodos el ICAFE utilizó algunas alternativas biológicas, como extracto de *Tagetes erecta*, *Burkholderia cepacia* y *B. fluorescens* en los cantones de Poás de Alajuela y Tarrazú en San José; no obstante, no encontraron efectos positivos en la aplicación. Asimismo, en otros ensayos utilizaron hongos como *Trichoderma* sp., *Purpureocillium lilacinus* y bacterias como *Streptomyces* sp. y *Burkholderia cepacia* sin observar resultados en el efecto de estos microorganismos (Rojas 2010).

La búsqueda de opciones para combatir los nematodos en café es de suma importancia,

ya que en este cultivo se encuentra el nematodo agallador de la raíz *Meloidogyne*, que ocasiona grandes pérdidas entre 10 y 24% en el rendimiento de cafetales de América Latina (Araya 1990). Este microorganismo está presente en la mayoría de las zonas cafetaleras de Costa Rica (Calderón 2013).

Es importante, buscar nuevas alternativas eficaces y amigables con el ambiente para disminuir las poblaciones de nematodos en café. Por lo anterior el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de un nematicida biológico y un bioestimulante radical contra *M. exigua* en plantaciones de café en Naranjo, Alajuela, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y periodo del experimento.

El ensayo se realizó en la Hacienda Pilas, en el distrito de San Jerónimo, cantón de Naranjo en la provincia de Alajuela durante agosto a diciembre de 2017. Este sitio se ubica en las siguientes coordenadas 10095908,-84.366076. Según las zonas de vida de Holdridge la finca pertenece al bosque húmedo-premontano (bh-P).

Se utilizaron plantas de café de 3 años de siembra, las cuales en 2015 presentaban una densidad poblacional de 70 000 juveniles de *Meloidogyne* spp. en 100 g de raíz, por lo que se optó por realizar una aplicación del insecticida-nematicida sistémico Terbufos. Además, al lote se le realizó 3 fertilizaciones, 2 completas 16-2-6 y una nitrogenada, esto con el fin de proveer los nutrientes que el cultivo necesita y así obtener frutos de mejor calidad (FAO 2002). Asimismo, se realizaron 3 aplicaciones foliares con triazoles y con los elementos Calcio, Boro y Zinc para ayudar a que la planta en su crecimiento y lograr un mejor rendimiento en la cosecha del siguiente año.

Para el control de malezas, se aplicó Glifosato y fue anegada, es decir, como parte del manejo de la finca se aplicó riego en abril para inducir la floración. De acuerdo con el ICAFE (s.f.) en abril el suelo en el Occidente

del país presentó un déficit hídrico acumulado superior a 100 mm, con el cual la planta estaba preparada para una apertura floral uniforme una vez que recibía el estímulo de la lluvia o el riego adecuado.

Tratamientos. Se evaluaron 4 tratamientos, el primero fue un nematicida biológico de amplio espectro compuesto por *Bacillus subtilis* (1×10^8 UFC.mL⁻¹) (38%), conidios de *Purpureocillium* spp. (1×10^3 UFC.mL⁻¹) (30%), conidios de *Trichoderma* spp. (1×10^3 UFC.mL⁻¹), (10%), extracto de *Tagetes erecta* (8%) y aditivos orgánicos y diluyentes (14%). El segundo fue un bioestimulante radical compuesto por Nitrógeno (0,80%), Fósforo (0,11%), Potasio (0,04%), Magnesio (0,60%), Azufre (0,19%), Boro (0,10%), Hierro (0,16%), proteínas (10,0%), polisacáridos (10,0%) e ingredientes inertes (78,0%) el cual fortalece la sanidad de las raíces del cultivo, mejora la capacidad de asimilación de los nutrientes y disminuye el riesgo por ataque de agentes externos. El tercer producto fue Terbufos (testigo químico), un insecticida-nematicida sistémico organofosforado con acción de contacto que interfiere la transmisión de los impulsos nerviosos por inhibición de la colinesterasa. Finalmente, un testigo absoluto (TA) que fue el tratamiento que en el que no se aplicó ningún producto, únicamente agua.

Aplicación de productos en campo. Las 210 plantas (parcela efectiva) de los 4 tratamientos recibieron el mismo manejo agronómico (productos fitosanitarios, dosis de fertilizantes granulados, aplicación de herbicidas, etc.) y cultural (chapeas, deshierbas, etc.). Durante setiembre y diciembre de 2016, se realizaron fumigaciones con aspersores de mochila manuales. La diferencia en el uso de productos en el campo consistió en la aplicación de cada uno de ellos, en los siguientes tratamientos:

Nematicida biológico. Según la etiqueta del producto, se debe fermentar en una solución de materia orgánica a base de compuestos de C:N, para lo cual se utilizó melaza. Esta solución se oxigenó al agitar varias veces al día por 48-72 horas. La dosis del producto que se utilizó fue

de 4 L.ha⁻¹ la cual también se aplicó al suelo en horas de la mañana.

Bioestimulante radical. Se diluyó en el mismo envase con la adición y posterior mezcla con agua, luego se agregó al equipo aspersor. En algunas ocasiones quedó algún remanente del producto en el fondo del envase por lo que se repitió la operación de lavado. La dosis empleada fue de 200 g.ha⁻¹ y se aplicó directamente en el suelo en horas de la mañana.

Terbufos. Se utilizó como testigo químico a una cantidad de 10 g de producto alrededor de toda la planta.

Testigo absoluto. Tratamiento al cual no se le aplicó ningún producto, únicamente agua.

EVALUACIONES

Muestreo de nematodos. De plantas de 3 años, se tomaron muestras de suelo a 30 cm de profundidad dentro de la zona de sombra. Con la ayuda de una pala se hizo un hoyo en forma de V y se tomó aproximadamente 200 cm³ de suelo por muestra de 3 cm de espesor. En el caso de raíz, se recolectó 15 g por planta a una profundidad de 0-30 cm (según la profundidad de las raíces) de la rizosfera hasta completar aproximadamente 500 g de raíz. Una vez tomadas las muestras, se colocaron dentro de una bolsa plástica con la identificación del lote y fecha de colecta. Asimismo, cada muestra se colocó en una hielera para evitar cambios bruscos en la temperatura y posteriormente, se trasladaron al Laboratorio de Nematología de la Escuela de Ciencias Agrarias (ECA) de la UNA, para el procesamiento e identificación de la población de *Meloidogyne*.

Extracción de nematodos. Cada muestra de suelo fue homogenizada y cuarteada hasta obtener una submuestra de 100 cm³. Para el caso de raíz, fue lavada, cuarteada y picada en pequeños fragmentos; se tomó una submuestra de 10 g y se licuó a alta velocidad por 30 segundos. Ambas muestras se procesaron por el método de centrifugación-flotación (Jenkins 1964).

Las primeras 32 muestras se tomaron y analizaron en agosto de 2016 con el fin de determinar las densidades poblacionales iniciales de la parcela, luego se procedió a aplicar los productos indicados anteriormente (biológicos y químicos). Posteriormente, en diciembre se recolectaron una vez más 32 muestras de cada tratamiento. Nuevamente, se realizaron los muestreos y se analizaron en el Laboratorio de Nematología de la ECA-UNA.

Conteo e identificación de la población de nematodos. Se realizó el conteo de la población de nematodos (juveniles) antes y después de cada aplicación en los distintos tratamientos con un microscopio invertido Olympus CKX41. Luego, se comparó la morfología de los individuos con las descripciones e ilustraciones de Mai *et al.* (1964) para lograr una correcta identificación de *M. exigua*. Asimismo, se tomaron 25 individuos a los cuales se les determinó las siguientes mediciones e índices: la longitud del cuerpo (L), diámetro del ancho máximo del cuerpo (MBW), diámetro del cuerpo en la región anal (ABW), longitud del estilete (E), ancho de la región labial (LRW), longitud de la base de los nódulos hasta el orificio de la glándula esofágica dorsal (DEGO), distancia desde la base del estilete hasta el poro excretor (o), longitud del esófago (Le), longitud de la cola (Lc) y longitud de la porción hialina de la cola (Ph). Además, se obtuvo algunas relaciones tales como a: (L/MBW), b: (L/Le), c: (L/Lc), c': (Lc/ABW). También, se realizó un análisis molecular donde se amplificó una región entre la subunidad II de la citocromo oxidasa (COII) y el gen 16S del ADN mitocondrial (ADNmt) mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). Con los productos resultantes de la PCR, se procedió a realizar un análisis de Polimorfismo de la Longitud de los Fragmentos de Restricción (RFLP) donde los productos de PCR fueron cortados con la enzima de restricción *DraI* la cual reconoce el sitio de corte en la secuencia de *M. exigua* (Powers *et al.* 2005).

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones

y 4 tratamientos, para controlar todos los factores que pudieran afectar a la variable observada incluso la reducción del error experimental (Figura 1).

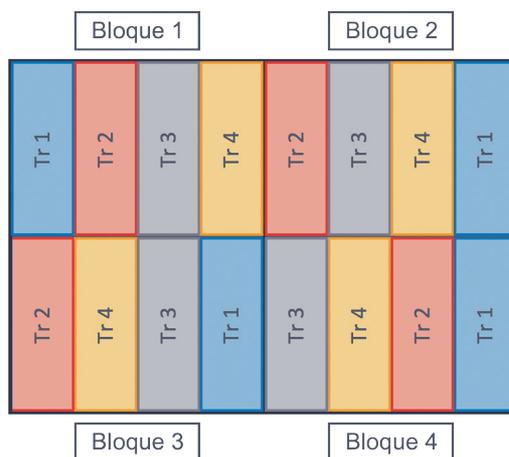


Figura 1. Croquis de diseño experimental de bloques completos con 4 repeticiones por tratamiento. Naranjo, Alajuela, Costa Rica. 2017.

La unidad experimental correspondió a una parcela de plantas de café el área total del ensayo fue de 9590.162m² donde cada planta tenía una distancia de entre 1 m y 2 m entre calles. El área de la parcela efectiva fue de 1680m² y consistió en 5 calles de las cuales se tomaron 3 hileras del centro para un total de 210 plantas, en donde se dejó una hilera en cada borde por tratamiento.

Para el análisis de nematodos se realizaron muestreos al azar en las 3 hileras del centro de cada tratamiento y se homogenizaron. Se realizaron 4 réplicas y 4 repeticiones por tratamiento, es decir, 16 muestreos de suelo y raíz.

Análisis estadístico. Para el análisis de los datos de conteos de *M. exigua* en suelo y raíz, se recurrió al modelo lineal generalizado con distribución binomial negativa de los residuos (Proc GenMod de SAS 9.2). Este análisis

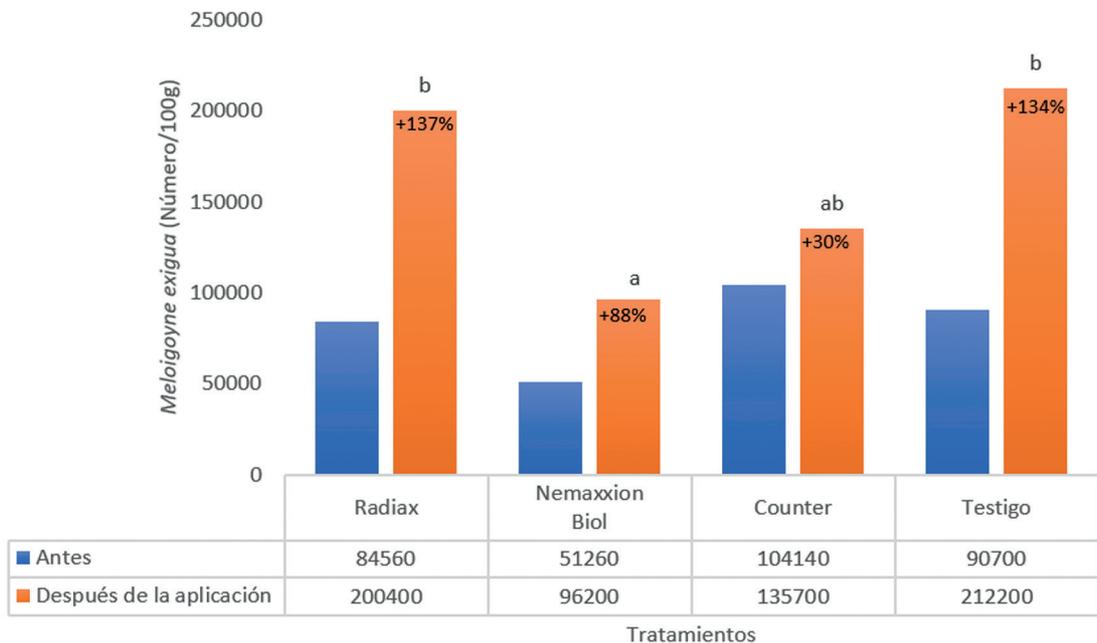
se realizó antes y después de la aplicación de los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del nematicida biológico y el bioestimulante radical sobre juveniles de una población de *M. exigua* en raíz. No hubo diferencias significativas en la población de juveniles en el muestreo inicial que se realizó previo a la aplicación de productos. Posteriormente a la aplicación, se observó un efecto significativo ($p < 0,0193$) entre tratamientos, donde el nematicida biológico presentó diferencias con respecto al

bioestimulante radical y al testigo absoluto (TA). En el caso del Terbufos, bioestimulante radical y el testigo, no presentaron diferencias entre ellos (Figura 2).

En el primer muestreo de nematodos se determinó una menor densidad poblacional de *M. exigua*, mientras que después de la aplicación de nematicidas (segundo muestreo) hubo un aumento de *M. exigua* en todos los tratamientos. En el caso del nematicida biológico y Terbufos hubo un incremento del 88% y 30% respectivamente, mientras que para el bioestimulante radical y el testigo absoluto (TA) fue de 137% y 134% respectivamente (Figura 2).



Columnas con letras iguales no difieren estadísticamente ($P > 0,05$) $n=4$

Figura 2. Población de *M. exigua* en 100 g de raíz antes y después de la aplicación de los productos. Naranjo, Alajuela, Costa Rica. 2017.

A partir de los 3 meses de la aplicación del nematicida biológico, no existió un efecto sobre las poblaciones de nematodos, ya que a pesar del uso de los productos, ninguno de ellos logró disminuir las poblaciones en comparación a la cantidad de nematodos que se encontró en el primer muestreo, es decir, antes de la aplicación. Por ejemplo, antes de la aplicación de los productos, se contabilizaron 84 560, 51 260, 104 140 y 90 700 juveniles en 100 g de raíz en los tratamientos bioestimulante, nematicida biológico, nematicida químico y el testigo absoluto respectivamente. Luego de la aplicación se determinó una densidad poblacional de 200 400, 96 200, 135 700 y 212 200 en el bioestimulante en 100 de raíz, el bioestimulante, nematicida biológico, nematicida químico y el testigo absoluto.

Según el hábito alimenticio y ciclo de vida de *M. exigua*, es un nematodo endoparásito, es decir, sus funciones vitales las efectúa dentro de la raíz, por lo que su frecuencia en suelo es menor que en el sistema radical. El nematodo al estar en el suelo por un corto tiempo (mientras ingresa a la raíz) evita que cualquier producto ya sea químico como el Terbufos cuyo modo de acción es de contacto o algún biológico logren una eficacia, ya que se dificulta que cualquier sustancia u organismo llegue a estar en contacto directo con el nematodo (Pérez *et al.* 2017).

De acuerdo con Leguizamón (1988) las plantaciones de café con síntomas severos de daño por *Meloidogyne*, no responden a la aplicación de ninguna dosis de nematicidas, por lo que recomienda más bien un tratamiento nematicida preventivo, ya que su acción curativa dependerá del área de raíz infectada y del tipo de nematodo. Una vez que el nematodo se establece en los tejidos radicales, altera los vasos del xilema en forma y tamaño irreversible lo que dificulta la acción de cualquier nematicida. Quizás esta condición fue una de las que a nivel radical se encontró en el ensayo, ya que los muestreos indicaron altas densidades poblacionales del *M. exigua* a pesar de las aplicaciones de nematicidas realizadas. Asimismo, según datos del CATIE (1989), la variedad Catuai presenta el índice de

agallamiento más alto que es de 5, por lo tanto, es muy susceptible al ataque *Meloidogyne* lo que favorece su reproducción.

Con respecto a la frecuencia de aplicación del nematicida biológico se sugirió hacer una única aplicación para verificar el comportamiento del producto bajo las condiciones del país y además, para disminuir los costos de producción. Una de las razones por las cuales no se observó una disminución en la densidad poblacional de nematodos, podría estar relacionada con el número de aplicaciones del producto, ya que lo ideal podría haber sido una aplicación más.

Cabe mencionar que al estudiar poblaciones de *M. exigua* en diversas zonas de Costa Rica, Rojas (2011), observó que estas seguían un patrón estacional con un descenso de individuos de agosto a octubre y que por el contrario, presentaban un aumento a finales del invierno. Este patrón estacional se observó en este estudio, ya que en agosto, es decir, antes de la aplicación de los nematicidas, hubo un declive en la población de nematodos con un posterior repunte en diciembre. Según Chaves (2014) con el aumento de las lluvias el sistema radical maduro tiende a podrirse, y esto posee un impacto sobre las poblaciones de nematodos que están dentro de ellas, ya que no podrán alimentarse ni producir huevos en las raíces.

A pesar de que no existió una disminución de juveniles con ningún producto químico o biológico, se procedió a la ultización de la escala de infección radical propuesta por Taylor y Sasser (1983b) para determinar el porcentaje de severidad o infección radical después de la aplicación de los productos. El único tratamiento en el que se notó diferencias con respecto a esta variable, fue en el nematicida biológico con un 5% de agallamiento. En el caso de los demás tratamientos, se observó que en el bioestimulante fue de 15%, el tratamiento químico con 65% y finalmente el testigo con un 80%. Al observar el sistema radical en los distintos tratamientos, se determinó que el nematicida biológico presentó raíces nuevas y con algunas agallas. Caso contrario ocurrió con los demás tratamientos, donde quedó en

evidencia una abundante formación de agallas, menor cantidad de raíces secundarias y un sistema radical necrosado debido a la actividad de *M. exigua*. Aunque el bioestimulador radical posee elementos esenciales, proteínas, polisacáridos y un alto porcentaje de fósforo que incrementa la tasa de crecimiento de las raíces, la periodicidad en la aplicación del producto pudo haber afectado su efecto (Martínez 2016).

Una posible causa en la diferencia entre productos también podría estar relacionada con la acción nematicida propia del nematocida biológico, que permitió un crecimiento más vigoroso de la raíz y una mayor cantidad de pelos absorbentes debido a la actividad de la bacteria *Bacillus subtilis*, los hongos *Trichoderma asperellum* y *Purpureocillium liacinum*. Según Palacios (2013), *B. subtilis* actúa dentro del nematodo, que produjo algunas enzimas y toxinas las cuales dañan las células del intestino medio y facilitan la invasión del hemocele. En el suelo esta bacteria puede interferir en el ciclo reproductivo, la ovoposición y eclosión de los juveniles, por lo que no se descarta la posibilidad de que quizás alguna de estas funciones hayan sido suprimidas por este agente de control biológico.

En el caso de *Trichoderma* existe evidencia que favorece el aumento de pelos radicales, contribuye a la solubilidad de los nutrientes del suelo y produce enzimas como quitinasas y proteasas que ayudan al combate de nematodos (Hernandez *et al.* 2015). En un estudio llevado a cabo por Varela *et al.* (2016) determinaron porcentajes de mortalidad de *M. exigua* en pruebas *in vitro* con *T. asperellum* del 66,7% de estadios juveniles y un 46,1% de huevos.

Adicionalmente el nematocida biológico posee como extracto natural la planta *Tagetes erecta*. Investigaciones realizadas por Murga *et al.* (2012) coinciden en afirmar, que esta especie vegetal tiene un efecto nematicida que inhibe la eclosión de huevos y tiene un efecto nematicida contra juveniles de *Meloidogyne*.

Es importante mencionar que, a pesar de no encontrarse diferencias significativas entre el Testigo absoluto (TA) y el Terbufos después de

la aplicación de los productos, las poblaciones de nematodos aumentaron un 134 y 30% respectivamente. Una posible razón de esta diferencia se puede deber a la efectividad del control efectuado por el Terbufos, ya que este nematicida actúa como inhibidor de la acetilcolinesterasa (fundamental en la función del sistema nervioso central [SNC] del nematodo) por lo que es muy usado para el combate de plagas en el suelo (Roberts y Hutson 1999).

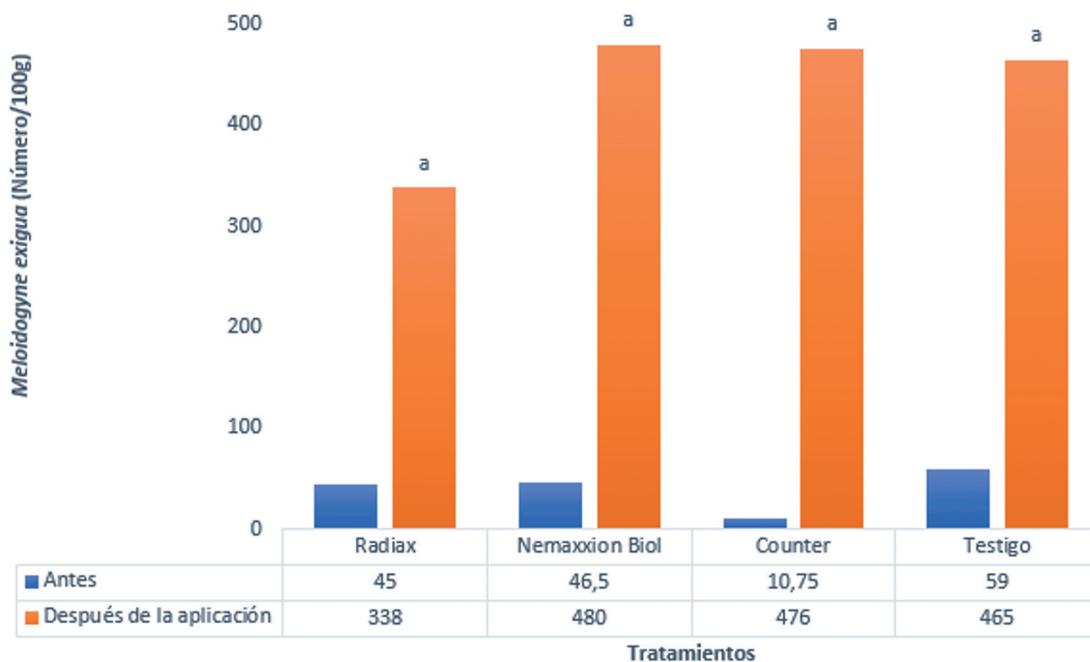
En estudios efectuados por el ICAFE, encontraron poblaciones de *M. exigua* de 396 600 a 767 040 J₂ en 100 g de raíz (Rojas 2011). En el caso de los datos determinados en este estudio, se encontraron valores cercanos a los 220 000 J₂ en 100 g de raíz. A pesar que son datos por debajo de los reportados por Rojas (2011), mantienen densidades poblacionales de nematodos consideradas altas en una plantación de café. Asimismo, Chaves (2014) reportó densidades que variaron en promedio entre 2900 a 68 000 J₂ por 100 g de raíz, mientras que Romero (2010), reportó en muestreos realizados en plantaciones de café en Cartago, densidades superiores a los 60 000 individuos de *Meloidogyne* por 100 g de raíz.

Existe una variación en las poblaciones de nematodos, en donde en algunas ocasiones las densidades son más altas con respecto a otras; no obstante, no se puede asegurar que esa cantidad de nematodos causen un daño significativo en la población, ya que depende de una serie de factores bióticos y abióticos. Según Rojas (2011) existen muchos factores a considerar para definir que cierta densidad poblacional de nematodos esté cause un daño importante en una plantación de café, por ejemplo, el género y especie del nematodo, genotipo de la planta, edad del cultivo, tipo de suelo, contenido de materia orgánica, fertilización, sombra y poda. Asimismo, Taylor y Sasser (1983a) agregan que existen varios factores que influyen como la textura del suelo, la temperatura, la humedad y la disponibilidad de nutrientes entre otros.

Efecto del nematocida biológico y el bioestimulante radical sobre juveniles de una población de *M. exigua* en suelo. No se encontraron

diferencias significativas entre los tratamientos sobre la población de *M. exigua* luego de aplicar los productos, todos los tratamientos mostraron un elevado incremento del nematodo en el segundo muestreo (Figura 3). Antes de la aplicación de los productos, se contabilizaron 45, 46, 10 y 59 juveniles en 100 en cm³ de suelo en los tratamientos

bioestimulante, nematicida biológico, nematicida químico y el testigo absoluto respectivamente. Luego de la aplicación la población de juveniles de *Meloidogyne* aumentó a 338, 480, 476 y 465 en 100 en cm³ de suelo en el bioestimulante, el bioestimulante, nematicida biológico, nematicida químico y el testigo absoluto.



Columnas con letras iguales no difieren estadísticamente ($P > 0,05$) $n=4$

Figura 3. Población de *M. exigua* en suelo en cm³ antes y después de la aplicación de los productos. Naranjo, Alajuela, Costa Rica. 2017.

Al igual que en la Figura 2, no se observó una disminución en la población de *M. exigua* en suelo en ningún tratamiento, situación también observada en la raíz. La poca colonización de los microorganismos utilizados en el suelo y la alta cantidad de huevos contabilizados en los conteos, indicaron baja efectividad de los productos utilizados debido a la continuidad de la aplicación.

Un factor importante fue la época en que se realizaron las aplicaciones y los muestreos. La aplicación de los productos coincidió con setiembre, cuando el suelo presentaba una baja población de *Meloidogyne*, en el caso del segundo muestreo, cercano a enero, ya presentaba densidades poblacionales altas de acuerdo con los análisis nematológicos efectuados. De acuerdo con Bertrand y Rapidel (1999), en el periodo seco *Meloidogyne* sp. presenta niveles poblacionales

elevados por causa de una actividad intensa de crecimiento del sistema radical del cafeto producto de la época lluviosa.

Resultados similares a esta investigación fueron reportados por Rojas (2010) en el ICAFE, donde evaluó varias alternativas (benfurcarb, citoquininas, extracto de *Tagetes erecta*, *Burkholderia cepacia* y *B. fluorescens*) en Poás de Alajuela y Tarrazú, San José. No encontró efectos positivos en ensayos de campo sobre las poblaciones de *Meloidogyne* y *Pratylenchus* respectivamente. Además utilizó varios agentes de control biológico tales como *Trichoderma* sp., *Streptomyces* sp., *B. cepacia* y *P. lilacinus* en los cuales se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al testigo desde la plántula hasta los 2 años de crecimiento.

Según Bertrand y Rapidel (1999) en plantaciones adultas de café, el control químico contra los nematodos presenta algunas limitaciones e inconvenientes relacionados a una eficacia restringida, incluso a veces casi nula, tanto en *Pratylenchus* spp. Como en *M. exigua*, un costo elevado, un fuerte impacto sobre el medio ambiente y la salud humana. Por lo anterior, es preferible aplicar los productos químicos en forma preventiva a nivel de almácigo para completar las medidas profilácticas y así no diseminar los fitonematodos tanto en la parcela como en otros sitios.

Las aplicaciones de nematicidas en el campo, sobre las plantas jóvenes permiten bajar el inóculo del suelo y proteger la planta durante su fase de crecimiento antes de que entre en producción. Al tratarse de un cultivo perenne, las medidas preventivas permitirán garantizar una productividad a largo plazo para el productor.

Con respecto a la textura del suelo, el área donde se realizó el ensayo presentó una textura franco arenosa, que favorece el desarrollo de las poblaciones de nematodos. Sobre este tema, Salazar y Guzmán (2013) encontraron niveles poblacionales más altos de nematodos fitoparásitos en comunidades en suelos de tipo franco arenoso en la zona occidental de Costa Rica. De acuerdo con Guaman (1996), este tipo de textura

favorece la movilidad del nematodo a través de los poros. Adicionalmente, Martínez *et al.* (2015) determinaron que si los nematodos no cuentan con un requerimiento de textura ideal los niveles de oxígeno podrían bajar así como su metabolismo, lo que afectaría el movimiento y su capacidad de infectar una raíz.

CONCLUSIONES

No hubo diferencias significativas en la disminución de la población de *M. exigua* para cada uno de los tratamientos utilizados: nematicida biológico, bioestimulante radical, tratamiento químico y Testigo. No se observó una disminución de la población de *M. exigua* en ninguno de los tratamientos; sin embargo, el tratamiento biológico presentó el menor porcentaje de infección radical.

Se constató que si la planta tiene más de 3 años de establecida y presenta un buen sistema radical o es resistente a los nematodos, se podría contemplar la posibilidad de no utilizar nematicidas. La aplicación de un nematicida se debe realizar después de asegurarse que realmente los nematodos sean el agente causal de pérdidas, con el fin de evitar aplicaciones innecesarias y un gasto económico. Aunque en esta investigación se contabilizaron densidades poblacionales altas de nematodos, no se observó parches de plantas cloróticas o poco desarrolladas, el cual podría ser un indicador inicial de la presencia de este patógeno.

Es importante tomar en cuenta la variabilidad ambiental para futuros estudios en relación con las propiedades climáticas, edáficas y topográficas, así como las propias al manejo agronómico del cultivo de café, ya que estas influyen de manera directa en el comportamiento de las poblaciones de nematodos. Así, se podrá obtener no solamente datos fiables sobre la biodiversidad de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo, sino que también permitiría determinar la prevalencia, diversidad y distribución de estos patógenos en las fincas productoras.

Se recomienda en etapa de almácigo y de manera preventiva, utilizar suelo libre de *Meloidogyne*. Es usual que el productor elabore su almácigo sin realizar previamente un análisis nematológico lo que podría afectar las plántulas en esta etapa del ciclo donde son más susceptibles. Además, se aconseja utilizar variedades de café tolerantes a los nematodos o con la raíz injertada con robusta que es una variedad de café resistente a nematodos.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, F. 2012. Propuesta del modelo de compra del café. Zamorano (en línea). Honduras. 1p. Consultado ene. 2019. Disponible en <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/878/3/T3242.pdf>
- Araya, M. 1990. Frecuencia y densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. En cafetales del cantón de Turrialba, Cartago. Agronomía Costarricense 14(1):109-114.
- Araya, M. 1994. Distribución y niveles poblacionales de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. en ocho cantones productores de café en Costa Rica. Agronomía Costarricense 18(2):183-187.
- Bertrand, D; Rapidel, B. 1999. Desafíos en la caficultura de centroamerica (en línea). San José, Costa Rica. Consultado jul. 2020. Disponible en http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-12/010018381.pdf
- Calderón, G. 2013. Nematodos y los síntomas en café (en línea). ANACAFE. Guatemala. Consultado ago. 2020. Disponible en <https://www.anacafe.org/uploads/file/7bb2909c788c4bff8bc2ab262a652f75/El-Cafetal-13.pdf>
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1989. Informe anual 1988-1989 (en línea). Turrialba, Costa Rica. Consultado nov. 2020. Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2454>
- Chaves, M. 2014. Densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos y de suelo en sistemas orgánicos y convencionales de café en asocio con banano en el Valle Central y Occidental de Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 79 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2002. Los fertilizantes y su uso (en línea). 632 p. Consultado ene. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- Franco, J. 1986. Nematodos del quiste de la papa *Globodera* sp. 2 ed. Boletín de Información Técnica 9. Lima, Perú. 18 p.
- Guaman, M. 1996. Identificación de fuentes de resistencia al nematodo *Meloidogyne* sp. en germoplasma de tomate de árbol (*Phomandra betacea* Sendt). Tesis de grado. Quito, Ecuador, Universidad Central de Ecuador. 12 p.
- Hernández, D; Rodríguez, M; Peteira, B; Miranda, I; Arias, Y; Martínez, M. 2015. Efecto de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt y Nirenberg sobre el desarrollo del tomate y *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. Rev. Protección Vegetal 30(2):139-147.
- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). (s.f.). Déficit y excedente hídrico acumulado mensual (en línea). Consultado mar. 2020. Disponible en <http://www.icafe.cr/sector-cafetalero/deficit-y-excedente-hidrico/>
- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2021. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. s. p.
- Jenkins, WR. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. Plant Disease Report 48(9):692.
- Leguizamón, J. 1988. Los nematodos del café en Colombia y su control (en línea). CENICAFE. Consultado dic. 2019. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/713/13/13%20Nematodos%20cafe%20y%20control.pdf>
- Mai, WF; Lyon, HH; Kruk, TH. 1964. Pictorial key to genera of plant parasitic nematodes. 5 ed. Department of Plant Pathology, New York State College of Agriculture, New York, USA. 54 p.
- Martínez, J; Díaz, T; Partida, L; Allende, R; Valdez, J; Carrillo, J. 2015. Nematodos fitoparásitos y su relación con factores edáficos de papaya en Colima, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrarias 6(1):251-257. Consultado abr. 2020. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000100022
- Martínez, M. 2016. Evaluación de enraizadores en la producción de almácigos de café. Tesis Lic. Jutiapa, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 46 p.
- Murga, S; Alvarado, J; Vera, N. 2012. Efecto del follaje de *Tagetes minuta* sobre la nodulación radical de *Meloidogyne incognita* en *Capsicum annum*, en invernadero. Rev Peruana de Biología 19(3):257-260. Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332012000300004&script=sci_arttext
- Navia, D. 1999. Estudio de la acción patogénica de varias poblaciones de la bacteria *Pasteuria penetrans* sobre *Meloidogyne* spp. Tesis de Pregrado. Guayaquil, Ecuador, Universidad Agraria del Ecuador. 8 p.
- Novasys. 2015. Nematodos, una amenaza que tiene solución de forma ecológica (en línea). España. Consultado 20 may. 2020. Disponible en <http://novasys.es/nematodos-amenaza-tiene-solucion-ecologica/>

- OIC (Organización Internacional del Café). 2020. Estadísticas Comerciales (en línea). Consultado ene. 2020. Disponible en www.ico.org/trade_statistics.asp
- Palacios, A. 2013. Efecto de *Bacillus subtilis* sobre juveniles 2 de *Meloidogyne incognita* en condiciones de invernadero en el Fundo Marverde de la Empresa Agroindustrial Camposol. Tesis de pregrado. Trujillo, Perú, Universidad Nacional de Trujillo. 46 p.
- Pérez, F; Cruz, D; Poma, E; Cadena, F. 2017. Densidad poblacional de nematodos en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.), Alto Lima-Caranavi. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz 4(1):53-59. Consultado feb. 2020. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182017000100007
- Powers, TO; Mullin, PG; Harris, TS; Sutton, LA; Higgins, RS. 2005. Incorporating molecular identification of *Meloidogyne* spp. into a largescale regional nematode survey. *J. Nematol.* 37:226-235.
- Roberts, T; Hutson, D. 1999. Metabolic pathways of agrochemicals (en línea). United Kingdom. Consultado may. 2020. Disponible en <http://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-0-85404-499-3>
- Rojas, M. 2010. Nematodos del café. Revista informativa (en línea). CICAPE, Heredia, Costa Rica. Consultado may. 2020. Disponible en <http://www.icafe.cr/cicafe/publicaciones/revista-informativa-icafe/>
- Rojas, M. 2011. Resultados de evaluaciones de productos para el control de nematodos en café (en línea). III simposio de cafcultura. CICAPE, Heredia, Costa Rica. 11 p. Consultado sep. 2020. Disponible en http://www.icafe.cr/simposios-nacionales-de-cafcultura/?drawer=Simposios*III%20Simposio%20-%20202011
- Romero, A. 2010. Efecto de los sistemas agroforestales del café y del contexto del paisaje sobre la roya, (*Hemileia vastatrix*), broca (*Hypothenemus hampei*) (Ferrari) y los nematodos (*Meloidogyne* spp.), con diferentes certificaciones en la provincia de Cartago, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 102 p.
- Rojas, M. 2010. Nematodos del café (en línea). Revista informativa. CICAPE, Heredia, Costa Rica. Consultado dic. 2019. Disponible en <http://www.icafe.cr/cicafe/publicaciones/revista-informativa-icafe/>
- Salazar, W; Guzmán, T. 2013. Nematodos fitoparásitos asociados al tomate en la zona occidental de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana* 24(1):27-36. Consultado ago. 2020. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_meso/v24n01_027.pdf
- Sasser, J; Freckman, D. 1987. A world perspective on nematology: the role of society. In Veech, JA; Dickson, DW (eds.). *Vistas on nematology: A commemoration of the twenty-fifth anniversary of the society of nematologist*. Society of Nematologist, Madison, WI, USA. p. 7-14.
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). 2022. Productos restringidos en Costa Rica al 07/06/2022 (en línea). Unidad de Registro de Agroquímicos. Disponible en https://www.sfe.go.cr/DocsStatusRegistro/Formulados_aprobados_bajo_Decreto_39461_Perfeccionamiento_activo.pdf
- Taylor, A; Sasser, J. 1983a. Biología, identificación y control de los nematodos de nódulos de la raíz. Consultado dic. 2019. Disponible en http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAQ245.pdf
- Taylor, A; Sasser, J. 1983b. Biología, identificación y control de nematodos del nudo de la raíz (especies de *Meloidogyne*). Primera edición. Artes gráficas de la Universidad del estado de Carolina del Norte, USA. 111 p.
- USDA. 2021. Costa Rica: Coffee annual (en línea). Consultado abr. 2019. Disponible en <https://www.fas.usda.gov/data/costa-rica-coffee-annual-6>
- Varela, I; Durán, J; Guzmán, T. 2016. Evaluación in vitro de diez cepas de hongos nematófagos para el control de *Meloidogyne exigua*, *Meloidogyne incognita* y *Radopholus similis*. *Tecnología en marcha* 30(1):27-37.



Agronomía Costarricense. Universidad de Costa Rica. Se encuentra licenciada con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr

COMPORTAMIENTO MORFOFISIOLÓGICO Y PRODUCTIVO DE CHILE DULCE HIDROPÓNICO EN INVERNADERO CON DIFERENTES ESTRATEGIAS DE MANEJO DEL FERTIRIEGO

Freddy Soto-Bravo^{1/*}, Josué Isaac Monge-Palma²

Palabras clave: Morfofisiología vegetal; rendimiento chile dulce; cultivo sin suelo; manejo del fertiriego.

Keywords: Plant morphophysiology; sweet pepper yield; soilless crop; fertigation management.

Recibido: 12/06/22

Aceptado: 22/08/22

RESUMEN

Introducción. El manejo del agua y de los nutrientes afecta el balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo de los cultivos de fruto y consecuentemente el potencial de rendimiento. Conocer los patrones morfofisiológicos y productivos de un cultivo aporta indicadores de un adecuado balance fuente/sumidero para obtener óptimos rendimientos. **Objetivo.** Evaluar el efecto diferentes estrategias de manejo del riego y la nutrición sobre el comportamiento morfofisiológico y productivo del híbrido de chile dulce “Dulcítico” bajo condiciones hidropónicas en invernadero. **Materiales y métodos.** El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica, con un diseño irrestricto al azar bifactorial (3 X 2), con 6 tratamientos con 3 repeticiones, que combinaron 3 niveles de nutrición: baja (B_C), media (M_C) y alta (A_C) concentración de nutrientes y 2 estrategias de riego, con E_1 : menor volumen y mayor frecuencia y E_2 : mayor volumen y menor frecuencia.

Se evaluó el área foliar (AF), número de hojas (NH), longitud (LT) y diámetro del tallo (DT), pesos secos de tallos (PsT), hojas (PsH) y flor-fruto verde (PsF), radiación fotosintéticamente activa interceptada (PARi), número de botones florales (BF), número de frutos cuajados (FC) y rendimiento de frutos total (RT), comercial (RC) según calidad: primera (I), segunda (II) y tercera (III) y desecho (D). **Resultados.** Únicamente hubo efecto de los distintos niveles de nutrición, sin interacción entre factores. Las plantas del tratamiento B_C presentaron el menor crecimiento (AF, NH, PsT, PsH) y consecuentemente menos producción (5,4 kg.m⁻²). Las plantas del tratamiento A_C tuvieron un crecimiento superior que M_C , y consecuentemente más BF, FC y RT. No obstante, el tratamiento M_C obtuvo el mayor RC (9,2 kg.m⁻²) debido a una mayor producción de frutos de I y II calidad, y menor producción de tercera y desecho. **Conclusión.** El tratamiento M_C evidenció el mejor balance entre crecimiento vegetativo y productivo, que se reflejó en mayor producción de frutos comerciales de mejor calidad y menos desecho.

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: freddy.sotobravo@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Costa Rica.

 0000-0003-1959-9597.

2 Instituto Nacional de Aprendizaje, Costa Rica.

 0000-0002-7079-2547.

ABSTRACT

Morphophysiological and productive behavior of hydroponic sweet pepper in greenhouse with different fertigation management strategies. Introduction.

Water and nutrient management affects the balance between vegetative and reproductive growth of fruit crops and consequently yield potential. Knowing the morphophysiological and productive patterns of a crop provides indicators of an adequate source/sink balance to obtain optimal yields.

Objective. To evaluate the effect of different irrigation and nutrition management strategies on the morphophysiological and productive behavior of the hybrid sweet pepper “Dulcítico” under hydroponic conditions in greenhouse. **Materials and methods.** The research was carried out at the Fabio Baudrit Moreno Agricultural Experiment Station, University of Costa Rica, with an unrestricted random bifactorial design (3 X 2), with 6 treatments with 3 repetitions, that combined 3 levels of nutrition: low (B_C), medium (M_C) and high (A_C) concentration of nutrients

and 2 irrigation strategies, with E_1 : lower volume and higher frequency and E_2 : higher volume and lower frequency. Leaf area (AF), number of leaves (NH), length (LT) and diameter of the stem (DT), dry weight of stems (PsT), leaves (PsH) and flower-green fruit (PsF), radiation photosynthetically active intercepted (PARi), number of flower buds (BF), number of fruit set (FC) and total fruit yield (RT) and commercial (RC) according to quality of first (I), second (II), third (III) and waste (R), were evaluated. **Results.** There was only an effect of the different levels of nutrition, without interaction between factors. The B_C treatment plants showed the lowest growth (BF, FC y RT) and consequently less production (5.4 kg.m^{-2}). The A_C treatment plants had a higher growth than M_C , and consequently more BF, FC, and RT. However, the M_C treatment obtained the highest RC (9.2 kg.m^{-2}) due to a higher production of fruits of I and II quality and lower production of third and waste. **Conclusion.** M_C treatment showed the best balance between vegetative and productive growth, which was reflected in a higher production of commercial fruits of better quality and less waste.

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, el chile dulce (*Capsicum annum*) es la sexta hortaliza más cultivada, con un área de cultivo aproximada de 500 ha, una producción de 8533 t y un consumo per cápita anual de 3,5 kg (SEPSA 2018). A nivel nacional se han reportado rendimientos de 8,2 a 43 t.ha^{-1} en cultivo a campo abierto (MAG 2007) y hasta 128 ton.ha^{-1} en invernadero (Soto-Bravo *et al.* 2020). En los últimos años el mercado de exportación ha tomado relevancia, por ejemplo, en el 2014 se exportó aproximadamente 1,3 millones de kg a Estados Unidos (Mora *et al.* 2018).

La agricultura emplea una alta cantidad de recursos hídricos y fertilizantes. En el 2018, cerca del 70% del agua dulce disponible se utilizó en actividades agrícolas a nivel mundial y

en algunos países en desarrollo incluso hasta el 95% del agua local (FAO 2017). Se prevé, que con el aumento de la población mundial también aumente la necesidad por este recurso, a un ritmo tan acelerado que para el 2025 más del 50% de la población mundial podría estar viviendo en territorios afectados por déficit hídrico (FAO 2013), lo cual podría agravarse con la escasez de lluvias producto del cambio climático (WWAP 2016).

La ONU (2015) estimó que a nivel mundial el consumo de fertilizantes alcanzaría los 200 millones de t durante el 2018, mientras que en América Latina pronosticó que el uso de fertilizantes a base de nitrógeno, fósforo y potasio aumentaría un 3,3%. El alto consumo de agua y fertilizantes en la agricultura se relaciona principalmente con su uso excesivo (FAO 2017), tal es

el caso de los fertilizantes nitrogenados donde el 80% se desperdicia (United Nations 2019).

El comportamiento morfofisiológico y productivo de cultivos de fruto está determinado por su genética, condiciones ambientales y la disponibilidad de agua y nutrientes (González-Real *et al.* 2008, Qian *et al.* 2012, Li *et al.* 2017), factores que influyen en la partición de asimilados y consecuentemente en el balance fuente/sumidero (Wubs *et al.* 2009, Iqbal *et al.* 2015). Dicho balance es un concepto muy utilizado en especies que presentan ciclos de producción de frutos y cosechas sucesivos, lo que lleva a alternar períodos de baja y alta carga de frutos (González-Real *et al.* 2009). La estrategia de manejo del agua y los fertilizantes determina su disponibilidad para el cultivo y consecuentemente el patrón de crecimiento vegetativo y reproductivo. Por tanto, determinar los requerimientos frente a la disponibilidad de agua y nutrientes del cultivo, favorece la implementación de mejores prácticas de manejo que permitan aprovechar al máximo el potencial genético productivo de un cultivar (Mardaninejad *et al.* 2017) con una mejor eficiencia de uso de dichos recursos.

Actualmente, la escasez y el aumento en el precio de los fertilizantes junto a un manejo deficiente del riego limita la productividad de los cultivos, ya que el exceso de agua y fertilizantes favorece un crecimiento vegetativo excesivo que promueve el desbalance entre fuente y sumidero, lo que afecta la calidad y el rendimiento de frutos. Adicionalmente, hay un incremento del área foliar lo que favorece el incremento de la transpiración del cultivo (Qiu *et al.* 2013) junto a una reducción en la eficiencia del uso de agua fertilizantes. Además, un exceso de agua y fertilizantes promueve la contaminación ambiental y aumenta los costos reduciendo la rentabilidad.

Por otra parte, las deficiencias nutricionales combinadas con el estrés hídrico inducen el aborto floral y un bajo cuaje de frutos (Arroyo-Vargas *et al.* 2013, Dorji *et al.* 2005), retarda el crecimiento y favorece la malformación de frutos (Quesada 2015, Akinci y Losel 2015, Mardaninejad *et al.* 2017), lo cual reduce consecuentemente la calidad

y el rendimiento de los cultivos. Además, el estrés hídrico disminuye el área foliar y la conductancia estomática (g_s) como una respuesta de las plantas para reducir las pérdidas de agua por transpiración (Taiz y Zeiger 2002, Mundree *et al.* 2002, Mustafa *et al.* 2014).

Por tanto, identificar y cuantificar el comportamiento de las variables morfológicas, fisiológicas y reproductivas en función del manejo del riego y la nutrición, la genética y el clima, permite identificar estrategias de manejo que permitan promover un proporcionado equilibrio entre crecimiento vegetativo y productivo, con el propósito de obtener el máximo rendimiento y calidad de los frutos (Taiz y Zeiger 2002), haciendo un uso eficiente de dichos recursos. Una mayor eficiencia del agua y de los fertilizantes implica obtener un mayor rendimiento por cantidad utilizada de dichos recursos (Gleick *et al.* 2011), sin limitar el crecimiento y la producción de los cultivos.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de manejo del riego y la nutrición sobre el comportamiento morfofisiológico y productivo del híbrido de chile dulce “Dulcítico” hidropónico en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental. La investigación fue realizada entre junio y noviembre del 2019, en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno (EEFBM), ubicada en San José de Alajuela, Costa Rica (10° 01' N y 84° 16' O, 840 msnm), con valores promedio anual de temperatura y humedad relativa y precipitación acumulada de 22°C, 78% y 1940 mm, respectivamente.

Se utilizó un invernadero multitúnel de hierro galvanizado, con cubierta de polietileno transparente (200 μ m) y malla anti-insectos (50 mesh) en las paredes, formado por 4 módulos de 9,75 m de ancho y 50 m de largo, altura de 6 m al centro del túnel y 4 m a la canoa, orientado en dirección este-oeste. La ventilación fue pasiva en paredes laterales combinada con apertura automatizada de ventanas cenitales según la velocidad del viento e intensidad de lluvia.

Condiciones climáticas. Durante el experimento se monitoreó la evolución semanal de la radiación solar global (Piranómetro LI-COR Mod. LI-200SA), la temperatura y la humedad relativa (VAISALA Modelo HMP-35C). Los valores de la integral de radiación solar (Figura 1a) variaron

entre 4,8 y 16,8 MJ m⁻².día⁻¹ con un promedio global de 10,8 m⁻².día⁻¹. Los promedios globales de máximas, mínimas y promedios, en el mismo orden, fueron 32,8; 19,7 y 24,7°C para temperatura (Figura 1b) y de 98,2; 46,5 y 81,2% para humedad relativa (Figura 1c).

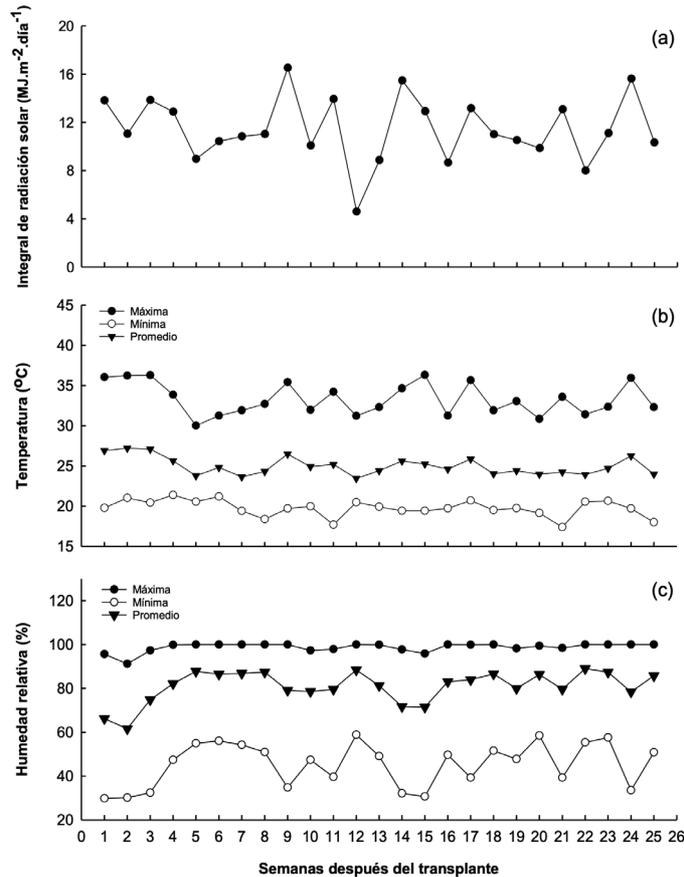


Figura 1. Evolución del promedio semanal durante el ciclo experimental, de las condiciones climáticas de (a) integral de radiación solar (b), valores máximos, mínimos y promedios de temperaturas y (c) humedad relativa, dentro del invernadero. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Sistema de cultivo. El cultivo se estableció en hidroponía a drenaje libre para lo cual se utilizó como sustrato, fibra de coco en sacos comprimidos (100 x 14 x 2,5 cm) con cobertura plástica color blanco. Pevio a la siembra, estos fueron hidratados mediante riegos cortos y frecuentes hasta alcanzar un volumen aproximado

de 28,8 L (100 x 18 x 16 cm). Finalmente, se realizaron 3 cortes equidistantes en el plástico cobertor en el borde inferior, para drenar el exceso de agua. Las características físicas del sustrato (Tabla 1) fueron determinadas en laboratorio siguiendo la normativa UNE-EN-13041-2007 (AENOR 2007).

Tabla 1. Características físicas de la fibra de coco hidratada utilizada como sustrato para el cultivo de chile dulce hidropónico en invernadero.

Característica física	Valor óptimo ¹	Valor medido
Partículas < 1 mm = índice de grosor (%)		83,0
Partículas entre 1 y 4 mm (% p.p ⁻¹)	--	58,0
Partículas > 4 mm (% p.p ⁻¹)	--	25,0
Densidad aparente (gr.cm ⁻³)	>0,15	0,075
Densidad real (gr.cm ⁻³)	<1,0	0,65
Porosidad total (% v.v ⁻¹)	> 85%	88,5
Partículas sólidas (% v.v ⁻¹)	< 15%	11,5

¹ Adaptado de Ansorena (1994).

Previo a definir los tratamientos de agotamiento hídrico se determinó la curva de retención de humedad de la fibra de coco (Figura 2) según la norma (UNE-EN-13041 2007). Para ello, se determinó el porcentaje de humedad volumétrica (θ) en muestras sometidas a valores de potencial mátrico (ψ_m) de 1,0; 2,5; 5,0; 7,5 y 10

kPa, mediante un equipo de caja de arena (Eikelkamp, mod. 08.01). Para cada ψ_m se utilizaron 4 repeticiones y se asumió que la θ a 1 kPa y a 10 kPa correspondieron a la capacidad de contenedor (θ_{CC}) y al punto de marchitez permanente (θ_{PMP}), respectivamente.

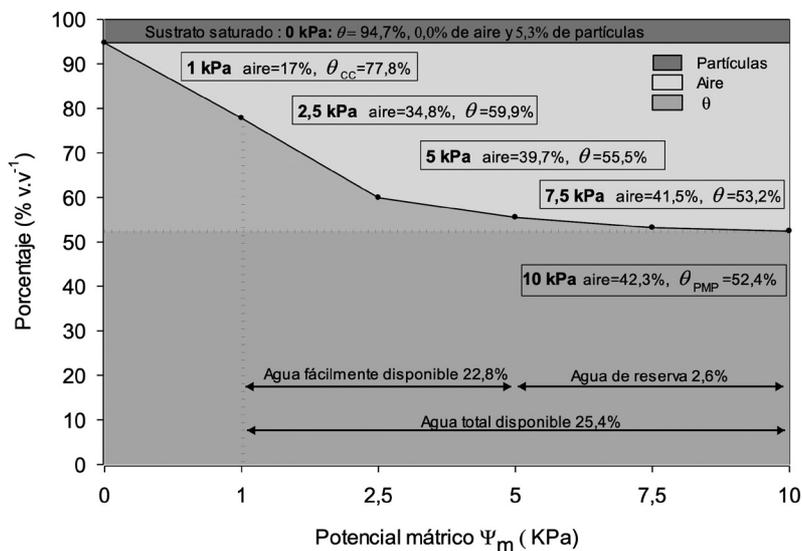


Figura 2. Contenido de partículas sólidas y curva de desorción de agua:aire que muestra los porcentajes de humedad volumétrica (θ) y de capacidad de aireación a diferentes valores de potencial mátrico (kPa); y contenidos de agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua total disponible (ATD), en el sustrato de fibra de coco. Alajuela Costa Rica. 2019.

A partir de los porcentajes de θ obtenidos, se estimó el agua fácilmente disponible (AFD=22,8%) como la diferencia entre θ_{CC} (77,8%) y θ_{5kPa} (52,5%) y el agua de reserva (AR=2,61%) como la resta entre θ_{5kPa} (55%) y θ_{PMP} (52,5%). El agua total disponible (ATD=25,3%) se obtuvo de la suma de AFD más el AR (Figura 2). Según los porcentajes de AR y AFD, y el volumen de sustrato por saco (28,8 L) se estimaron los volúmenes de AFD (6,6 L), AR (0,75 L) y el ATD (7,3 L) por saco de cultivo. Finalmente, la capacidad de aireación (%) del sustrato en cada ψ_m , se obtuvo como la diferencia entre porosidad total (94,7%) y el respectivo porcentaje de θ .

Para el suministro de agua y nutrientes se utilizó un sistema de riego por goteo superficial, compuesto por tanques (2500 L), bombas eléctricas (1 HP), manómetros de glicerina (0-100 PSI), tubería principal de polietileno (25 mm), tuberías laterales de polietileno (19 mm) para cada hilera de cultivo con goteros (3 L.h⁻¹) antidrenantes y autocompensados conectados a un microtubo (5,5 mm) de 60 cm de largo con un gotero estaca como anclaje al sustrato. Cada unidad experimental correspondió a un sector de riego independiente con su respectiva válvula solenoide. El sistema de riego se desinfectó con cloro y seguidamente fue lavado con ácido fosfórico para eliminar precipitados y residuos de sales.

Material genético. Se utilizó el híbrido de chile dulce Dulcítico, desarrollado en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno de la Universidad de Costa Rica. Este se caracteriza por ser una planta de crecimiento indeterminado, con el inicio de la cosecha entre los 75 y 90 días después de siembra, frutos de forma cónica color verde-rojizo, alto grado brix (Echandi 2012) y un rendimiento de hasta 12,8 kg.m⁻² (Soto-Bravo *et al.* 2020).

Manejo agronómico del cultivo. Para la siembra se utilizaron plántulas producidas en bandejas plásticas (98 celdas) con turba (peat moss), con 35 días de edad y con 5 a 6 hojas verdaderas. Antes del trasplante, se evaluó la calidad fitosanitaria y agronómica del almácigo (20 plántulas), que incluyó pesos secos (g.planta⁻¹)

de tallo, hoja, raíz y total, grosor del tallo (mm), longitud de raíz y de tallo (cm), número de hojas, área foliar (cm².planta⁻¹).

Antes de la siembra, se realizó una desinfección del cobertor de suelo y las paredes del invernadero con cloro al 5% y se aplicó un insecticida de amplio espectro para eliminar algunos insectos presentes en otros cultivos. Previo al trasplante, antes de ingresar las plántulas al invernadero, estas se sumergieron, hasta el nivel del sustrato, en una solución de *Trichoderma* sp más un enraizador que contenía auxinas, vitaminas, citoquininas y fósforo. Se sembraron 3 plantas por tabla de fibra de coco con distancias de 33,3 cm entre plantas y de 1,5 m entre hileras para una densidad de 2 plantas.m⁻².

El manejo de plagas y enfermedades se realizó de forma preventiva, a través de prácticas culturales y aplicaciones semanales con productos biológicos o de etiqueta verde. Adicionalmente, se realizaron muestreos semanales durante el ciclo del cultivo, para determinar la necesidad de aplicaciones fitosanitarias.

El tutorado de las plantas se realizó con mecate de nylon y anillos plásticos que se colocaron en la primera y segunda bifurcación de la planta. Posteriormente, todas las ramas emergentes se sujetaron con cuerda de nylon a un alambre metálico colocado horizontalmente a 2,5 m en la parte superior del cultivo. Todos los brotes vegetativos ubicados por debajo de la primera bifurcación de la planta fueron eliminados, mientras que por encima de este se permitió el libre crecimiento de tallos. Como prácticas culturales se realizaron podas sanitarias de hojas y tallos senescentes y/o dañados y eliminación de frutos dañados.

Descripción de los tratamientos. Se evaluaron 6 tratamientos que combinaron 3 niveles de nutrición con 2 estrategias de manejo del riego (Tabla 2). Los niveles de nutrición correspondieron a 3 concentraciones de nutrientes en solución nutritiva: baja (B_C), media (M_C) y alta (A_C). Las 2 estrategias de manejo del riego variaron en el volumen de riego aplicado (el cuánto) y la frecuencia entre riegos (el cuándo), con E₁: riegos

Tabla 2. Tratamientos combinados de 3 niveles de concentración de nutrientes en solución nutritiva con 2 estrategias de manejo del riego en el cultivo de chile dulce en fibra de coco bajo invernadero.

Concentración en solución nutritiva	Estrategia de manejo del riego	Tratamiento
Baja concentración (B_C)	Menor volumen y mayor frecuencia (E1)	$B_C E_1$
	Mayor volumen y menor frecuencia (E2)	$B_C E_2$
Media concentración (M_C)	Menor volumen y mayor frecuencia (E1)	$M_C E_1$
	Mayor volumen y menor frecuencia (E2)	$M_C E_2$
Alta concentración (A_C)	Menor volumen y mayor frecuencia (E1)	$A_C E_1$
	Mayor volumen y menor frecuencia (E2)	$A_C E_2$

con menor volumen y mayor frecuencia y E_2 : riegos con mayor volumen y menor frecuencia.

Para definir el volumen de riego se estableció un agotamiento del ATD de 10% para E_1 y de 30% para E_2 , equivalentes a valores de θ de 70% y 57%, respectivamente. Estos valores de θ se utilizaron como consigna para la activación del riego, por medio de una bandeja de riego a la demanda (BRD) del cultivo, según condiciones climáticas y etapa fenológica. La BRD consistió en una canoa de madera impermeabilizada con plástico color negro, sobre la cual se colocó una tabla de fibra de coco sembrada con 3 plantas del cultivo. Esta estuvo conformada por un caudalímetro para cuantificar el volumen de riego aplicado, un tensiómetro (Irrometer Model LT y Model MLT) instalado en el sustrato de cultivo y un pluviómetro (ECRN-100) ubicado en la salida para monitorear el volumen de drenaje.

La BRD incluyó un algoritmo que integraba los valores de potencial mátrico del sustrato y el porcentaje de drenaje monitoreados en tiempo real. Durante el día, conforme incrementaba la ET_c y consecuentemente disminuía el contenido de θ en el sustrato hasta los valores de consigna según agotamiento hídrico establecido; el algoritmo abría la válvula solenoide y activaba la bomba por un tiempo de riego previamente calculado para reponer los volúmenes de agua. $saco^{-1}$ correspondientes a los agotamientos de

10% y 30%. Durante el riego, una vez que se alcanzaba la θ a CC, el algoritmo permitía aplicar un volumen de agua extra para obtener un 15% de drenaje con respecto al volumen de riego aportado por saco de cultivo. El volumen de drenaje se monitoreó en tiempo real con el pluviómetro y el algoritmo calculaba el porcentaje de drenaje hasta ajustarlo al valor de consigna establecido (15%). En el experimento, cada unidad experimental contó con una BRD para activar el riego de forma independiente.

A partir del número de goteros por tabla (3 goteros) y del caudal por gotero (2 $L \cdot h^{-1}$) se estimó el tiempo de riego necesario para reponer los volúmenes de agua cuando el agotamiento alcanzaba 10% y 30% del ATD, correspondientes a los valores de θ de consigna de 70% y 57%, respectivamente. Al final del experimento, conforme a lo propuesto, la E_1 tuvo mayor número de riegos (Figura 3a) con menor volumen (Figura 3b) y mayor frecuencia (Figura 3c); mientras que la E_2 presentó menor número de riegos con mayor volumen y menor frecuencia. En la E_1 en promedio se realizaron 6,34 riegos por día con un volumen promedio de 527,64 ml cada uno y una frecuencia de cada 2:58 hh:mm (Figura 3). En la E_2 el número de riegos disminuyó a 3,1 riegos. $día^{-1}$ con mayor volumen por riego (1734,36 ml) y una mayor frecuencia de cada 3:38 hh:mm (Figura 3).

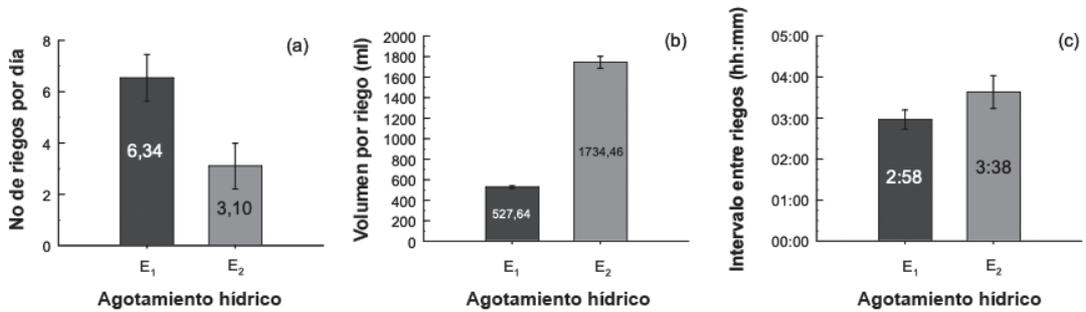


Figura 3. Valores promedio de (a) número (No) de riegos por día, (b) volumen por riego y (c) frecuencia entre riegos según estrategia de riego en el cultivo de chile dulce hidropónico en invernadero. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Para definir el nivel de nutrición en la M_C , se utilizó un valor promedio de diferentes concentraciones de nutrientes en soluciones nutritivas reportadas para el cultivo de chile dulce (Soto-Bravo *et al.* 2020, AkzoNobel *et al.* 2016, Castellanos 2008, de O Charlo *et al.* 2012, González-Real *et al.* 2008, Jara 2016, Prieto *et al.* 2007, Trejo-Téllez y Gómez-Merino 2012, Wamser *et al.* 2017). Los niveles en B_C y A_C

correspondieron, respectivamente, a la reducción e incremento de un 50% de M_C (Tabla 3). Para la preparación de las soluciones nutritivas se utilizó ácido nítrico, fosfato monopotásico, nitrato de potasio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, nitrato de calcio, ácido bórico, Molibdeno y quelatos (EDDHA) de hierro, cobre, manganeso y zinc.

Tabla 3. Concentración de nutrientes y conductividad eléctrica (CE) de las soluciones nutritivas utilizadas en cada nivel de nutrición en solución nutritiva para el cultivo de chile dulce hidropónico bajo invernadero.

Concentración de nutrientes	Macronutrientes (mg.L ⁻¹)						Micronutrientes (mg.L ⁻¹)						CE (dS.m ⁻¹)
	N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Mo	
Baja	58	19	119	18	74	43	1,00	0,05	0,20	0,20	0,20	0,10	1,0
Media	117	38	237	36	149	86	2,10	0,09	0,40	0,40	0,40	0,30	2,0
Alta	175	57	356	54	223	129	3,10	0,14	0,70	0,60	0,60	0,40	3,0

Para cada nivel de nutrición, se monitoreó la conductividad eléctrica (CE) en la rizosfera del sustrato mediante el método de pasta saturada. Para esto, se tomaron muestras de sustrato en la parte media de los sacos de cultivo, se colocaron en recipientes de 500 ml, se saturaron con agua

destilada y se dejaron reposar por una hora. Seguidamente, las muestras se colocan en un Kitasato con embudo Buchner y papel filtro y se extrajo la solución, con una bomba de succión, para medir la CE (Figura 4).

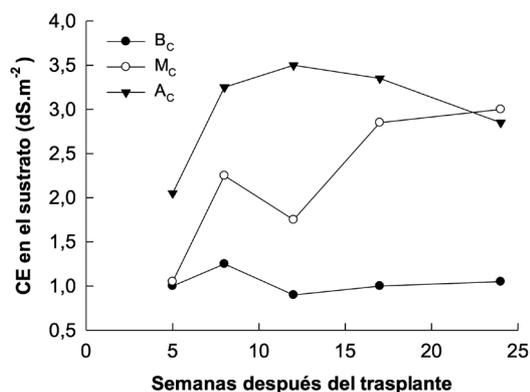


Figura 4. Evolución de la conductividad eléctrica (CE) en pasta saturada del sustrato de fibra de coco, según nivel de nutrición con baja (B_C), media (M_C) y alta (A_C) concentración de nutrientes en solución nutritiva. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Los tratamientos de riego y de nutrición se iniciaron a partir de 2 semanas después del trasplante (SDT), por lo que en etapa de establecimiento (2 SDT) se utilizó la solución nutritiva con nivel de nutrición media para todos los tratamientos.

Diseño experimental. El área experimental estuvo conformada por 12 hileras de cultivo con 34 sacos de fibra de coco por hilera para un total de 408 sacos. Se sembraron 3 plantas por cada saco de cultivo para 102 plantas por hilera y un total de 1224 plantas en toda el área experimental. Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con arreglo bifactorial (2 X 3) para evaluar 6 tratamientos que combinaban 3 niveles de nutrición con baja (B_C), media (M_C) y alta (A_C) concentración de nutrientes en solución nutritiva; y 2 estrategias de manejo del riego con E₁: menor volumen y mayor frecuencia y E₂: mayor volumen y menor frecuencia. Cada tratamiento estuvo conformado por 3 repeticiones compuestas por 3 hileras con 5 sacos de fibra de coco cada una y 3 plantas por saco (15 plantas.hilera⁻¹), para 45 plantas por repetición y un total de 135 plantas por tratamiento. Las 2 hileras

externas de cada repetición funcionaron como cultivo de borde.

Variables de respuesta. En este estudio, se evaluaron variables morfológicas, fisiológicas y productivas. Las variables morfológicas de área foliar (AF), número de hojas (NH), longitud (LT) y diámetro del tallo (DT) y pesos secos de tallos (PsT), de hojas (PsH) y de flor-fruto verde no cosechado (PsFF), se evaluaron en 5 muestreos destructivos durante el ciclo experimental, utilizando 3 plantas por repetición en cada muestreo. El primer muestreo se realizó en la etapa de desarrollo vegetativo, el segundo al inicio de producción y los otros 3 durante la etapa de producción. El AF (m²) se cuantificó en cada una de las plantas por repetición mediante un medidor de área foliar (LI-COR MODEL 3100), la LT (cm) se midió con cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice del eje más largo y el diámetro basal del tallo (mm) se midió utilizando un “caliper” digital a 2 cm por encima del nivel del sustrato. A las plantas recién cortadas se les determinó el PsT, PsH y PsFF en horno a 70°C hasta peso constante.

La radiación fotosintéticamente activa interceptada (PAR_i) se midió en 3 plantas por repetición en 5 evaluaciones durante el ciclo de cultivo, bajo condiciones de cielo despejado entre las 11:00 y las 13:00 horas. La PAR_i (μmol.m⁻².s⁻¹) se midió bajo condiciones de cielo despejado en horas próximas al medio día, con un ceptómetro de barra (LAI LP-80), en 2 puntos por repetición sobre y bajo el dosel del cultivo. Se procuró que el primer sensor iniciara en el centro de la hilera cercano al tallo de la planta y el último donde termina el dosel vegetal, para formar un ángulo aproximado de 45° respecto a la dirección a la hilera de cultivo.

En variables productivas, se evaluó el número de botones florales.planta⁻¹ (NB) por tratamiento en las mismas 3 plantas por repetición de los 5 muestreos destructivos utilizados para las variables morfológicas. El número de frutos cuajados (NF_C) en cada tratamiento, se evaluó en 3 plantas por repetición seleccionadas al azar, en las que se identificaron con cintas de

color nueve BF por planta para un total de 27 BF por tratamiento. A cada BF se le dio seguimiento para determinar la cantidad de FC por planta.

En rendimiento se cuantificó el peso de frutos (kg.m^{-2}) comercial y de desecho en 10 plantas por repetición para un total de 30 plantas por tratamiento. El grado de madurez de los frutos cosechados estuvo entre pintón (30% rojo) y maduro (color rojo). El rendimiento comercial correspondió a frutos sin daños con un peso mayor a 51 gr, mientras que el desecho a frutos con daños y un peso inferior a 50 gramos. El rendimiento fue la suma de producto comercial más el desecho.

Análisis estadístico. Los datos experimentales fueron sometidos a un análisis de normalidad y homocedasticidad para verificar los supuestos del análisis de varianza (ANDEVA). Cuando se cumplieron dichos supuestos

se realizó el ANDEVA para determinar si hubo interacción o efectos independientes de ambos factores. Como no hubo interacción ($p > 0,05$), se analizaron los efectos principales del factor que fue estadísticamente significativo ($p < 0,05$), al agrupar los datos por nivel del factor así como la comparación múltiple de medias (Tukey, $p_valor: 0,05$). Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.* 2012).

RESULTADOS

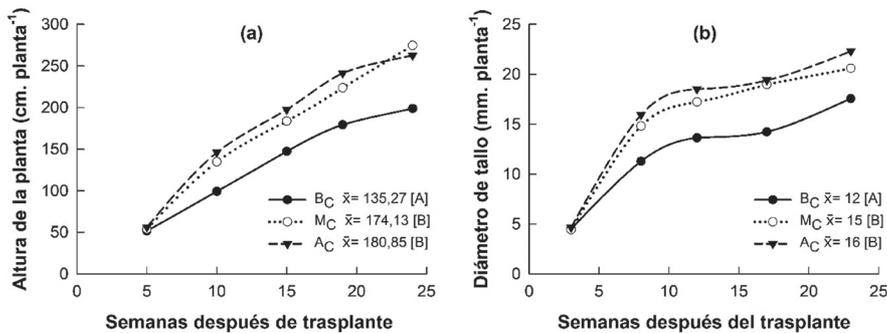
En el presente estudio, tanto las variables morfofisiológicas como las productivas, únicamente fueron afectadas por el nivel de nutrición ($p < 0,05$) indistintamente de la estrategia de riego, y sin interacción ($p > 0,05$) entre ambos factores (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza que muestra los valores de significancia ($p_valor: 0,05$) de las variables morfológicas longitud (LT) y diámetro de tallo (DT), número de hoja (NH), área foliar (AF), pesos secos de hoja (PsH), tallo (PsT) y flor fruto verde (PsF), radiación solar PAR interceptada (PARi), número de botones florales (BF) y frutos cuajados (FC) y rendimientos totales (RT), comercial (RC) y de desecho (D).

Factor	Variable de respuesta												
	LT	DT	NH	AF	PsH	PsT	PsF	PARi	BF	FC	RT	RC	D
Riego (R)	0,418	0,761	0,752	0,919	0,423	0,154	0,568	0,152	0,754	0,051	0,642	0,707	0,67
Nutrición (N)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007	0,001	0,008	0,007	0,004	0,001	0,001	0,001
R x N	0,103	0,556	0,093	0,099	0,17	0,376	0,149	0,976	0,439	0,527	0,358	0,289	0,939

Comportamiento morfofisiológico. Los valores promedio de longitud (LT) y diámetro del tallo (DT) de las plantas con B_C fueron estadísticamente inferiores ($p < 0,05$) que las plantas con M_C y A_C , sin diferencias ($p > 0,05$) entre estas últimas. Las plantas crecieron desde una LT promedio de 54 cm a las 5 SDT hasta LT máximas

de 199 cm con B_C , 275 cm en M_C y 263 cm en A_C , al final del ciclo experimental con 24 SDT (Figura 5a). Del mismo modo, el DT incrementó apreciablemente hasta las 10 SDT, luego incrementó levemente hasta alcanzar valores máximos al final del ciclo con 17,6 mm en B_C , 20,6 mm en M_C y 22,3 mm en A_C (Figura 5b).

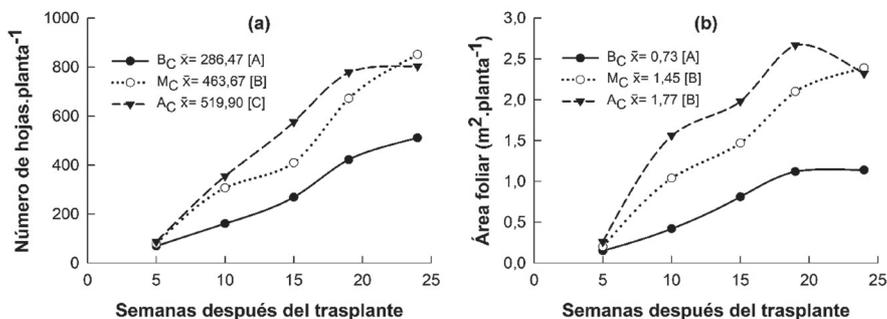


El símbolo \bar{x} es el promedio según nivel de nutrición (B_C, M_C y A_C) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un p_valor de 0,05.

Figura 5. Efecto del nivel de nutrición con baja (B_C), media (M_C) y alta (A_C) concentración de nutrientes en solución nutritiva, sobre la evolución semanal de (a) la longitud (LT) y (b) el diámetro del tallo (DT) de plantas de chile dulce hidropónico bajo invernadero. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Número de hojas y área foliar. Los promedios de NH (Figura 6a) y de AF (Figura 6b) por planta fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) entre tratamientos de nutrición, con un orden creciente conforme incrementó la concentración de nutrientes: A_C > M_C > B_C. Las diferencias fueron marcadamente inferiores en el tratamiento B_C respecto a los tratamientos M_C y A_C. Ambas variables incrementaron progresivamente a partir de las 5 SDT hasta alcanzar valores máximos al final del ciclo (24 SDT), con

excepción del tratamiento A_C que mostró una tendencia a disminuir a partir de las 19 SDT. Las diferencias entre los tratamientos M_C y A_C fueron apreciables hasta 19 SDT, luego se reducen hacia el final del ciclo, ya que a partir de 19 SDT, el tratamiento A_C estabiliza el número de hojas (Figura 6a) por lo que su AF desciende apreciablemente (Figura 6b). Al final del ciclo el AF alcanzó 1,1 m² en B_C con valores similares entre M_C (2,4 m²) y A_C (2,3 m²).

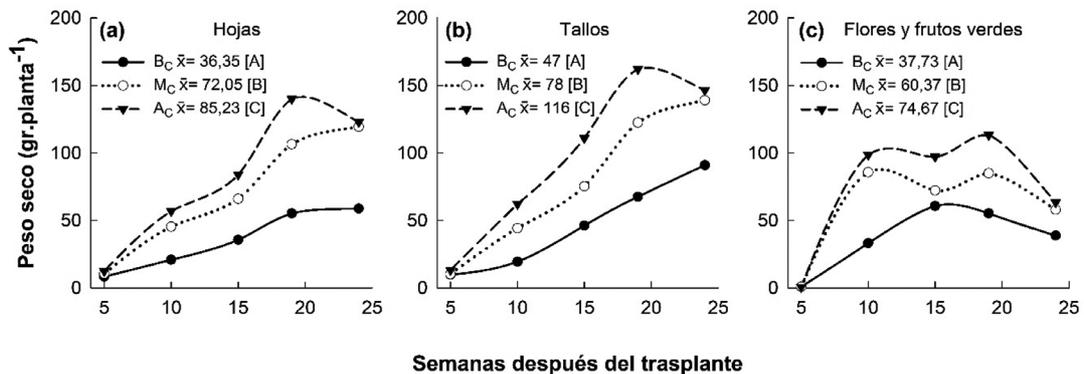


El símbolo \bar{x} es el promedio según nivel de nutrición (B_C, M_C y A_C) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un p_valor de 0,05.

Figura 6. Evolución semanal de (a) número de hojas (NH) y (b) área foliar (AF) por planta en el cultivo de chile dulce hidropónico bajo invernadero, con baja (B_C), media (M_C) y alta (A_C) concentración de nutrientes en solución nutritiva. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Producción de biomasa seca. Los valores promedio de pesos secos de hojas (PsH), tallos (PsT) y de flor-fruto verde (PsF), fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) entre tratamientos, con un orden creciente conforme incrementó el nivel de nutrientes: $A_C > M_C > B_C$. El PsH y PsT mostraron un comportamiento similar al observado en el NH y el AF, con un apreciable incremento hasta valores máximos a las 19 SDT en A_C y al final del ciclo de cultivo en B_C y en M_C . Posterior a las 19 SDT, el PsH y PsT disminuyeron bajo condiciones de A_C , e incrementaron levemente en M_C y en B_C (Figura 7a, 7b).

El PsF en M_C y A_C incrementó significativamente hasta las 10 SDT (Figura 7c), alcanzando valores máximos de 85,8 gr en M_C y de 98,6 gr en A_C . Seguidamente, entre 10 SDT y 20 SDT el PsF se mantuvo constante, donde posteriormente disminuye hacia el final del ciclo experimental. El tratamiento B_C tuvo un comportamiento un poco diferente, ya que el PsF incrementó hasta alcanzar valores máximos (50 gr) a las 15 SDT, a partir de la cual disminuye hacia el final del ciclo de cultivo.

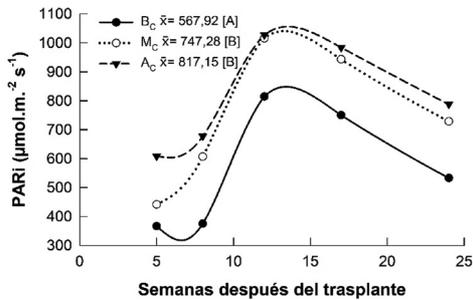


El símbolo \bar{x} es el promedio según nivel de nutrición (B_C , M_C y A_C) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un p -valor de 0,05.

Figura 7. Evolución semanal de los pesos secos de (a) hojas, (b) tallos y (c) flor-fruto verde aún no cosechable de plantas de chile dulce hidropónico bajo invernadero, con baja (B_C), media (M_C) y alta (A_C) concentración de nutrientes en solución nutritiva. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Radiación fotosintéticamente activa interceptada. Los valores promedio de PARI no fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) entre los tratamientos con M_C y A_C , los cuales a su vez fueron estadísticamente superiores al de las plantas que crecieron con B_C . La PARI

incrementó sustancialmente a partir de las 5 SDT (Figura 8) hasta alcanzar valores máximos a las 12 SDT de $815 \text{ umol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ bajo condiciones de B_C , $1016 \text{ umol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ en M_C y $1027 \text{ umol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ en A_C . En el resto del ciclo hubo una tendencia a disminuir.

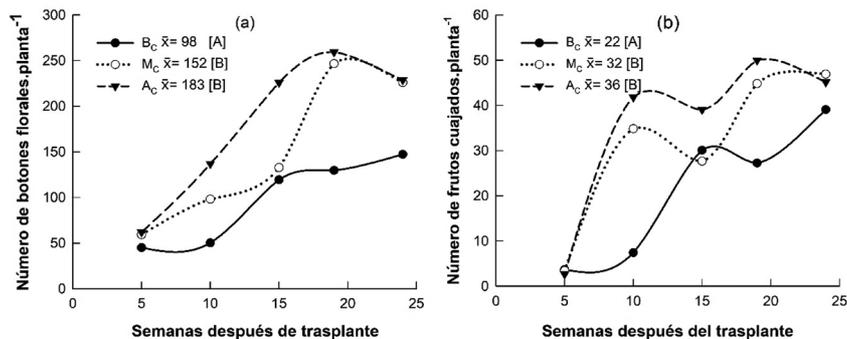


El símbolo \bar{x} es el promedio según nivel de nutrición (B_c , M_c y A_c) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un p -valor de 0,05.

Figura 8. Efecto del nivel de nutrición con baja (B_c), media (M_c) y alta (A_c) concentración de nutrientes en solución nutritiva, sobre la evolución de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (PARI) en plantas de chile dulce hidropónico bajo invernadero. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Comportamiento productivo. La cantidad de BF y de FC en general mostró una tendencia creciente, estadísticamente diferente ($p > 0,05$) conforme aumentó el aporte de nutrientes, principalmente entre el inicio de cosecha (10 SDT) y las 20 SDT. En las últimas semanas hasta el final del ciclo, las diferencias entre A_c y M_c se redujeron apreciablemente. A partir de las 5 SDT la producción de BF incrementó apreciablemente en las plantas con A_c y M_c hasta alcanzar valores

máximos de 259 BF y 247 BF a las 20 SDT, respectivamente (Figura 9a). Posteriormente, en ambos tratamientos la cantidad de BF disminuyó en las últimas 5 semanas del ciclo experimental. El cultivo con B_c produjo menor cantidad de BF que los demás tratamientos, con un rápido incremento entre las semanas 10 y 15, y un leve incremento en el resto del ciclo, hasta alcanzar un máximo de 147 BF al final del experimento.



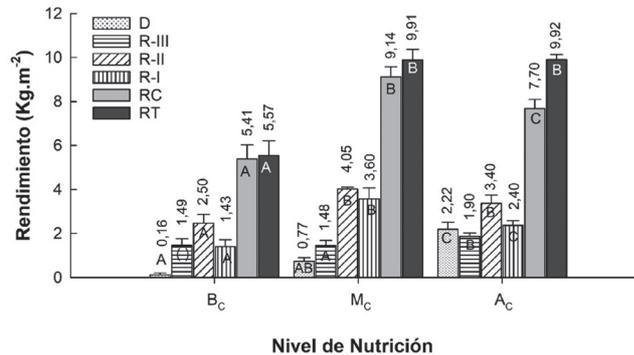
El símbolo \bar{x} es el promedio según nivel de nutrición (B_c , M_c y A_c) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un p -valor de 0,05.

Figura 9. Efecto del nivel de nutrición con baja (B_c), media (M_c) y alta (A_c) concentración de nutrientes en solución nutritiva, sobre (a) el número de botones florales y (b) de frutos cuajados por planta en el cultivo de chile dulce hidropónico bajo invernadero. Alajuela, Costa Rica. 2019.

La cantidad de FC por planta tuvo un comportamiento irregular durante todo el ciclo experimental en los distintos niveles de nutrición. En los cultivos con M_C y A_C incrementó apreciablemente entre las semanas 5 y 10, disminuyó en la semana 15, para luego incrementar hasta valores máximos a las 20 SDT con 47 FC en M_C y 50 FC en A_C (Figura 9b). Después de la semana 19, la cantidad de FC se mantuvo ligeramente estable en M_C , mientras que disminuyó levemente en A_C . El tratamiento con B_C cuajó la menor cantidad de frutos con un máximo de 39 FC al final del experimento.

El tratamiento con B_C (5,6 kg.m⁻²) obtuvo un rendimiento total (RT) estadísticamente

inferior ($p>0,05$) que los tratamientos M_C (10,0 kg.m⁻²) y A_C (9,9 kg.m⁻²). Aunque el RT fue estadísticamente similar ($p>0,05$) entre los tratamientos A_C y M_C (Figura 10). El rendimiento comercial (RC) del tratamiento M_C (9,2 kg.m⁻²) fue estadísticamente superior ($p>0,05$) que A_C (7,7 kg.m⁻²) y B_C (5,4 kg.m⁻²). El rendimiento en M_C fue superior que A_C debido a una mayor producción de frutos de primera (R-I) y de segunda (R-II) y menor producción de frutos de tercera (R-III) y de desecho (D) (Figura 10). Al mismo tiempo, la producción de frutos de D en el tratamiento A_C (2,2 kg.m⁻²) fue superior ($p>0,05$) que en los tratamientos M_C (0,8 kg.m⁻²) y B_C (0,2 kg.m⁻²).



El símbolo \bar{x} es el promedio según nivel de nutrición (B_C , M_C y A_C) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un p -valor de 0,05.

Figura 10. Efecto del nivel de nutrición con baja (B_C), media (M_C) y alta (A_C) concentración de nutrientes en solución nutritiva, sobre el rendimiento de frutos total (RT), comercial (RC), primera (R-I), segunda (R-II), tercera (R-III) y desecho (D), en el cultivo de chile dulce hidropónico bajo invernadero. Alajuela, Costa Rica. 2019.

DISCUSIÓN

En el presente estudio no hubo efecto de la estrategia de riego sobre el comportamiento morfofisiológico y productivo del cultivo de chile dulce hidropónico en invernadero, aun cuando diferentes estudios han demostrado que el manejo del riego afecta el comportamiento vegetativo y productivo de las plantas (Taiz y Zeiger 2002).

Además, el chile dulce es uno de los cultivos hortícolas más susceptibles al estrés hídrico, principalmente durante la etapa de floración y fructificación (Ferrara *et al.* 2011, Tanaskovik *et al.* 2017). Al respecto, Quesada (2015) y Jara (2016) realizaron un estudio con chile dulce en el mismo invernadero del presente estudio, donde coincidentemente no encontraron efecto del manejo del riego sobre el DT, el AF, la AP y el

peso seco. En otro estudio similar, Mardaninejad *et al.* (2017) al aplicar tratamientos deficitarios de 20%, 40% y 60% del requerimiento hídrico del cultivo, únicamente encontraron efecto sobre el rendimiento cuando la reducción fue del 40 y 60%, donde el estrés sobrepasó la capacidad de adaptación de las plantas.

En esta investigación no hubo efecto de las estrategias de riego sobre el DT de las plantas. Este parámetro responde muy bien al estrés hídrico mediante su contracción o expansión, por lo que es un indicador del estado hídrico de las plantas (Gallardo *et al.* 2004, de Swaef *et al.* 2015) que ha sido utilizado como criterio para el manejo del riego principalmente en cultivos frutales leñosos (Corell *et al.* 2014).

Lo anterior sugiere que el cultivar de chile dulce “Dulcítico” en hidroponía bajo invernadero, probablemente tiene una capacidad resiliente, que adapta su morfología radicular a la distribución de humedad en el perfil del sustrato según la estrategia de manejo del riego. Lo anterior, por cuanto aún en la E₂ con menor cantidad de riegos de mayor volumen y menor frecuencia (30% agotamiento), la planta fue capaz de abastecer su demanda hídrica. Al respecto, Sharma *et al.* (2015) demostraron que, al someter secciones del sistema radical de plantas de chile dulce a diferentes niveles de estrés hídrico, estas son capaces de modificar la densidad y la biomasa radical para así tener una mayor superficie de absorción de agua y compensar el déficit hídrico.

Por otra parte, indistintamente de la estrategia de riego, el nivel de nutrición afectó ($p < 0,05$) el comportamiento morfológico, fisiológico y productivo del cultivo de chile dulce, con una tendencia creciente conforme incrementó la concentración de nutrientes ($B_C < M_C < A_C$), donde el tratamiento B_C tuvo un desempeño morfofisiológico y productivo deficiente. Las limitaciones nutricionales en plantas que crecieron con B_C condujeron a un desbalance entre fuente y sumidero, que consecuentemente disminuyó la PARI y finalmente redujo el rendimiento de frutos. Por tanto, el análisis se enfocará en la comparación entre los tratamientos A_C y M_C .

El maximizar el rendimiento comercial de frutos de un cultivo es el fin primordial de un sistema productivo. Para ello es importante un adecuado equilibrio entre la fuente y el sumidero (vegetativo/generativo), donde el manejo del riego y la nutrición, entre otros factores, es el principal determinante de dicho equilibrio.

En este estudio, el tamaño de la fuente (NH, AF) mostró una tendencia creciente ($B_C < M_C < A_C$) conforme incrementó la concentración de nutrientes, y en consecuencia lógica se mantuvo el mismo orden en la producción de peso seco de flor-fruto verde, número de BF y de FC. El tratamiento A_C , en correspondencia a su tamaño de la fuente (NH, AF), tuvo una mayor capacidad fotosintética que se tradujo en incrementos de la biomasa vegetativa (PSt y PSh), y que consiguientemente se manifestó en incrementos en la biomasa productiva (BF, FC, MsF). Un comportamiento similar al anterior ha sido reportado por Taiz y Zeiger (2002) y Hakki y Yildirim (2015).

Respecto a la tendencia a producir mayor cantidad de estructuras reproductivas en el tratamiento A_C ($>BF, FC, MsF$), Tanaskovik *et al.* (2017), Verma (2012) y Maaiké (2010) señalan que la producción de flores y frutos incrementa conforme aumenta la disponibilidad de fertilizante. Al mismo tiempo, Noronha *et al.* (2004) señalan que una alta intensidad de fructificación, como ocurrió en A_C , afecta negativamente la partición de asimilados hacia el llenado de frutos.

No obstante, a pesar de un comportamiento más reproductivo ($>BF, FC, PsF$) en el tratamiento A_C , el rendimiento total fue estadísticamente similar entre A_C y M_C , mientras que el tratamiento M_C obtuvo el mayor rendimiento comercial, debido a una mayor producción de frutos de primera y de segunda calidad, y menor cantidad de frutos de tercera y de desecho. Conforme la disponibilidad de nutrientes incrementó, el tamaño de la fuente (AF, NH) fue superior y consecuentemente hubo mayor capacidad fotosintética que incrementó el suministro de carbohidratos para la producción y calidad de frutos. Sin embargo, al comparar el rendimiento entre

los tratamientos A_c y M_c , probablemente en M_c hubo un mejor equilibrio entre crecimiento vegetativo y generativo que favoreció una mejor distribución de fotoasimilados para el llenado de frutos, lo que mejoró así, la cantidad y calidad de fruto comercial.

Respecto a lo anterior, Heuvelink y Marcelis (2002) señalan que existe una alta correlación positiva entre el tamaño de la fuente (AF) y el número de flores y frutos (sumidero). Por su parte, Maaiké (2010) señala que las plantas aún en etapa reproductiva asignan recursos al crecimiento de biomasa vegetativa, lo que asegura así, una adecuada disponibilidad de fotoasimilados para el desarrollo de estructuras productivas con el fin de mantener un adecuado balance entre fuente/sumidero.

Existen varios factores que podrían explicar el anterior comportamiento, tales como la cantidad de PAR_i , la disponibilidad de nutrientes y la condición de salinidad en la rizosfera. La cantidad de radiación PAR_i fue similar en ambos tratamientos, sin embargo, una mayor producción comercial en M_c sugiere que las plantas presentaron una mejor eficiencia de uso de la radiación PAR_i . La PAR_i se relaciona significativamente con el rendimiento de frutos lo que representa la capacidad fotosintética de las plantas (Yildirim *et al.* 2017). En el presente estudio, probablemente una menor fuente (AF, NH) en M_c respecto a A_c no fue un factor limitante, por el contrario, probablemente favoreció una mejor arquitectura y distribución del dosel vegetal que conllevó a una mayor eficiencia en el uso de la radiación PAR_i para la producción de frutos.

Por otra parte, el crecimiento de las plantas de chile dulce (NH, AF, PsT, PsH) mostró una tendencia creciente conforme incrementó la concentración de nutrientes ($B_c < M_c < A_c$). Al respecto, diferentes estudios han demostrado que tanto el exceso como las deficiencias nutricionales afectan el crecimiento de los cultivos (Kanwar *et al.* 2013, Taiz y Zeiger 2002). Un mayor nivel de nutrientes favoreció un incremento del NH y del AF, lo cual contribuyó a una mayor actividad fotosintética y

consecuentemente mayor producción de fotoasimilados para procesos como elongación del tallo y ramificación de las plantas.

Relacionado con lo anterior, Verma (2012) encontró que al aplicar un 60%, 80% y 100% de los requerimientos, el NH y el AF incrementó cuando el aporte fue de 80%, lo cual estuvo relacionado con una mayor producción de fotoasimilados. Asimismo, Ghoneim (2005), reportó un mayor crecimiento vegetativo en plantas de chile dulce al aumentar las dosis de nitrógeno de 60 a 120 kg.ha⁻¹. Estudios similares realizados por de Oliveira *et al.* (2017) y Cruz-Crespo *et al.* (2014) demostraron que al aumentar las concentraciones de N y de K en solución nutritiva el peso seco de plantas de chile dulce incrementó apreciablemente.

El N es el nutriente que más impacto tiene en el crecimiento y la producción de los cultivos, ya que los excesos promueven un crecimiento vegetativo excesivo (Ghoneim 2005, Kanwar *et al.* 2013) mientras que las deficiencias lo impactan negativamente (de Oliveira *et al.* 2017). Con altas dosis de nitrógeno como en el tratamiento A_c , Ghoneim (2005) señala que ocurre una mayor asignación de carbohidratos hacia tejidos vegetativos, lo cual estimula el crecimiento vegetativo, destinando menor cantidad de recursos hacia la producción de frutos. Las plantas del tratamiento A_c evidenciaron un desbalance entre crecimiento vegetativo y generativo expresado en mayor AF, NH y biomasa seca de hojas y tallos, lo cual promovió una mayor asignación de fotoasimilados para crecimiento vegetativo.

Cuando los aportes nutricionales supera la demanda de nutrientes del cultivo de chile dulce, hay un punto de inflexión donde la producción se estabiliza o disminuye, ya que los nutrientes aplicados en exceso se acumulan en el perfil del sustrato incrementando así la CE. En el presente estudio, la CE en el sustrato incrementó conforme aumentó el aporte nutricional hasta alcanzar valores máximos de 3,5 dS.m⁻¹ en el tratamiento A_c . Diferentes estudios realizados encontraron que el rendimiento en chile dulce disminuyó cuando la CE fue superior a valores de 2 dS.m⁻¹

(Navarro *et al.* 2010, Preciado-Rangel *et al.* 2021) y $2,8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Arruda *et al.* 2011, Amalfitano *et al.* 2017).

Conforme aumenta la CE ocurre un incremento en el potencial osmótico (Munns y Tester 2008) lo que reduce la g_s en hoja e induce al cierre progresivo de estomas (Torralbo *et al.* 2019). Al respecto, Tadesse *et al.* (2010), identificaron cierre estomático progresivo en plantas de chile dulce hidropónico conforme aumentó la CE desde $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ hasta $10 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Un alto potencial osmótico según (Zolin *et al.* 2018), afecta la absorción y translocación de nutrientes y consecuentemente el llenado de frutos. Las plantas regulan su actividad estomática mediante una reducción de la g_s , como mecanismo para tolerar el estrés hídrico (Mbandlwa-Mthembu *et al.* 2020) y así evitar la pérdida excesiva de agua. Esto ocurre por inducción en la síntesis de ácido abscísico (Munns y Tester 2008) que promueve la movilización de potasio en las células guarda generando una disminución de su turgencia y el consecuente cierre estomático (Osakabe *et al.* 2013).

Probablemente, las plantas en el tratamiento A_C tuvieron que ejercer una mayor regulación de la g_s para evitar la pérdida excesiva de agua, principalmente en horas de mayor estrés alrededor del mediodía, cuando la temperatura alcanzó valores máximos de hasta 35°C . Según Tadesse *et al.* (2010), a mayor transpiración, tal como ocurrió en condiciones de A_C (datos no reportados), la resistencia estomática aumenta, especialmente si las plantas crecen en condiciones de estrés osmótico.

Una condición de alta CE en condiciones de A_C probablemente afectó la absorción y translocación de nutrientes poco móviles dentro de la planta. El cultivo chile dulce es muy susceptible a la pudrición apical del fruto debido a deficiencias de calcio, ya que este se transloca principalmente por el flujo de agua transpirada, por lo que cualquier factor que afecte la transpiración puede inducir a carencias de este elemento. En la presente investigación, efectivamente la mayor pérdida de frutos en el tratamiento A_C se debió a la pudrición apical por deficiencias de calcio en

un 22% del rendimiento total, en comparación al tratamiento M_C .

Una condición de alta CE ($3,5 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$) incrementó el potencial osmótico, lo que afectó directamente la capacidad de absorción de las raíces (Zolin *et al.* 2018) y adicionalmente la movilidad del calcio y otros nutrientes que redujo el crecimiento y el llenado de fruto. Dicha condición favoreció el incremento de frutos de tercera calidad y de desecho. Debido a que el fruto es un órgano de baja transpiración, en condiciones de alta temperatura y baja humedad relativa el flujo de agua tiende a desplazarse mayoritariamente hacia los órganos de alta transpiración como las hojas. Esto pudo agudizar las deficiencias de calcio en frutos en el tratamiento A_C . Al respecto, Navarro *et al.* (2010) y Noronha *et al.* (2004) reportaron que la mayor concentración de calcio se da en los tejidos vegetativos en detrimento de los frutos. En un estudio realizado por Tadesse *et al.* (2010), encontraron que conforme aumentó la CE, disminuyó la firmeza de los frutos debido a un menor contenido de calcio.

En un estudio realizado por Fallik *et al.* (2019) encontraron que el rendimiento en chile dulce se redujo apreciablemente cuando la CE del agua de riego incrementó de $1,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a $4,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ debido a una menor absorción de agua y nutrientes por el efecto osmótico que limita la expansión celular. Por otra parte, Tadesse *et al.* (2010) demostró que, al aumentar la CE por encima de valores recomendados, tal como ocurrió en el tratamiento A_C , se destinan más recursos a las hojas y menos al desarrollo de los frutos. En el tratamiento A_C comparado con el M_C , los frutos de I y II calidad disminuyeron un promedio de 18%, mientras que el desecho incrementó un 22% respecto al rendimiento comercial. Respecto al anterior comportamiento en el tratamiento A_C , Rubio *et al.* (2009) demostraron que en condiciones de alta CE la calidad del fruto de chile dulce disminuye.

Relacionado con el comportamiento del rendimiento en el tratamiento A_C , un estudio realizado por Zolin *et al.* (2018) demostró que al aumentar los aportes de N la g_s en hojas de

chile dulce disminuyó, debido al estrés hídrico causado por el aumento del potencial osmótico que afectó la apertura de estomas (Torrallbo *et al.* 2019), lo cual pudo afectar la eficiencia fotosintética debido a una menor fijación del dióxido de carbono (CO₂), que consecuentemente afectó el llenado de frutos y redujo así el número de los frutos de I calidad y aumentó el número de los frutos de desecho y de tercera en el tratamiento Ac.

Otros parámetros morfológicos como la LT y el DT por planta, son fáciles y prácticos de medir y ser utilizados como indicadores del balance vegetativo/generativo de un cultivo. La LT y el DT fueron afectados por el nivel de nutrición, siendo similares bajo condiciones de M_C y A_C, mientras que se redujo significativamente en el tratamiento B_C. El DT es una característica que refleja el vigor de las plantas y está directamente relacionado con la nutrición, ya que incrementa conforme crecen los aportes de nitrógeno, fósforo y potasio (Kanwar *et al.* 2013). Una nutrición balanceada en dichos nutrientes favorece un mayor DT (Taiz y Zeiger 2002) debido a que benefician el aumento del AF y consecuentemente la capacidad fotosintética para producir fotoasimilados que se almacenan como reservas en la base del tallo. Esto sugiere que una planta con un tallo más grueso tiene mayores reservas de fotoasimilados para el mantenimiento metabólico y la producción.

CONCLUSIÓN

El manejo del riego no afectó el comportamiento morfofisiológico y productivo del cultivo hidropónico de chile dulce en invernadero, ya que las plantas adaptaron su sistema radicular al volumen de sustrato disponible, según el volumen y la frecuencia de los riegos. El manejo de la nutrición afectó el comportamiento morfofisiológico y productivo del cultivo de chile dulce y consecuentemente el equilibrio entre crecimiento vegetativo y generativo. El crecimiento vegetativo expresado en área foliar, número de hojas, pesos secos de tallos y de

hojas incrementó conforme aumentó el aporte de nutrientes (AC>MC>BC). Consecuentemente, el tratamiento con mayor aporte de nutrientes (A_C) tuvo el mayor crecimiento vegetativo reflejado en mayor producción de biomasa flor-fruto verde aún no cosechado y en el número de botones florales y de frutos cuajados. Sin embargo, el rendimiento total de frutos fue similar entre los tratamientos con nivel de nutrición alto (A_C) y medio (M_C). No obstante, este último probablemente tuvo un mejor balance vegetativo/generativo ya que con menor cantidad de fuente que A_C obtuvo mayor rendimiento comercial, producto de una mayor producción de frutos de primera y de segunda calidad y menor cantidad de frutos de desecho. Con alto nivel de nutrición el aporte de nutrientes sobrepasó los requerimientos nutricionales del cultivo lo que generó una condición de alta conductividad eléctrica, debido a la acumulación de sales fertilizantes en el perfil del sustrato, lo que incrementó el efecto osmótico que afectó la absorción y traslocación de nutrientes en la planta. Las plantas de chile dulce bajo el tratamiento con bajo nivel nutricional (B_C) presentaron un menor crecimiento vegetativo y consecuentemente un menor rendimiento de frutos, debido a un fuerte desbalance entre crecimiento vegetativo y generativo.

LITERATURA CITADA

- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). 2007. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de las propiedades físicas. Densidad aparente seca, volumen de aire, volumen de agua, valor de contracción y porosidad total. Madrid, España. 19 p.
- Akinci, S; Losel, D. 2015. Plant water-stress response mechanisms, water stress, Mofizur Rahman, I Md (ed.). London, Reino Unido, InTech. 31 p.
- AkzoNobel; Eurofins Agro; NMI (Nutrient Management Institute); SQM (Sociedad química Minera); Yara. 2016. Nutrient solutions for greenhouse crops. Geerten Van Der Lugt, Ochten, Países Bajos. 94 p.
- Amalfitano, C; Del Vacchio, L; Somma, S; Cuciniello, A; Caruso, C. 2017. Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. Hort. Sci. 44(2): 91-98.

- Arroyo-Vargas, L; Tirado-Torres, JL; Volke-Haller, VH; Valdez-Cepeda, RD. 2013. Normas preliminares de diagnóstico de nutrimento compuesto y correlaciones entre nutrimentos y rendimiento en pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16:69-82.
- Arruda, CE; Dias, NS; Blanco, FF; Sousa, ON; Ferreira, NM. 2011. bell pepper cultivation with brine from brackish water desalination. *Revista Caatinga* 24:197-201.
- Castellanos, L. 2008. Consumo de nutrientes y de agua por chile dulce (*Capsicum annuum*) variedades: Lírica, Simpathy y Zidenka, bajo condiciones de altura, en Mulacagua, Comayagua, Honduras. Tesis Lic. Tegucigalpa, Honduras, Universidad Zamorano. 22 p.
- Corell, M; Girón, IF; Galindo, A; Torrecillas, A; Torres-Sánchez, R; Pérez-Pastor, A; Moreno, F; Moriana, A. 2014. Using band dendrometers in irrigation scheduling Influence of the location inside the tree and comparison with point dendrometer. *Agricultural Water Management* 142:29-37.
- Cruz-Crespo, E; Can-Chulim, A; Bugarín-Montoya, R; Pineda-Pineda, J; Flores-Canales, R; Juárez-López, P; Alejo-Santiago, G. 2014. Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Fitotecnia Mexicana* 37(3):289-295.
- de O Charlo, H; de Oliveira, S; Vargas, P; Castoldi, R; Barbosa, J; Braz, L. 2012. Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. *Horticultura Brasileira* 30:125-131.
- de Oliveira, F; Duarte, S; Medeiros, J; Lima, C; Oliveira, M; Silva, R. 2017. Improving sweet pepper yield and quality by means of fertigation management. *Horticultura Brasileira* 35:235-241.
- de Swaef, T; de Schepper, V; Vandegheuchte, M; Steppe, K. 2015. Stem diameter variations as a versatile research tool in ecophysiology. *Tree Physiology Review*, 35:1047-1061.
- Di Rienzo, JA; Macciavelli, RE; Casanoves, F. 2012. Modelos lineales mixtos: aplicaciones en InfoStat. Córdoba, Argentina, Universidad de Córdoba. 193 p.
- Dorji, K; Behboudian, MH; Zegbe-Domínguez, JA. 2005. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. *Scientia Horticulturae* 104:137-149.
- Echandi, C. 2012. Híbridos promisorios de chile dulce para la zona media-alta de Costa Rica. Boletín Técnico Quincenal de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica. 7 p.
- Fallik, E; Alkalai-Tuvia, S; Chalupowicz, D; Zaaroor-Presman, M; Offenbach, R; Cohen, S; Tripler, E. 2019. How water quality and quantity affect pepper yield and postharvest quality. *Horticulturae* 5(4):1-10.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2013. Tecnologías para el uso sostenible del agua (en línea). FAO, Tegucigalpa, Honduras. Consultado oct. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3442s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2017. Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo (en línea). FAO, Roma, Italia. Consultado oct. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/>
- Ferrara, A; Lovelli, S; Di Tommaso, T; Perniola, M. 2011. flowering, growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under water stress. *Journal of Agronomy* 10(1):12-19.
- Gallardo, M; Thompson, RB; Valdez, LC; Fernández, MD. 2004. Response of stem diameter variations to water stress in greenhouse-grown vegetable crops. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 81(3):483-495.
- Ghoneim, I. 2005. Effect of nitrogen fertilization and its application systems on vegetative growth, fruit yield and quality of sweet pepper. *J. Agric. & Env. Sci. Alex. Univ., Egypt* 4(2):58-77.
- Gleick, PH; Christian-Smith, J; Cooley, H. 2011. Water-use efficiency and productivity: rethinking the basin approach. *Water International* 36(7):784-798.
- González-Real, M; Baille, A; Liu, HQ. 2008. Influence of fruit load on dry matter and N-distribution in sweet pepper plants. *Scientia Horticulturae* 117:307-315.
- González-Real, MM; Baille, A; Liu, HQ. 2009. Influence of fruit sink strength on the distribution of leaf photosynthetic traits in fruit-bearing shoots of pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Environmental and Experimental Botany* 66:195-202.
- Hakki, O; Yildirim, M. 2015. Water and radiation use efficiencies of pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Carliston). *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences* 2(2A):87-93.
- Heuvelink, E; Marcelis, L. 2002. How to reduce yield fluctuations in sweet pepper? *Acta Horticulturae* 349-355.
- Iqbal, S; Tak, HI; Inam, A; Inam, A; Sahay, S; Chalkoo, S. 2015. Comparative effect of wastewater and groundwater irrigation along with nitrogenous fertilizer on Growth, photosynthesis and productivity of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Plant Nutrition* 38(7):1006-1021.
- Jara, D. 2016. Evaluación de tres híbridos de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía con tres mezclas de sustrato. Tesis Lic. Guayaquil, Ecuador, Universidad de Guayaquil. 62 p.
- Kanwar, D; Dikshit, S; Sharma, G; Patel, K; Agrawal, R; Sarnaik, D. 2013. Studies on effect of fertigation on growth and yield attributing characters of

- sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under black polyethylene mulch. *J. Soils and Crops* 23(1):73-77.
- Li, X; Kang, S; Li, F; Zhang, X; Huo, Z; Ding, R; Tong, L; Du, T; Li, S. 2017. Light Supplement and carbon dioxide enrichment affect yield and quality of off-season Pepper. *Agron. J.* 109:2107-2118.
- Maaiké, A. 2010. Towards stochastic simulation of crop yield: a case study of fruit set in sweet pepper. Tesis Ph.D. Wageningen, Países Bajos, Universidad de Wageningen. 157 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2007. *Agrocadena Regional Cultivo Chile Dulce*. San José, Costa Rica. 76 p.
- Mardaninejad, S; Tabatabaei, SH; Pessarakli, M; Zarebyaneh, H. 2017. Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. *Journal of Plant Nutrition* 40(10):1453-1464.
- Mbandlwa-Mthembu, N; Fotouo-M, H; Makgose, M; Sivakumar, D. 2020. Stomatal conductance, leaf chlorophyll content, growth, and yield of sweet pepper in response to plant growth regulators. *International Journal of Vegetable Science* 25(2):116-126.
- Mora, J; Echandi, C; Barrantes, L; Bonilla, K. 2018. Manual técnico basado en experiencias con el híbrido "Dulcítico" (*Capsicum annuum*) (en línea). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), San José, Costa Rica. Consultado oct. 2019. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-11058.pdf>
- Mundree, S; Baker, B; Mowla, S; Peters, S; Marais, S; Vander, C; Govender, K; Maredza, A; Muyanga, S; Farrant, J; Thomson J. 2002. Physiological and molecular Insights into drought tolerance. *African Journal of Biotechnology* 1(2):28-38.
- Munns, R; Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59:651-681.
- Mustafa, Z; Pervez, MA; Ayyub, CM; Matloob, A; Khaliq, A; Hussain, S; Ihsan, MZ; Butt, M. 2014. Morpho-physiological characterization of chilli genotypes under NaCl salinity. *Soil and Environment* 33(2):133-141.
- Navarro, J; Garrido, C; Flores, P; Martínez, V. 2010. The effect of salinity on yield and fruit quality of pepper grown in perlite. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(1):142-150.
- Noronha, F; Villas, R; Grava, L; Goto, R. 2004. Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. *Scientia Agricola* 61(1):62-68.
- ONU (Organización de Naciones Unidas). 2015. Noticias. Uso de fertilizantes sobrepasará 200 millones de toneladas en 2018 (en línea). Consultado ene. 2019. Disponible en <https://news.un.org/es/story/2015/02/1323401>
- Osakabe, Y; Arinaga, N; Umezawa, T; Katsura, S; Nagamachi, K; Tanaka, H; Ohiraki, H; Yamada, K; Seo, S; Abo, M; Yoshimura, E; Shinozaki, K; Yamaguchi-Shinozaki, K. 2013. Osmotic stress responses and plant growth controlled by potassium transporters in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* 25:609-624.
- Preciado-Rangel, P; Rueda-Puente, EO; Valdez-Aguilar, LA; Reyes-Pérez, JJ; Gallegos-Robles, MA; Murillo-Amado, B. 2021. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva y su efecto en compuestos bioactivos y rendimiento de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24(52):1-12.
- Prieto, M; Peñalosa, J; Sarro, M; Zornoza, P; Gárate, A. 2007. Seasonal effect on Growth parameters and macronutrient use of sweet pepper. *Journal of Plant Nutrition* 30:1803-1820.
- Qian, T; Dieleman, JA; Elingsa, A; Marcelis, LFM. 2012. Leaf photosynthetic and morphological responses to elevated CO₂ concentration and altered fruit number in the semi-closed greenhouse. *Scientia Horticulturae* 145:1-9.
- Qiu, R; Song, J; Du, T; Kang, S; Tong, L; Chen, R; Wu, L. 2013. Response of evapotranspiration and yield to planting density of solar greenhouse grown tomato in northwest China. *Agricultural Water Management* 130:44-51.
- Quesada, G. 2015. Producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. *Agronomía Costarricense* 39(1):25-36.
- Rubio, JS; García-Sánchez, F; Rubio, F; Martínez, V. 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. *Scientia Horticulturae* 119:79-87.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2018. Boletín Estadístico Agropecuario. San José, Costa Rica. 143 p.
- Sharma, H; Shukla, M; Bosland, P. 2015. Physiological responses of greenhouse-grown drip-irrigated chile pepper under partial root zone drying. *Hortscience* 50(8):1224-1229.
- Soto-Bravo, F; Araya-Cubero, EA; Echandi-Gurdian, C. 2020. Efecto de la densidad de siembra y volumen de sustrato sobre parámetros de riego y rendimiento de chile dulce 'dulcítico' en hidroponía bajo invernadero. *Agronomía Costarricense* 44(1):43-64.
- Tadesse, T; Nichols, M; Fisher, K. 2010. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 27:229-237.
- Taiz, L; Zeiger, E. 2002. *Plant physiology*. Massachusetts, USA, Sunderland: Sinauer. 675 p.
- Tanaskovik, V; Cukaliev, O; Spalevic, V; Moteva, M; Markoski, M. 2017. Effects of irrigation and fertilization on the number of formed flower and fruits sets in pruned pepper. p. 2184-2192.

- Torralbo, F; Begoña, M; Baroja, E; Aranjuelo, I; Gonzáles, C. 2019. Differential regulation of stomatal conductance as a strategy to cope with ammonium fertilizer under ambient versus elevated CO₂. *Frontiers in Plant Science* 10(597):1-12.
- Trejo-Téllez, L; Gómez-Merino, F. 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. *In* Toshiki, A (ed.). *Hydroponics - A standard methodology for plant biological Researches*. Rijeka, Croatia, InTech. p. 1-22. Consultado oct. 2019. Disponible en <http://www.intechopen.com/books/hydroponics-a-standardmethodology-for-plant-biological-researches/nutrient-solutions-for-hydroponic-systems>
- United Nations. 2019. Launch of the UN global campaign on sustainable nitrogen Management (en línea). Consultado oct. 2019. Disponible en <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/speech/launch-un-global-campaign-sustainable-nitrogen-management>
- Verma, R. 2012. Growth, physiology and yield of chilli (*Capsicum annum* L.) genotype under different fertility levels. Tesis M.Sc. Raipur, India, Indira Gandhi Krishi Vishwavidyalaya. 120 p.
- Wamser, A; Cecilio, A; Dalmazzo, R; Mendoza-Cortez, J; Urrestarazu, M. 2017. Influence of drainage and nutrient-solution nitrogen and potassium concentrations on the agronomic behavior of bell-pepper plants cultivated in a substrate. *PLOS ONE* 12(7):e0180529.
- Wubs, AM; Heuvelink, E; Marcelis, LFM. 2009. Abortion of reproductive organs in sweet pepper (*Capsicum annum* L.): a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84(5):467-475.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2016. The United Nations world water development report 2016: water and jobs. UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, ed.). Paris. 148 p.
- Yildirim, M; Demirel, K; Bahar, E. 2017. Radiation use efficiency and yield of pepper (*Capsicum annum* L. cv. California Wonder) under different irrigation treatments. *J. Agr. Sci. Tech.* 19:693-705.
- Zolin, M; Rezende, R; Candido, AH; Silva, FA; Salim, C; de Castro, C. 2018. Gas exchange, leaf and root dry mass in bell pepper under fertigation with nitrogen and potassium. *Semina Ciencias Agrarias* 39(2):511-520.



EVALUACIÓN DE HERBICIDAS PREEMERGENTES PARA EL CONTROL DE ARVENSES EN CAMOTE

Franklin Herrera-Murillo¹*, Grettel Picado-Arroyo²

Palabras clave: Malezas; competencia; herbicidas; *Ipomoea batatas*; rendimiento.

Keywords: Weeds; competition; herbicides; *Ipomoea batatas*; yield.

Recibido: 28/02/22

Aceptado: 07/07/22

RESUMEN

Introducción. Un manejo inadecuado de las arvenses puede disminuir el rendimiento del camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) y en Costa Rica son escasas las publicaciones que documenten alternativas de control químico en este cultivo. **Objetivo.** Identificar herbicidas preemergentes efectivos en el control de las arvenses y selectivos al camote variedad Zanahoria. **Materiales y métodos.** El experimento se realizó de setiembre a diciembre de 2019 en la Estación Experimental Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica, Alajuela. Se utilizaron esquejes de 4 a 5 nudos de la variedad de camote Zanahoria, a una densidad de 22 222 plantas por hectárea. Los tratamientos fueron metribuzin 0,6 kg ia.ha⁻¹, pendimetalina 1,5 kg ia.ha⁻¹, clomazone 0,48 kg ia.ha⁻¹, metribuzin 0,6 kg ia.ha⁻¹ + pendimetalina 1,5 kg ia.ha⁻¹, y metribuzin 0,6 kg ia.ha⁻¹ + clomazone 0,48 kg ia.ha⁻¹, aplicados 5 días después del trasplante y en preemergencia

de las arvenses. Se consideró además un testigo con deshierba a los 20 y 40 días después de la siembra, y otro con libre crecimiento de arvenses. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con 7 tratamientos y 4 repeticiones. **Resultados.** La mezcla metribuzin + clomazone fue el tratamiento químico más eficaz, ya que aún 75 días después de la aplicación presentó un control de arvenses de hoja ancha de 93%, poáceas de 95% y Commelinaceae del 100%, con solo un 4% de cobertura de arvenses y un rendimiento comercial de 13,5 t.ha⁻¹. Estadísticamente la mezcla metribuzin + clomazone presentó un rendimiento comercial igual al testigo con deshierbas (14,1 t.ha⁻¹). El metribuzin causó daños leves en las plantas de camote, pero estas se recuperaron a los 15 días después de la aplicación. La presencia de arvenses durante el ciclo del cultivo redujo en 89% el rendimiento de camotes comercializables. **Conclusión.** La mejor alternativa química para el manejo de las arvenses y la producción de camotes comercializables fue metribuzin + clomazone.

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: franklin.herrera@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), Proyecto 736A2801, Alajuela, Costa Rica.

 0000-0001-5106-7940.

2 Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), Proyecto 736A2801, Alajuela, Costa Rica.

 0000-0002-0251-2224.

ABSTRACT

Evaluation of pre-emergent herbicides for weed control in sweet potato. Introduction.

Inadequate weed management can reduce sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) yield and in Costa Rica there are few publications that document chemical control alternatives in this crop. **Objective.** To identify effective pre-emergent herbicides for weed control and selective for sweet potato variety “Carrot”. **Materials and methods.** The experiment was conducted from September to December 2019, at the Experiment Station Fabio Baudrit Moreno of the University of Costa Rica, Alajuela. Cuttings with 4 to 5 nodes of the “Carrot” sweet potato variety were used, at a density of 22 222 plants per hectare. Treatments were metribuzin 0.6 kg ai per ha, pendimethalin 1.5 kg ai per ha, clomazone 0.48 kg ai per ha, metribuzin 0.6 kg ai per ha + pendimethalin 1.5 kg ai per ha, and metribuzin 0.6 kg ai per ha + clomazone 0.48

kg ai per ha, all applied 5 days after transplant and before emerging of weeds. A control was also used with weeding at 20 and 40 days after sowing, and another with free growth of weeds. A randomized complete block experimental design with 7 treatments and 4 replications was used. **Results.** Metribuzin + clomazone mixture was the most effective chemical treatment, since at 75 days after application it still presented the highest weed control (broadleaf 93%, poaceae 95%, Commelinaceae 100%) with only 4% weed coverage, and a commercial yield of 13.5 t per ha. Statistically the metribuzin + clomazone mixture presented a commercial yield equal to the control with weeding (14.1 t per ha). Metribuzin caused slight damage to sweet potato plants, but they recovered at 15 days after application. The presence of weeds during the crop cycle reduced the yield of marketable sweet potatoes by 89%. **Conclusion.** The best chemical alternative for weed management and production of marketable sweet potatoes was metribuzin + clomazone.

INTRODUCCIÓN

El camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam., familia Convolvulaceae conocido también como batata o boniato, es originario de Centro y Sur América, desde donde pasó a muchas regiones del mundo, China es el principal productor (Tai-Hua y Peng-Gao 2019). Sus raíces reservantes se utilizan para consumo fresco, así como alimento procesado, alimentación animal (El Sheikha y Ray 2017, Tai-Hua y Peng-Gao 2019, Alam 2021), y para la producción de etanol (Anaya *et al.* 2008, Lopes *et al.* 2018).

En Costa Rica es un cultivo a pequeña escala, aunque en el 2020 se cultivaron en el mundo 7 400 472 ha con una producción de 89 487 835 toneladas métricas, para un rendimiento promedio de 12,09 t.ha⁻¹ (FAO 2020). El Censo Agropecuario del 2014, indica que en ese año se cultivó camote en 919 fincas, en 528 ha, de las cuales el 70% se ubicó en la Región

Huetar Norte, provincia de Alajuela (INEC 2022). Se considera un cultivo de importancia para el consumo humano y con potencial de exportación, sobre todo con la introducción de nuevas variedades que comparativamente ofrecen mayor rendimiento que el camote var. Criollo. Dentro de las nuevas variedades destaca la variedad Zanahoria de piel rosado-naranja, pulpa crema-naranja, con ciclo de 100 días y potencial de rendimiento de 48 t.ha⁻¹ (Castillo *et al.* 2014).

El libre crecimiento de arvenses durante el ciclo del cultivo puede causar pérdidas entre 81 y 99% en la producción de raíces reservantes comerciales según el cultivar, la densidad y tipos de arvenses dominantes (dos Santos *et al.* 2018). Sin embargo, es en sus primeras etapas es donde ocurre la mayor vulnerabilidad por competencia con arvenses, por lo cual el control de éstas, debe enfocarse durante el periodo crítico de esa competencia. Talatala *et al.* (1978)

determinaron el periodo crítico de competencia del camote entre 0 y 4 semanas después del trasplante (sdt); mientras que Seem *et al.* (2003) lo señalan entre 2 y 6 sdt, y Levett (1992) entre 1 y 8 sdt. Estas diferencias de semanas pueden deberse a que el periodo crítico de competencia cambia según la variedad, localidad, tipo y densidad de arvenses, lo que hace que los periodos críticos reportados en la literatura estén entre 0 y 8 semanas después del trasplante.

Dentro de las estrategias más comunes para el manejo de arvenses, están las deshierbas mecánicas y el uso de herbicidas preemergentes para minimizar la presencia de arvenses durante el periodo crítico de competencia. En Costa Rica no se identificó ningún herbicida registrado para este cultivo. Sin embargo, en otros países existen evaluaciones sobre eficacia y selectividad de varios herbicidas preemergentes en camote, entre los que destacan ingredientes activos como pendimetalina, especialmente para control de poáceas (Meyers *et al.* 2019, Hormenoo *et al.* 2021), metribuzin para control de hoja ancha y poáceas (Glaze y Hall 1990, Motsenbocker y Monaco 1993, Meyers *et al.* 2013), y clomazone, aplicado entre 0 y 5 días después del trasplante del camote, para control de poáceas y hojas anchas (Harrison y Jackson 2011, Meyers *et al.* 2013, dos Santos *et al.* 2018, Dittmar y Boyd 2020).

En Costa Rica, se hace necesario evaluar herbicidas preemergentes, especialmente en variedades mejoradas, para ofrecer a los productores, opciones de combate químico, así como recomendaciones más precisas sobre herbicidas para el control de arvenses sin causar efectos negativos en el cultivo.

El objetivo de este experimento fue identificar tratamientos con herbicidas preemergentes que, aplicados temprano en postrasplante, resulten efectivos en el control de las arvenses asociadas al cultivo y selectivos para el camote variedad Zanahoria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el lote 27 de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) de la Universidad de Costa Rica, ubicada en La Garita, Alajuela, Costa Rica (N 10°00'26"; O 84°15'57) a 840 msnm y clasificada dentro de la zona de vida bosque húmedo premontano (Holdrige 1982). La preparación del terreno consistió en un pase de arado de disco, 2 pases de rastra y conformación de lomillos de 0,5 m de alto, distanciados a 0,9 m entre sí. El suelo fue de textura franco (50% arena, 28% limo, 22% arcilla) y 5,3% de materia orgánica. Los datos del análisis químico del suelo se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis químico del suelo donde se instaló el experimento de herbicidas preemergentes en camote, var. Zanahoria. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Análisis químico del suelo													
Solución Extractora:		pH	cmol(+).L ⁻¹					%	mg.L ⁻¹				
KCl-Olsen Modificado		H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
LOTE 27	S-22-00819	6,0	0,11	9,80	4,19	0,76	14,86		0,7	9	2,2	19	172

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada.

CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez+Ca+Mg+K.

SA=Porcentaje de Saturación de Acidez=(Acidez/CICE)*100.

Dos días antes de la siembra del camote, se aplicó el herbicida glufosinato de amonio ($0,45 \text{ kg ia.ha}^{-1}$) para eliminar la vegetación presente en estado de 2 a 5 hojas. La siembra del camote se hizo el 1 de setiembre de 2019, con esquejes de 4 a 5 nudos, 2 de ellos enterrados. La distancia de siembra fue de 0,5 m entre esquejes y 0,9 m entre lomillos ($22 \text{ 222 plantas.ha}^{-1}$). Se fertilizó con espeque, 21 días después de la siembra a razón de 27 kg.ha^{-1} de nitrógeno, 81 kg.ha^{-1} de fósforo y 27 kg.ha^{-1} de potasio.

Los tratamientos evaluados se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos evaluados en el experimento.
Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno.
Alajuela, Costa Rica. 2019.

# Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis kg ia.ha^{-1}
1	Metribuzin	0,6
2	Pendimetalina	1,5
3	Clomazone	0,48
4	Metribuzin + pendimetalina	0,6 + 1,5
5	Metribuzin + clomazone	0,6 + 0,48
6	Testigo con deshiera 20 y 40 dds	---
7	Testigo a libre crecimiento de arvenses	---

La aplicación de los herbicidas se hizo entre 8 y 10 de la mañana, 5 días después de la siembra del camote. Se utilizó un aspersor de motor con barra de 7 boquillas antideriva 110015, calibrado para aplicar un volumen de $300 \text{ l de caldo.ha}^{-1}$. Durante la aplicación el viento fue calmo, día nublado y suelo húmedo debido a que llovió la noche anterior.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Cada parcela experimental estuvo conformada por 5

surcos de 5 m de largo, de los cuales los 3 surcos centrales, menos 0,5 m en cada uno de sus extremos, conformaron la parcela útil. El experimento fue diseñado para evaluar el efecto de los tratamientos por grupos de arvenses (hojas anchas, poáceas, commelináceas y ciperáceas). No se analizaron las ciperáceas debido a que se presentaron en baja densidad y una vez evaluada, ninguno de los tratamientos tuvo efecto sobre ellas.

Este experimento se realizó en el periodo de setiembre a diciembre de 2019, de manera que los 3 primeros meses de su ciclo de vida ocurrió en la estación lluviosa, en la cual se mantuvo suficiente humedad para la actividad herbicida y para el crecimiento del cultivo; mientras que en los últimos 10 días de su ciclo no llovió, pero el cultivo estaba próximo a la cosecha por lo que no se aplicó riego.

Las variables evaluadas fueron:

- Número y porcentaje de control de arvenses de hoja ancha, poáceas y commelináceas a los 15, 35 y 75 días después de la aplicación de los herbicidas (dda). Se utilizó la escala porcentual de Frans *et al.* 1986.
- Fitotoxicidad en las plantas de camote a los 15 y 35 dda. Se utilizó una escala porcentual de 0 a 100, donde 0 fueron plantas sin síntomas, 1 a 10 daños muy leves, 11 a 25% daños leves; 26 a 50% daños moderados; 51 a 75% daños severos; 76 a 99% daños muy severos y 100% muerte de todas las plantas.
- Porcentaje de cobertura de las arvenses y del follaje del camote a los 35 y 75 ddah. Para estimar los datos de porcentaje se utilizó un marco de 1 m^2 con 100 cuadrículas, se contó el número de cuadrículas ocupadas por las plantas de camote, o por los grupos de arvenses antes indicados.
- Rendimiento de los camotes de primera (sanos de 200 a 500 g), segunda (sanos de 80 a 199 g), rechazo (dañados, muy deformes o con menos de 79 g), y total comercial (primera y segunda). La clasificación de las categorías de camote se hizo según

la utilizada por los productores de camote que comercializan en el Centro Nacional de Abastecimiento (CENADA).

Los datos fueron sometidos a análisis de cumplimiento de los supuestos del Andeva, si no se cumplió con alguno de estos supuestos, se aplicó Kruskal-Wallis, y donde estos supuestos se cumplieron se hizo un ANOVA y comparación de medias por la prueba de DMS al 1%.

RESULTADOS

Especies de arvenses presentes en el experimento. El experimento inició con 0 arvenses al momento de la aplicación de los herbicidas, ya que se aplicó glufosinato de amonio 3 días antes. La clasificación de las arvenses presentes se hizo 2 semanas después de la siembra en 8 parcelas testigo sin control de malezas ubicadas dentro del mismo experimento. Las especies que se presentaron se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Especies presentes en el lote 27 donde se realizó el experimento con herbicidas preemergentes en camote. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Especie	Familia	Nombre común
<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich.ex.Rich) DC	Asteraceae	Flor amarilla
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Asteraceae	Mielcilla
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Asteraceae	Santa Lucía
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Portulacaceae	Verdolaga
<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) Clayton.	Poaceae	Invasor
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Poaceae	Pata de gallina
<i>Sorghum sudanensis</i> (Piper) Stapf.	Poaceae	Sorgillo
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	Poaceae	Arrocillo
<i>Ixophorus unisetus</i> (J.Presl) Schldl	Poaceae	Honduras
<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	Commelinaceae	Siempre viva
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	Coyolillo morado
<i>Cyperus esculentus</i> L.	Cyperaceae	Coyolillo amarillo

Las especies presentes de forma abundante fueron *Melampodium divaricatum* (Rich. ex.Rich) DC., *Galinsoga parviflora* Cav., *Sorghum sudanensis* (Piper) Stapf., *Ixophorus unisetus* (J.Presl) Schldl., y *Commelina diffusa* Burm.f.

Eficacia de los herbicidas sobre las arvenses de hoja ancha. El menor número de arvenses de hoja ancha durante el periodo de evaluación se observó en los tratamientos que incluyeron metribuzin, con valores entre 1 y 13 plantas por m², en contraposición al testigo enmalezado que llegó a tener 67 malezas de hoja

ancha por m² a los 75 días después de la aplicación de los herbicidas (dda). Consecuentemente, en los mismos tratamientos con metribuzin se registró el mayor porcentaje de control, con valores de 88 a 100% cuando se aplicó el metribuzin solo, o entre 91 a 100% de control cuando se aplicó en mezcla con clomazone o con pendimetalina respectivamente (Tabla 4). La pendimetalina y el clomazone aplicados solos, no tuvieron efecto sobre las especies de hoja ancha presentes, debido a que son herbicidas con acción principalmente sobre especies de la familia Poaceae.

Tabla 4. Número y porcentaje de control de arvenses de hoja ancha con herbicidas preemergentes en camote. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamientos (herbicidas kg ia.ha ⁻¹)	Número de plantas de hojas ancha por m ² ***			% control de arvenses de hoja ancha ***		
	15 dda**	35 dda	75 dda	15 dda	35 dda	75 dda**
Testigo enmalezado	27 a	66 a	67 a	---	---	---
Deshierba 20 y 40 dds*	31 a	62 a	56 a	0 b	60 b	75 ab
Metribuzin 0,6	1 b	7 b	9 b	100 a	97 a	88 ab
Pendimetalina 1,5	15 ab	23 ab	30 ab	21 b	47 b	9 b
Clomazone 0,48	13 ab	20 ab	24 ab	86 ab	85 ab	36 b
Pendimetalina 1,5 + Metribuzin 0,6	2 b	12 ab	13 ab	98 ab	97 a	91 ab
Clomazone 0,48 + Metribuzin 0,6	1 b	4 b	5 b	100 a	98 a	93 a

*dds = días después de la siembra. Las deshierbas se hicieron 5 días después del conteo de arvenses.

**dda = días después de la aplicación de los herbicidas.

***Los valores de estas variables corresponden a medias reales, letras iguales en una misma columna indican que las diferencias entre ellas no son estadísticamente significativas, según prueba de pares con probabilidad 0,05. Datos analizados por Kruskal-Wallis dado que no se cumplieron todos los supuestos del análisis de variancia. Para la variable porcentaje de control no se presentan datos para el testigo enmalezado ya que éste se utilizó como referencia para estimar los valores porcentuales de los demás tratamientos.

Eficacia de los herbicidas sobre las arvenses de la familia Poaceae. El metribuzin y el clomazone, tanto aplicados solos, como en mezcla, y metribuzin + pendimetalina, redujeron significativamente el número de arvenses de la familia Poaceae en comparación al testigo enmalezado. En estos tratamientos herbicidas durante el periodo de evaluación no se superó las 6 arvenses por m² (Tabla 5). En cuanto al porcentaje de control de estas arvenses, la mezcla metribuzin + clomazone fue la más efectiva, con 94 a 97% de control en el periodo de evaluación, seguida de la mezcla metribuzin + pendimetalina

con valores de 92 a 86% de control (Tabla 5). Metribuzin y clomazone, aplicados solos, mostraron porcentajes de control entre 85 y 92% hasta los 35 dda, pero estos porcentajes de control bajaron a valores de 61 y 64% a los 75 dda, debido a nueva emergencia de algunas plantas de *Sorghum sudanensis* (Piper) Stapf. e *Ixophorus unisetus* (J.Presl) Schltl, especies de mayor abundancia en el experimento. Por el contrario, los bajos porcentajes de control de poáceas (20 a 53%) con la pendimetalina se deben a que no fue efectiva contra *S. sudanensis*, pero sí contra las otras poáceas presentes.

Tabla 5. Número y porcentaje de control de poáceas con herbicidas preemergentes en camote. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamientos (herbicidas kg ia.ha ⁻¹)	Número de poáceas por m ² ***			% control de poáceas***		
	15 dda	35 dda	75 dda**	15 dda	35 dda	75 dda
Testigo enmalezado	14 a	15 ab	17 a	---	---	---
Deshierba 20 y 40 dds*	8 ab	19 a	20 a	0 b	58 b	70 ab
Metribuzin 0,6	3 b	4 b	5 b	90 ab	88 ab	61 b
Pendimetalina 1,5	7 ab	9 ab	12 ab	20 b	53 b	35 b
Clomazone 0,48	1 b	2 b	4 b	85 ab	92 ab	64 b
Pendimetalina 1,5 + Metribuzin 0,6	6 ab	4 b	5 b	92 a	89 ab	86 ab
Clomazone 0,48 + Metribuzin 0,6	3 b	3 b	3 b	94 a	97 a	95 a

*dds = días después de la siembra. Las deshierbas se hicieron 5 días después del conteo de arvenses.

**dda = días después de la aplicación de los herbicidas.

***Los valores de estas variables corresponden a medias reales, letras iguales en una misma columna indican que las diferencias entre ellas no son estadísticamente significativas, según prueba de pares con probabilidad 0,05. Datos analizados por Kruskal-Wallis dado que no se cumplieron todos los supuestos del análisis de variancia. Para la variable porcentaje de control no se presentan datos para el testigo enmalezado ya que éste se utilizó como referencia para estimar los valores porcentuales de los demás tratamientos.

Eficacia de los herbicidas sobre arvenses de la familia Commelinaceae. De la familia Commelinaceae solo se registró la presencia de *Commelina diffusa*, con distribución uniforme en el lote donde se realizó el experimento. El metribuzin fue el único herbicida efectivo contra *C. diffusa*. No hubo presencia de esta arvense en este tratamiento y el porcentaje de control fue del 100% (Tabla 6). De manera similar, en

las mezclas de metribuzin con pendimetalina o con clomazone solo se registró una planta de *C. diffusa* por m² a los 75 días después de aplicados los herbicidas, por lo que, el porcentaje de control varió desde un 100% a los 15 días después de aplicados los herbicidas hasta un 95% de control a los 75 dda. Los herbicidas pendimetalina y clomazone no tuvieron efecto sobre esta arvense (Tabla 6).

Tabla 6. Número y porcentaje de control de *Commelina diffusa* con herbicidas preemergentes en camote. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamientos (herbicidas kg ia.ha ⁻¹)	Número de plantas de <i>C. diffusa</i> por m ² ***			% control de <i>C. diffusa</i> ***		
	15 dda	35 dda	75 dda	15 dda	35 dda	75 dda**
Deshierba 20 y 40 dds*	5 ab	5 ab	6 ab	0 b *	48 ab	73 ab
Testigo enmalezado	5 ab	9 a	13 a	---	---	---
Metribuzin 0,6	0 b	0 b	0 b	100 a	99 a	100 a
Pendimetalina 1,5	7 a	10 a	12 a	0 b	0 b	0 b
Clomazone 0,48	3 ab	4 ab	6 ab	0 b	0 b	0 b
Pendimetalina 1,5 + Metribuzin 0,6	0 b	0 b	1 b	100 a	96 ab	95 ab
Clomazone 0,48 + Metribuzin 0,6	0 b	0 b	1 b	100 a	100 a	97 a

*dds = días después de la siembra. Las deshierbas se hicieron 5 días después del conteo de arvenses.

**dda = días después de la aplicación de los herbicidas.

***Los valores de estas variables corresponden a medias reales, letras iguales en una misma columna indican que las diferencias entre ellas no son estadísticamente significativas, según prueba de pares con probabilidad 0,05. Datos analizados por Kruskal-Wallis dado que no se cumplieron todos los supuestos del análisis de variancia. Para la variable porcentaje de control no se presentan datos para el testigo enmalezado ya que éste se utilizó como referencia para estimar los valores porcentuales de los demás tratamientos.

Eficacia de las deshierbas sobre las arvenses. En el testigo con deshierbas a los 20 y 40 días después de la siembra del camote, se observó que en las evaluaciones a los 15 y 35 dda se registraron valores de número de arvenses similares al testigo enmalezado, debido a que las deshierbas correspondientes se hicieron 5 días después del recuento de las arvenses. Los valores de porcentaje de control para los diferentes grupos de arvenses oscilaron entre 48 y 60% a los 35 dda, y entre 70 y 75% de control a los 75 dda (Tablas 4, 5 y 6). Esos porcentajes de control intermedios se debieron a que después de las deshierbas hubo nueva germinación de arvenses, pero las plantas eran pequeñas y con menor cobertura que en el testigo enmalezado. Se utilizó ese testigo con 2 deshierbas, ya que es una práctica que utilizan algunos productores ante la no disponibilidad de herbicidas, o bien,

porque no desean utilizar control químico de arvenses en camote.

Porcentaje de cobertura del suelo por grupo de arvenses. Esta variable se midió solo a los 35 y 75 dda, y en ambas fechas la menor cobertura por especies de hoja ancha, poáceas y *Commelina diffusa* ocurrió cuando se aplicaron las mezclas de pendimetalina + metribuzin y clomazone + metribuzin (Tabla 7). Asimismo, el metribuzin fue efectivo contra *Commelina diffusa*, ya que no se observó cobertura de esta especie en este herbicida durante las 2 evaluaciones realizadas.

Los tratamientos con metribuzin presentaron los menores porcentajes de cobertura tanto de especies de hoja ancha como de *C. diffusa* durante el periodo de evaluación, y además fue efectivo contra las poáceas durante los primeros 35 dda.

Tabla 7. Porcentaje de cobertura por arvenses de hoja ancha, poáceas y *Commelina diffusa* a los 35 y 75 días después de la aplicación (dda) con herbicidas preemergentes en camote.

Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno.

Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamiento (herbicidas kg ia.ha ⁻¹)	Hoja ancha		Poáceas		Commelina	
	35dda	75dda	35dda	75dda	35dda	75dda
Testigo enmalezado	36 a**	50 a	18 a	40 a	8 a	1 bc
Deshierba a los 20 y 40 dds*	14 b	13 bc	11 ab	12 cd	5 ab	1 bc
Metribuzin 0,6	1 c	11 bc	5 bc	23 bc	0 b	0 c
Pendimetalina 1,5	14 b	40 a	11 ab	28 ab	9 a	3 ab
Clomazone 0,48	9 b	36 ab	4 bc	18 bc	8 a	4 a
Pendimetalina 1,5 + metribuzin 0,6	1 c	5 c	6 bc	7 cd	0 b	0 c
Clomazone 0,48 + metribuzin 0,6	1 c	4 c	1 c	4 d	0 b	0 c

*dds = días después de la siembra. Las deshierbas se hicieron 5 días después de la evaluación de porcentaje de cobertura por las arvenses.

**Medias con igual letra en una misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí, según la prueba de DMS al 1%. Se realizó ANOVA porque todas las variables cumplieron con los supuestos del análisis de varianza.

Porcentaje de cobertura del suelo por el total de arvenses y el follaje del camote. Como se observa en la Tabla 8, el tratamiento que mantuvo la mayor cobertura por el total de arvenses durante las evaluaciones, fue el testigo enmalezado con un 91% de cobertura a los 75 dda. Las

mezclas de pendimetalina + metribuzin y clomazone + metribuzin mostraron el menor porcentaje de cobertura, incluso a los 75 días después de su aplicación, con valores por debajo del 12%. El tratamiento con 2 deshierbas mantuvo un porcentaje de cobertura por debajo del 30%.

Tabla 8. Porcentaje de cobertura del total de arvenses y del follaje del camote a los 35 y 75 días después de la aplicación (dda), en el experimento con herbicidas preemergentes en camote.

Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno.

Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamientos (herbicidas en kg ia.ha ⁻¹)	Total de arvenses		Follaje camote	
	35 dda	75 dda	35 dda	75 dda
Testigo enmalezado	62 a**	91a	28 ns	6 d
Deshierba a los 20 y 40 dds*	30 b	26 de	45	74 a
Metribuzin 0,6	6 d	34 cd	33	64 ab
Pendimetalina 1,5	34 b	71 ab	31	13 cd
Clomazone 0,48	21 bc	58 bc	40	39 bc
Pendimetalina 1,5 + metribuzin 0,6	8 cd	13 de	33	66 ab
clomazone 0,48 + metribuzin 0,6	2 d	8 e	38	92 a

*dds= días después de la siembra. Las deshierbas se hicieron 5 días después de la evaluación de porcentaje de cobertura por las arvenses.

**Medias con igual letra en una misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí, según la prueba de DMS al 1%. Se realizó ANOVA porque todas las variables cumplieron con los supuestos del análisis de varianza.

El porcentaje de cobertura debido al follaje de camote no evidenció diferencias significativas entre tratamientos a los 35 dda. A los 75 dda el mayor porcentaje de cobertura ocurrió cuando se aplicó el tratamiento metribuzin + clomazone, seguido del testigo que recibió las 2 deshierbas. En los tratamientos donde la cobertura por arvenses fue mayor, la cobertura por el follaje de camote fue menor, resultado principalmente de la interferencia causada por las arvenses.

Selectividad de los herbicidas al camote.

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para el daño ocasionado por los herbicidas a las plantas de camote. Solamente en los tratamientos con metribuzin, se observaron algunas plantas con áreas necróticas en los brotes, pero estos daños fueron calificados en la categoría de muy leves, y las plantas se recuperaron aproximadamente a las 2 semanas después de la aplicación del herbicida, y todo el tejido nuevo estuvo sano.

Efecto de los tratamientos en el rendimiento del camote. El mayor rendimiento de las raíces reservantes del camote de primera, segunda y total comercial, ocurrió en el tratamiento con deshierbas a los 20 y 40 días después del trasplante, con valores de 11 610, 2575 y 14 185 kg.ha⁻¹ respectivamente. El segundo mayor rendimiento se registró en la mezcla metribuzin + clomazone con valores de 11 870 kg.ha⁻¹ de raíces reservantes de primera, 1635 kg.ha⁻¹ de segunda y 13 505 kg.ha⁻¹ total comercial. La mezcla metribuzin + pendimetalina también tuvo un rendimiento similar a la mezcla anterior, con valores de 9370, 978 y 10 348 kg.ha⁻¹ de raíces reservantes de primera, segunda y total comercial respectivamente (Tabla 9). No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el peso de camotes de rechazo, que osciló entre 1700 y 3075 kg.ha⁻¹.

Tabla 9. Efecto de los tratamientos herbicidas en el rendimiento (kg.ha⁻¹) de camote de primera, segunda, total comercial (primera más segunda). Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamiento (herbicidas en kg ia.ha ⁻¹)	Primera	Segunda	Total comercial	Rechazo
Testigo enmalezado	898 b**	643 ns	1540 c	2450 ns
Deshierba a los 20 y 40 dds*	11 610 a	2575	14 185 a	2675
Metribuzin 0,36	7800 ab	1415	9215 ab	1987
Pendimetalina 1,5	2755 b	875	3630 bc	1700
Clomazone 0,48	5400 ab	1698	7098 bc	3075
Pend. 1,5 + metribuzin 0,36	9370 a	978	10 348 ab	2140
clomazone 0,48+metribuzin 0,36	11 870 a	1635	13 505 ab	2225

*dds = días después de la siembra. Las deshierbas se hicieron 5 días después de la evaluación de porcentaje de cobertura por las arvenses.

**Medias con igual letra en una misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí, según la prueba de DMS al 1%. Se realizó ANOVA porque todas las variables cumplieron con los supuestos del análisis de varianza.

El mayor rendimiento de camote comercializable se obtuvo en los tratamientos que tuvieron el mayor porcentaje de control y la menor cobertura por las arvenses hasta los 75

dda. El menor rendimiento de raíces reservantes comerciales se obtuvo en el testigo enmalezado con solo 1540 kg.ha⁻¹.

DISCUSIÓN

En el lote experimental se encontraron 10 especies de arvenses, de las cuales 4 corresponden al grupo de hojas anchas, 5 a poáceas y una a Commelinaceae; todas ellas comunes en el cultivo de camote en la región Occidental de Alajuela. La excepción fue *Sorghum sudanensis* de reciente aparición en esta zona. Las arvenses de hoja ancha proporcionaron la mayor cobertura, seguidas de *S. sudanensis* que se presentó en parches y alcanzó una altura de aproximadamente 1,5 m; mientras que, *C. diffusa* tuvo baja cobertura, crecimiento rastrero, pero distribución uniforme en el lote.

Con respecto a la eficacia de los herbicidas evaluados, se evidenció que las mezclas de metribuzin + clomazone y de metribuzin + pendimetalina, fueron las más efectivas contra las especies de hoja ancha, poáceas y *Commelina diffusa*, lo que se manifestó en valores más altos de control (86-100%) y valores más bajos de cobertura del suelo por estas arvenses (8 a 13%) durante el periodo de evaluación que cubrió 75 días después de aplicados los herbicidas.

El uso de mezclas permitió ampliar el rango de control de las arvenses, ya que estas fueron más efectivas que la aplicación de los mismos herbicidas solos. Los herbicidas aplicados por separado fueron efectivos sobre las arvenses que se sabe controlan, pero dejaron arvenses no controladas que impactaron negativamente el rendimiento. Así por ejemplo, la pendimetalina se indica que es eficaz contra poáceas sin afectar el rendimiento del camote incluso a una dosis de 2,13 kg ia.ha⁻¹ (Meyers et al. 2019, Hormenoo et al. 2021); sin embargo, en este experimento, no tuvo efecto sobre la especie *Sorghum sudanensis*, lo que explica que los valores de control para este grupo de arvenses fueran relativamente bajos con este herbicida, que además impactó negativamente el rendimiento en este tratamiento.

En relación al metribuzin, los resultados concuerdan con lo indicado sobre su eficacia en especies de hoja ancha y algunas poáceas (Glaze y Hall 1990, Motsenbocker y Monaco 1993, Meyers et al. 2013). Además, en este experimento

un dato relevante fue su eficacia sobre *Commelina diffusa*, especie que se ha propagado con facilidad en este y otros cultivos, dado su eficiente mecanismo de reproducción sexual y asexual y por ser poco afectada por herbicidas como el paraquat, glufosinato de amonio y glifosato, utilizados en preparación de sitio o en aplicaciones dirigidas a las arvenses. Un aspecto relevante con el uso de este herbicida en camote, es que se pueden presentar síntomas de toxicidad, que en este experimento fueron daños muy leves en las plantas y que desaparecieron aproximadamente 2 semanas después de la aplicación. Al respecto Meyers et al. (2017) observaron daños, incluso a dosis menores (202 g ia.ha⁻¹), en las variedades Beauregard y Covington aplicado 2 semanas después del trasplante e indican que los síntomas de toxicidad disminuyeron hasta desaparecer a las 10 semanas después de la aplicación, sin reducir el rendimiento. También Motsenbocker y Monaco (1993) en un estudio de sensibilidad de clones de camote al metribuzin, encontraron diferencias entre clones, algunos de los cuales, como Tinian, soportaron hasta 1,1 kg.ha⁻¹ aplicado 3 semanas después del trasplante, sin causar síntomas de toxicidad y sin reducir el rendimiento, mientras que en otros clones, dosis menores causaron daños a las plantas y redujeron el rendimiento. Estos resultados sugieren la necesidad de evaluar con más detalle el uso de metribuzin en las variedades de camote que se siembran en el país.

El clomazone aplicado solo, mostró buen efecto contra poáceas y hojas anchas durante los primeros 35 dda, lo que concuerda con lo indicado por varios autores (Lugo-Torres y Diaz 2007, Harrison y Jackson 2011, Meyers et al. 2013, Beam et al. 2017, dos Santos et al. 2018, Dittmar y Boyd 2020), sin embargo, no tuvo efecto sobre *Commelina diffusa*, y hubo nueva emergencia de arvenses que llegaron a alcanzar un 58% de cobertura a los 75 dda, lo que pudo influir en un menor rendimiento del camote. Sin embargo, la mezcla de este herbicida con metribuzin permitió el control de los grupos de arvenses presentes en el experimento durante el periodo crítico de competencia, el cultivo alcanzó el mayor porcentaje

de cobertura y la segunda mayor producción de camotes comercializables.

En términos generales los herbicidas pre-emergentes evaluados en este experimento mostraron ser eficaces a la dosis comercial utilizada para el control de las arvenses indicadas, esto en suelo franco y con 5,3% de materia orgánica. No obstante, bajo condiciones de suelos con mayores contenidos de arcillas y materia orgánica, podría ser necesario ajustar la dosis para compensar la adsorción de los herbicidas a estas partículas y mantener disponibilidad para su absorción por parte de las arvenses.

El rendimiento obtenido en los mejores tratamientos de este experimento concuerda con el promedio mundial de 12,09 t.ha⁻¹ (FAO 2020), pero están por debajo de lo reportado para la variedad Zanahoria, y por encima de la variedad Criollo que se cultiva en el país, según datos de Castillo *et al.* (2014), quienes utilizaron plantas procedentes de cultivo in vitro y libres de virosis. En este experimento se utilizó material procedente de plantas madres en campo y se aplicó una sola fertilización, por lo cual podría mejorarse los rendimientos si se abordan de mejor manera estos aspectos.

En este experimento fue notorio el efecto negativo de las arvenses si no son controladas durante el ciclo del cultivo, ya que en el testigo sin control de arvenses se registró una disminución del 89% en el rendimiento de camotes comercializables con respecto al tratamiento con deshierbas o a los mejores tratamientos químicos. Estos datos confirman lo susceptible que es el cultivo de camote a la competencia por arvenses, y concuerdan con lo reportado por dos Santos *et al.* (2018) quienes mencionan pérdidas de 81 a 99% en la producción de raíces reservantes comerciales, dependiendo del cultivar, la densidad y tipos de arvenses dominantes.

En el tratamiento con 2 deshierbas, una a los 20 y la otra a los 40 días después del trasplante, se registró el mayor rendimiento de raíces comercializables (14 185 kg.ha⁻¹), lo que sugiere que la presencia de arvenses que emergieron después de cada deshierba no interfirió con el

rendimiento, debido a que su porte fue bajo y no llegaron a sobrepasar al camote. Dos deshierbas realizadas dentro del periodo crítico de competencia del camote pueden de ser suficientes para reducir el efecto negativo de las arvenses en el cultivo, y una alternativa en el caso de que no se desee utilizar herbicidas. Sin embargo, se deben considerar los costos asociados a cada estrategia de manejo, algo que no se consideró en este experimento, y que se sugiere incorporarlo en otros estudios.

CONCLUSIONES

Las mezclas clomazone + metribuzin y pendimetalina + metribuzin fueron las más efectivas para el control de especies de hoja ancha, poáceas y *Commelina diffusa*, sin reducir el rendimiento de raíces comerciales de camote.

El metribuzin fue el único herbicida eficaz para el control de *C. diffusa*.

Solo el metribuzin causó daños leves temporales en las plantas de camote, pero no redujo el rendimiento de raíces reservantes comerciales.

El libre crecimiento de arvenses redujo en un 89% el rendimiento de raíces reservantes comerciales de la variedad de camote Zanahoria.

Con deshierba a los 20 y 40 días después de la siembra del camote se alcanzó un rendimiento similar al obtenido en los mejores tratamientos químicos.

LITERATURA CITADA

- Alam, KM. 2021. Comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): Revisiting the associated health benefits. Trends in Food Science & Technology (115):512-529. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.001>
- Anaya, F; Gómez, AL; Guerrero, M; Porlles, J; Woolcott, J; Erazo, R. 2008. Producción más limpia de etanol carburante de *Ipomoea batata* (camote) y su impacto en la contabilidad de reserva energética y el desarrollo sostenible del Perú. Rev. Per. Quím. Ing. Quím. 11(1):29-35.
- Beam, CS; Jennings, MK; Monks, WD; Schultheis, RJ; Chaudhari, S. 2017. Influence of herbicides on the development of internal necrosis of sweet potato.

- Weed Technology 31(6):863-869. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2017.60>
- Castillo, R; Brenes, A; Esker, P; Gómez-Alpizar, L. 2014. Evaluación agronómica de trece genotipos de camote (*Ipomoea batatas* L.). *Agronomía Costarricense* 38(2):67-81. DOI:10.15517/rac.v38i2.17275
- Dittmar, P; Boyd, NS. 2020. Weed management in sweet potato (en línea). Consultado 12 feb. 2022. Disponible en <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/WG039>
- dos Santos, AE; De Andrade Jr, CV; Silva JD; Dos Santos, AA; Medina JA; Teixeira, MC. 2018. Sensitivity of sweet potato genotypes to clomazone and weed interference. *Rev. Caatinga, Mossoró, Brasil* 31(2):352-359. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n211rc>
- El Sheikha, FA; Ray, CR. 2017. Potential impacts of bioprocessing of sweet potato: Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57(3):455-471.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2020. FAOSTAT: Producción y rendimiento de batatas en el mundo 1994-2020 (en línea). Consultado 18 feb. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Frans, RT; Albert, R; Marx, D; Crowley, H. 1986. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. *In* Camper, ND (ed.). *Research methods in weed science*. 3 ed. Champaign, IL, Southern Weed Science Society. p. 29-46.
- Glaze, CN; Hall, RM. 1990. Cultivation and herbicides for weed control in sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Weed Technology* 4(3):518-523. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00025896>
- Harrison Jr, HF; Jackson, DM. 2011. Greenhouse assessment of differences in clomazone tolerance among sweet potato cultivars. *Weed Technology* 25(3):501-505. DOI: <http://dx.doi.org/10.1614/WT-D-10-00132.1>
- Holdridge, RL. 1982. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Hormenoo, AY; Ekyen, SO; Bonsu, KO; Torve, V; Bright, R; Voegborlo, RB. 2021. Determination of some herbicide residues in sweet potato. *Cogent Food And Agriculture (Ghana)* 7(1):1-9. DOI: 10.1080/23311932.2021.1910159
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Costa Rica). 2022. *Censo Agropecuario 2014* (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 21 dic. 2021. Disponible en https://www.inec.cr/agropecuario/actividad-agricola?keys=camote&shs_term_node_tid_depth=All&field_periodo_tid=All&field_anio_documento_value%5Bvalue%5D%5Bdate%5D=
- Levett, MP. 1992. Effects of various hand-weeding programmes on yield and components of yield of sweet potato (*Ipomoea batatas*) grown in the tropical lowlands of Papua New Guinea. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 118(3):63-70.
- Lopes, CA; Vilela-Resende, JT; Machado, J; Perez-Guerra, E; Vilela-Resende, N. 2018. Producción de alcohol a partir de genotipos de batata (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) en medios fermentativos. *Acta Agron.* 67(2):231-237. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v67n2.65321>
- Lugo-Torres, M; Diaz, M. 2007. Weed control in sweet potato. [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. *J. Agric. Univ. P.R.* 91(3-4):161-167.
- Meyers, LS; Jennings, MK; Monks, WD. 2013. Herbicide-based weed management programs for palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in sweet potato. *Weed Technology* 27(2):331-340. DOI: <http://dx.doi.org/10.1614/WT-D-12-00036.1>
- Meyers, LS; Jennings, MK; Monks, WD. 2017. Sweet potato tolerance and palmer amaranth control with metribuzin and oryzalin. *Weed Technology* 31(6):903-907. DOI: 10.1017/wet.2017.56
- Meyers, LS; Chaudhari, S; Jennings, KM; Miller, KD; Shankle, WM. 2019. Response of sweet potato to pendimethalin application rate and timing. *Weed Technology* 34(2):301-304. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2019.103>
- Motsenbocker, EC; Monaco, JT. 1993. Differential tolerance of sweet potato (*Ipomoea batatas*) clones to metribuzin. *Weed Technology* 7(2):349-354.
- Seem, EJ; Creamer, GN; Monks, WD. 2003. Critical weed-free period for Beauregard' sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Weed Technology* 17(4):686-695. DOI: <http://dx.doi.org/10.1614/WT02-089>
- Tai-Hua, M; Peng-Gao, L. 2019. Sweet potato: origin and production. *In* Tai-Hua, M; Peng-Gao, L. (eds.). *Sweet potato: chemistry, processing and nutrition*. Netherlands, Academic Press Elsevier. 293 p.
- Talatala, RL; Mariscal, AM; Secreto, AC. 1978. Critical periods for weed control in sweet potato. *Philipp. J. Weed Sci.* 5:1-6.



COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE INJERTOS DE SANDÍA EN LA ZONA PUERTO CAYO EN ECUADOR

Julio Gabriel-Ortega^{1/*}, Jackson Medranda-Barre², Washington Narváez-Campana³,
Fernando Ayón-Villao⁴, Alfredo Castro-Landín⁵

Palabras clave: Morfológicas; agronómicas; bióticos; abióticos; organoléptica.

Keywords: Morphological; agronomic; biotic; abiotic; organoleptic.

Recibido: 06/05/22

Aceptado: 11/07/22

RESUMEN

Introducción. La sandía (*Citrullus lanatus* L.) es un cultivo importante en la zona de Puerto la Boca, que requiere del desarrollo de nuevas alternativas tecnológicas como los injertos para contrarrestar los problemas de plagas (áfidos, trips y mosca blanca) y enfermedades como el mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*). **Objetivo.** Evaluar el comportamiento agronómico de injertos de sandía y su rentabilidad. **Materiales y métodos.** Los ensayos fueron implementados en campo en un diseño experimental de bloques completamente aleatorios, donde se realizaron 10 tratamientos y 10 repeticiones. Los tratamientos resultaron de la combinación de 4 patrones de zapallo, 2 injertos de sandía y 2 testigos. Los patrones fueron: P1: alamama, P2: zapallo manabita, P3: zapallo verde y P4: zapallo guitarrilla grande. Los injertos fueron: I1: sandía

quetzalí e I2: sandía charleston gray y los testigos fueron los 2 últimos materiales. Las variables de respuestas fueron, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, número de guías, número de entrenudos, porcentaje de severidad del mildiu polvoso, número de flores, número de cuaje, número de frutos, volumen de fruto y peso de frutos. En poscosecha se evaluó el índice de refacción en núcleo, porcentaje de sólidos totales y temperatura. Se hizo un análisis de beneficio/costo de los tratamientos a través de presupuestos parciales. **Resultados.** Hubo un 91,06% de germinación de la semilla de las variedades de zapallo y sandía. Para transplantar, se colectaron 798 plantas injertadas (83,13%). La rentabilidad máxima (Beneficio/costo) de los frutos fue de US \$3,80 por la venta en supermercado y de US \$1,90 por la venta en el mercado de abasto de Jipijapa. **Conclusión.** Hubo una alta germinación de semilla de las variedades de zapallo y sandía,

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: julio.gabriel@unesum.edu.ec

1 Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.
 0000-0001-9776-9235.

2 Consultor independiente, Jipijapa, Manabí, Ecuador.
 0000-0003-3045-1462.

3 Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

 0000-0002-6674-2088.

4 Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

 0000-0003-4772-9344.

5 Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

 0000-0001-6340-8749.

obteniéndose suficientes plantas para el trasplante a campo. Los injertos entre quetzalí y zapallo verde, mostraron vigor y sanidad parecida al testigo quetzalí.

ABSTRACT

Agronomic behavior grafts of watermelon in Puerto Cayo in Ecuador.

Introduction. Water melon (*Citrullus lanatus* L.) is an important crop in Puerto la Boca area, this area requires the development of new technological alternatives such as grafts to counteract pest problems (aphids, thrips and whitefly) and diseases such as mildew veloso (*Pseudoperonospora cubensis*). **Objective.** Evaluate the agronomic behavior of grafted watermelon plants and their profitability. **Materials and methods.** The tests were implemented in the field in an experimental design of completely random blocks, where 10 treatments and 10 repetitions were applied. The treatments resulted from the combination of 4 patrons of zapallo, 2 grafted watermelon and

the control. The patrons were: P1: alamama, P2: zapallo manabita, P3: zapallo verde and P4: zapallo guitarrilla grande. The injections were: I1: sandia quetzali and I2: sandia charleston gray and the control were the last materials. The response variables were plant height, stem diameter, number of branches, number of guides, number of internodes, percentage of severity of mildew octopus, number of flowers, number of fruit sets, number of fruits, volume of fruit and weight of fruits. Afterwards, the core refactoring index, percentage of total solids and temperature were evaluated. A benefit/cost analysis of the treatments was carried out through partial assumptions. **Results.** There was a 91.06% germination of seed of zapallo and watermelon varieties. 798 grafted plants were transplanted 83.13%. The highest profitability (benefit/cost) of the fruits was US \$3.80 at the supermarket and US \$1.90 at the Jipijapa supply market. **Conclusion.** There was a high germination of seeds of the varieties of zapallo and watermelon, obtaining enough plants for field transplantation. The grafting between quetzali and zapallo verde, showed vigor and sanity similar to the control quetzali.

INTRODUCCIÓN

Según Davis *et al.* (2008), el injerto de hortalizas comenzó en la década de 1920 para controlar las enfermedades transmitidas por el suelo y es ahora una práctica común en Asia, partes de Europa y el Medio Oriente. Se ha informado que el pH, el sabor, el azúcar, el color, el contenido de carotenoides y la textura pueden ser afectados por el injerto de hortalizas y el tipo de portainjerto utilizado (Davis *et al.* 2008). Existen reportes contradictorios sobre cambios en la calidad de la fruta debido al injerto. Las diferencias podrían deberse en parte, a diferentes ambientes de producción, tipo de patrón utilizado, interacciones entre portainjertos e injertos específicos, y fecha de cosecha (Davis *et al.* 2008).

Hay aspectos por los que los portainjertos interfieren en la calidad de la fruta del injerto, lo más evidente es la incompatibilidad del patrón, que induce un crecimiento excesivo del injerto, y a una disminución del flujo de agua y nutrientes a través de la unión injertada, ya que causa marchitamiento (Lee y Oda 2003). La incompatibilidad puede mostrar afectaciones por el tejido, diferencias de estructura, características fisiológicas y bioquímicas, etapa de crecimiento de portainjertos e injertos, fitohormonas y el entorno (Lee y Oda 2003). Estudios de injertos y portainjertos indican que los cambios en el injerto son controlados por los portainjertos a través de la absorción, síntesis y translocación controladas de agua, minerales y hormonas vegetales (Lee y Oda 2003). El injerto influye en la absorción y translocación de fósforo, nitrógeno,

magnesio y calcio (Ruiz *et al.* 1997, Pulgar *et al.* 2000). Según Hu *et al.* (2006), una mejor absorción de nutrientes aumenta la fotosíntesis, que es particularmente notable en condiciones de invernadero donde hay menor luz solar y bajo contenido de CO₂ durante los meses de invierno. Bajo estas condiciones permiten que las plantas injertadas produzcan mayores rendimientos y a veces con una mejor calidad de la fruta (Liu *et al.* 2009, Şafak *et al.* 2018).

La combinación patrón/injerto puede alterar la cantidad de hormonas producidas y su influencia en los órganos de las plantas injertadas (Satoh 1996). Sakata *et al.* (2007) afirman que en comparación con otros portainjertos, la sandía injertada en calabaza de botella (*Lagenaria siceraria*) provoca la formación temprana de flores femeninas. Por el contrario, la floración se retrasa en sandía injertada con calabaza de cera (*Benincasa hispida*), especialmente en plantas con portainjertos de tipo 'Shintosa' (Davis *et al.* 2008). La fecha de floración afecta el tiempo de cosecha de la fruta, lo que puede tener un impacto directo en la calidad. Los problemas de calidad anormal de la fruta informados para la sandía debido al injerto incluyen contenido reducido de sólidos solubles, mayor número de bandas amarillentas en la pulpa, corteza más gruesa, sabor insípido, textura pobre (más fibras) y firmeza disminuida (Lee y Oda 2003, Xu *et al.* 2006, Alan *et al.* 2007, Alexopoulos *et al.* 2007). Sin embargo, otros reportan efectos positivos del injerto de sandía, incluidos un aumento en la firmeza de la fruta, grados Brix y contenido de licopeno (Salam *et al.* 2002, Davis y Perkins-Veazie 2005, Taylor *et al.* 2006). Yetisir *et al.* (2003) informaron que el injerto afecta la calidad (Brix, firmeza, grosor de la cáscara y forma de la fruta) de la sandía, pero los resultados dependieron del patrón utilizado. Mientras que Miguel *et al.* (2004) no encontraron diferencias en la concentración de sólidos solubles de la fruta de sandía de vástagos injertados en un portainjerto *Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata* (híbrido interespecífico) en comparación con los controles. Dos estudios indican que el injerto puede

aumentar el tamaño del fruto en sandía (Salam *et al.* 2002, Miguel *et al.* 2004). Perkins-Veazie *et al.* (2008) demostraron que el injerto de sandía podía aumentar el licopeno y los carotenoides totales en un 20%, y los aminoácidos, especialmente la citrulina (un aminoácido no esencial con propiedades vasodilatadoras) hasta en un 35%. Estos resultados, muestran la importancia de estudiar las combinaciones patrón/injerto bajo múltiples condiciones climáticas y geográficas.

En Ecuador, particularmente en la zona de Puerto la Boca, de la Parroquia de Puerto Cayo en la provincia de Manabí, no se identificaron antecedentes de evaluaciones de injertos de sandía. En esta zona productora de sandía existen muchos problemas de plagas y enfermedades de suelo y aire que afectan al cultivo, por lo que se evidenció la necesidad de innovar nuevas técnicas para la producción de sandía, como lo es, el uso de los patrones e injertos apropiados.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento de injertos de sandía y su rentabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La investigación fue desarrollada en el 2021, bajo condiciones en campo, en una parcela de un productor del Recinto Puerto La Boca de la Parroquia Puerto Cayo, Cantón Jipijapa, que está ubicado a 45 min de Jipijapa (1°18'20"S, 80°45'42"O y altura de 53 msnm). Su clima posee una temperatura promedio de 24,8°C, la precipitación promedio anual es de 298 mm, concentrándose la mayor cantidad de lluvia en febrero, mientras que el más seco es agosto (SNPD 2015).

Tratamiento y diseño experimental. Se aplicaron 10 tratamientos, que resultaron de la combinación de 4 patrones de zapallo, 2 injertos de sandía y 2 testigos (sin injertar). Los portainjertos fueron: P1: alamama (*Cucurbita ecuadoriensis*), P2: zapallo manabita (*Cucurbita moschata duchesne*), P3: zapallo verde (*Cucurbita maxima duchesne*) y P4: zapallo guitarra grande (*Cucurbita maxima*). Los injertos fueron:

I1: sandía quetzalí (*Citrullus lanatus*) e I2: sandía charleston gray (*Citrullus lanatus*) y los testigos fueron las 2 últimas variedades.

El experimento fue implementado en campo en un diseño experimental de bloques completamente aleatorios (DBCA), con 10 tratamientos y 10 repeticiones (Gabriel *et al.* 2021a).

Análisis estadísticos. Sobre la base del modelo definido y previo análisis de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó análisis de varianza (ANVA), para probar hipótesis de los efectos fijos, así como las comparaciones de medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey al $p < 0,05$ de probabilidad (Gabriel *et al.* 2021a). El ANVA de los datos también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los resultados indicados se realizaron mediante el Proc GLM del SAS (Gabriel *et al.* 2021a).

Se procedió a realizar un análisis de correlación entre las variables de respuesta correspondientes. Para los procedimientos se utilizó el análisis del coeficiente de correlación de Pearson, que compara variables cuantitativas (Gabriel *et al.* 2021a).

Variables de respuesta. Fueron almacenados para pre-germinación en cámaras húmedas 240 semillas de los injertos y 480 semillas de los patrones (quetzalí y charleston grey) y 120 semillas de estas últimas variedades como testigos. Se evaluó el porcentaje de germinación.

Las semillas germinadas correspondientes a una planta/vaso, fueron trasplantadas a vasos de plástico de 250 g con sustrato esterilizado. Después de 21 días del transplante (ddt), se realizó el injerto, por el método de aproximación y decapitación, que consistió en unir el patrón + el injerto de sandía, en adelante simbolizados con el signo +. A los 15 días se cortó el tallo de la sandía en el vaso injertado. Las variables evaluadas en esta etapa fueron porcentaje de germinación, porcentaje de plantas injertadas, porcentaje de plantas enfermas, recuperadas y muertas.

Manejo del experimento de investigación. Cada unidad experimental estuvo constituida por 30 plantas por tratamiento. En total se

evaluaron 300 plantas. La distancia de transplante fue de 0,50 m entre planta y 5 m entre hileras. Las variables evaluadas al 50% de floración fueron:

Altura de la planta en cm = AP
 Número de hojas por planta = NP
 Número de guías = NG
 Diámetro del tallo en mm = DT
 Porcentaje de severidad por plantas = %
 Número de frutos por planta = NF
 Peso del fruto = PF (medido en kg)

Volumen total de frutos en cm³. Para determinar el volumen de cada fruto se consideró el diámetro de fruto, largo de fruto y ancho de fruto en cm, y se utilizó la fórmula recomendada por Moreno (2000).

Análisis en organoléptico de los frutos. Los análisis se realizaron en el laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. Se utilizó un refractómetro ABBE marca Reichert Mark II Plus, previo a su uso se limpió las superficies del prisma con etanol puro, y se dejó que se evapore en su totalidad, para así colocar unas gotas de la muestra a medir. Posteriormente se cerró el prisma y se acercó al emisor de luz observándose la temperatura a la cual se midió el índice de refracción.

Se evaluaron las variables: Índice de refracción del núcleo (IRnúcleo), Sólidos totales de la pulpa (STpulpa), Sólidos totales del núcleo (STnúcleo), Temperatura del núcleo (Tnúcleo) y Temperatura de la pulpa (Tpulpa). Para el análisis se utilizaron 27 frutos de sandía provenientes de los tratamientos y repeticiones del experimento de campo y se realizaron 3 lecturas por fruto.

Determinación del beneficio/costo de los injertos. Se determinó el beneficio/costo (B/C) de cada tratamiento. Si el resultado de la relación B/C fue mayor a 1 fue rentable (Boardman 2006).

Manejo en campo. Se realizó la limpieza manual del terreno y con la ayuda de estacas, piolas y cinta métrica, se delimitó el área del experimento de campo. Se removió el suelo manualmente con un azadón y se instaló las cintas de riego por goteo y se regó la parcela durante 20 minutos antes del transplante. Se hicieron

los huecos que fueron desinfectados con Nakar (insecticida- nematicida agrícola orgánico), con 1 mL.L⁻¹. Asimismo, se aplicó 100 g de humus de lombriz en cada hueco y se hizo el transplante de las plantas injertadas.

El riego por goteo se realizó cada 3 a 4 d, según las condiciones climáticas y durante todo el ciclo del cultivo (mañana o en la tarde, durante 15 min).

Se fertilizó la parcela a los 9 ddt con urea (46% N) (40 g.planta⁻¹) y a los 60 ddt con fertilizante triple 15 (15N-15P-15K), a una dosis de 66 g.planta⁻¹. Asimismo, se aplicó cada 15 d (4 aplicaciones) un fertilizante foliar completo con una dosis de 125 g.20 L⁻¹ de agua.

Se realizó la poda de las ramas y hojas donde se dejaron 3 ramas principales por planta. El control de maleza se realizó manualmente.

El control de insectos-plaga y enfermedades se realizó de acuerdo con el umbral fitosanitario. Para mosca blanca e insectos barrenadores se aplicó Tiamethoxam+lambda cyalotrina a razón 40 g.15 L⁻¹ de agua (Gabriel 2021b) y para el control del mildiu se utilizó los fungicidas Azoxystrobin con una dosis de 70 g.15 L⁻¹ de agua (sistémico) y Mancozeb (Cymohelm) 32 g.15 L⁻¹ (contacto), que fueron aplicados alternadamente cada 7 días, durante 6 semanas consecutivas, con las recomendaciones de Gabriel (2021b). La cosecha se inició a los 95 ddt.

RESULTADOS

Porcentaje de germinación. Se obtuvo un total de 2160 semillas, de las cuales 1967 semillas germinaron y 193 semillas no germinaron (91% de germinación) (Tabla 1).

Tabla 1. Detalle del número de semillas sometidas a germinación, cantidad de plántulas vivas, muertas y porcentaje de semilla germinadas.

Nº	Nombre	Nº de semilla	No nacieron	Plantas vivas	% de semillas germinadas
1	Sandía quetzali	480	30	450	93,75
2	Sandía charleston gray	480	43	437	91,04
3	Alamama	240	31	209	87,08
4	Zapallo manabita	240	39	201	83,75
5	Zapallo verde	240	7	233	97,08
6	Zapallo guitarrilla grande	240	20	220	91,67
7	Sandía quetzali (testigo)	120	8	112	93,33
8	Sandía charleston gray (testigo)	120	15	105	87,5
Total		2160	193	1967	91,06

Porcentaje de plantas injertadas. Se injertaron un total de 863 plantas (92%), 32 no se adaptaron y hubo ataque de *Pseudoperonospora cubensis* que afectó a 33 plantas. Se obtuvieron 798 plantas (83%) para el trasplante a campo (Tabla 2).

Hubo un total de 33 plantas (3,82%) afectada por mildiu, de las cuales se recuperaron 12 (1,4%) y 21 (2,43%) plantas no se recuperaron (Tabla 3).

Tabla 2. Número de plantas injertadas, porcentaje de plantas injertadas y porcentaje de plantas aptas para el trasplante.

Injertos	Patrones	PI	PPI	PPLPT
Charleston gray	zapallo verde	120	96,67	90
Quetzalí	zapallo guitarra grande	120	91,67	81,67
Quetzalí	zapallo manabita	120	83,33	78,33
Charleston gray	alamama	120	87,5	79,17
Quetzalí	zapallo verde	120	97,5	90,83
Charleston gray	zapallo manabita	120	84,17	80,83
Charleston gray	zapallo guitarra grande	120	91,67	82,5
Quetzalí	alamama	120	86,67	81,67
Total		960	89,90	83,13

PI = Plantas injertadas, PPI = Porcentaje de plantas injertadas, PPLPT = plantas listas para trasplante.

Tabla 3. Detalle de plantas injertadas, porcentaje de plantas enfermas, porcentaje plantas recuperadas y porcentaje de plantas muertas.

Injertos	PI	PPE	PPR	PPM
Charleston gray con zapallo verde	116	4,31	1,72	2,59
Quetzalí con zapallo guitarra grande	110	6,36	2,73	3,64
Quetzalí con zapallo manabita	100	2	1	1
Charleston gray con alamama	105	2,86	0	2,86
Quetzalí con zapallo verde	117	4,27	2,56	1,71
Charleston gray con zapallo manabita	101	1,98	0,99	0,99
Charleston gray con zapallo guitarra grande	110	5,45	1,82	3,64
Quetzalí con alamama	104	2,88	0	2,88
Total	863	3,82	1,39	2,43

PI = Plantas injertadas, PPE = Porcentaje de plantas enfermas, PPR = Porcentaje de plantas recuperadas, PPM = Porcentaje de plantas muestras.

Análisis de rendimiento. Se observó que en general todas las variables evaluadas mostraron una curva asimétrica ($A < 0$) y platicúrtica ($k < 3$), y los coeficientes de variación (C.V.) que están en el rango permitido para este tipo de

investigaciones (0,33 a 31,93%). La prueba de Kolmogórov-Smirnov, mostró que no hubo significación al $p < 0,01$ de probabilidad. Por lo que se asumió que las variables de respuesta evaluadas mostraron una distribución normal (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de normalidad para caracteres morfológicos, agronómicos y organolépticos.

Momento	AP	DT	NH	NG	NN	SEV	NFL	NC	NFR	Y	VOL	IRD	ST	T
Desviación std	8,66	0,51	12,20	0,84	2,08	16,37	3,69	0,72	0,51	0,72	42,90	0,00	1,06	10,08
Varianza	75,14	0,26	149,07	0,71	4,32	268,04	13,62	0,53	0,26	0,52	1840,58	0,00	1,13	101,60
Asimetría	0,10	0,66	0,25	0,20	-0,54	1,27	0,26	0,38	0,00	2,15	-0,14	0,67	0,53	-0,41
Curtosis	0,62	1,78	-0,67	-0,067	2,29	1,31	-0,23	-0,14	-0,35	5,69	0,13	-1,76	0,66	-1,94
Coef. variación	5,01	25,94	9,09	22,01	6,11	114,82	12,66	17,07	21,70	24,88	35,80	0,36	13,94	59,03
K-S	>0,15ns	<0,015*	0,13ns	<0,015*	0,14ns	<0,015*	>0,15ns	<0,015*	<0,015*	<0,015*	>0,155ns	<0,01**	>0,155ns	<0,015*

Altura de planta (AP), Diámetro de tallo (DT), Número de hojas (NH), Número de guías (NG), Número de entrenos (NN), Porcentaje de severidad (SEV), Número de flores (NFR), Número de cuaje (NC), Número de fruto (NFR), Peso de fruto (Y), Volumen de fruto (VOL), Índice de refacción en núcleo (IRD), Porcentaje de sólidos totales (ST), Temperatura en °C (T). ns = No significativo, * = Significativo al $p < 0,05$ de probabilidad, ** = Altamente significativo al $p < 0,01$ de probabilidad.

El análisis de homogeneidad de varianzas mostró que las medias fueron homogéneas, y que la prueba de Chi-cuadrada no fue estadísticamente significativa al $p < 0,01$ de probabilidad.

La Tabla 4, muestra que el C.V. de las variables evaluadas estuvieron entre 0,72 a 13%, lo que indica que están dentro los rangos permitidos para este tipo de investigación.

El análisis de varianza para caracteres agronómicos de rendimiento (Tabla 5), fueron altamente significativos al $p < 0,01$ de probabilidad, aspecto que señala que para AP, DT, NH, NG, NN, S, NFL, NC, NFR, Y, T, VOL, IRD, ST, T, al menos uno de los tratamientos fue diferente.

Tabla 5. Análisis de varianza para caracteres morfológicos, agronómicos, organolépticos y de rendimiento.

FV	gl	AP	DT	NH	NG	NN	SEV	NFL	NC	NFR	Y	T	VOL	IRD	ST
Repetición	9	175,20**	0,32ns	517,54**	2,00**	3,05ns	168,71ns	34,95**	0,37ns	0,25ns	0,44ns	123,58ns	745,08ns	0,00ns	1,27ns
Tratamiento	8	138,84*	0,63**	232,87*	0,89ns	5,93ns	1219,18**	6,78ns	0,13ns	0,21ns	0,53ns	84,80ns	2006,33ns	0,00ns	0,84ns
Error	72	55,56	0,21	93,70	0,53	4,30	174,78	11,71	0,59	0,27	0,55	61,86	4862,27	0,00	0,81
C.V. (%)		4,31	23,31	7,21	19,01	6,09	92,72	11,74	18,08	21,98	25,57	46,06	58,19	0,37	11,78

Altura de planta (AP), Diámetro de tallo (DT), Número de hojas (NH), Número de guías (NG), Número de entrenos (NN), Porcentaje de severidad (SEV), Número de flores (NFR), Número de cuaje (NC), Número de fruto (NFR), Peso de fruto (Y), Volumen de fruto (VOL), Índice de refacción en núcleo (IRD), Porcentaje de sólidos totales (ST), Temperatura en °C (T). ns = No significativo, * = Significativo al $p < 0,05$ de probabilidad, ** = Altamente significativo al $p < 0,01$ de probabilidad.

Análisis de medias para caracteres agronómicos y de rendimiento. El análisis de medias (Tabla 6), mediante la comparación múltiple de Tukey para la variable AP mostró diferencias significativas al $p < 0,05$ de probabilidad, ya que el T1 tuvo mejor comportamiento (sandía charleston gray + zapallo verde) al alcanzar una media de 1,79 m, respecto al T9 (quetzalí testigo) con una altura de 1,66 m.

Para el diámetro de tallo (DT) se observó que el T9 (quetzalí testigo) fue altamente significativo (Tabla 6), con una media de 2,39 mm de diámetro respecto del T7 (sandía charleston gray + zapallo guitarrilla grande) el cual obtuvo una media 1,67 mm.

En la variable de número de hojas (Tabla 6), se observó diferencias significativas al $p < 0,05$

de probabilidad. El T1 (sandía charleston gray + zapallo verde), obtuvo una media de 1,42 hojas por planta con respecto del T9 (quetzalí testigo) que tuvo 1,24 hojas por planta.

En la variable de número de guías (Tabla 6), se observaron diferencias significativas al $p < 0,05$ de probabilidad. El T1 (charleston gray + zapallo verde) obtuvo una media de 4,35 guías por planta con respecto del T5 (quetzalí + zapallo verde) que tuvo 3,26 guías por planta.

En la variable de severidad (Tabla 6), se observaron diferencias significativas al $p < 0,05$ de probabilidad. El T5 (quetzalí + zapallo verde) obtuvo una media de 31,70% de severidad, respecto al T10 (charleston gray testigo) que presentó 3,80% de severidad.

Tabla 6. Análisis de medias mediante la prueba de tukey al $p < 0,05$ de probabilidad para altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, número de guías y severidad al mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*).

Tratamiento	AP (cm)	DT (cm)	NH	NG	%SEV
1	179a	2,08ab	142a	4,35a	5,00c
7	176ab	1,67c	132ab	3,94ab	12,70acd
3	175ab	1,77ab	138ab	4,09ab	25,40ab
4	173ab	1,85ab	137ab	3,68ab	28,10ab
6	172ab	1,91ab	134ab	3,84ab	7,20cd
5	172ab	1,72c	134ab	3,25c	31,70a
2	171ab	2,05ab	132ab	3,81ab	9,30acd
10	170ab	2,30ab	131ab	3,73ab	3,80c
9	166c	2,39a	125c	3,86ab	5,10c
DSH	10,66	0,65	13,84	4,52	

1 = charleston gray + zapallo verde, 2 = quetzalí + zapallo guitarrilla grande, 3 = sandía quetzalí + zapallo manabita, 4 = sandía charleston gray + alamama, 5 = sandía quetzalí + zapallo verde, 6 = sandía charleston gray + zapallo manabita, 7 = sandía charleston gray + zapallo guitarrilla grande, 8 = sandía quetzalí + alamama, 9 = quetzalí, 10 = charleston gray.

AP = Altura de planta, DT = Diámetro de tallo, NH = Número de hojas, NG = Número de guías, %SEV = Porcentaje de severidad.

En la variable de número de nudos (Tabla 7), se observó diferencias significativas al $p < 0,05$ de probabilidad, el T1 (quetzalí testigo)

presentaron una media de 35,65 nudos por planta con respecto del T9 (quetzalí testigo) que tuvo 33,04 nudos por planta.

Tabla 7. Análisis de medias de las variables evaluadas mediante la prueba múltiple de Tukey al $p < 0,05$ de probabilidad.

TRAT	NN	NFL	NC	NFR	Y	VOL	T	ST	IRD
1	35,65	27,81	4,16	2,42	3,13	110,31	25,00	6,97	1,34
7	34,78	29,63	4,29	2,49	3,46	159,02	12,00	8,00	1,34
4	34,78	29,34	4,45	2,44	2,61	175,93	12,66	8,40	1,35
6	34,07	29,49	4,21	2,55	2,36	126,87	25,00	6,96	1,34
5	33,98	29,48	4,29	2,41	2,79	115,13	10,66	9,00	1,35
10	33,86	29,26	4,13	2,05	3,68	85,87	18,33	7,20	1,34
2	33,74	30,36	4,32	2,35	2,78	80,99	26,00	7,67	1,35
3	33,37	29,10	4,18	2,26	2,99	142,94	12,33	7,60	1,34
9	33,04	27,86	4,43	2,31	2,50	202,65	11,66	8,60	1,35
DSH	2,97	4,90	1,10	0,74	2,36	1,5	24,79	1,5	1,5

NN = Número de entrenos, NFL = Número de flores, NC = Número de cuaje, NF = Número de fruto, Y = Peso de fruto, VOL = Volumen de fruto, T = Temperatura (°C), ST = Porcentaje de sólidos totales, IRD = Índice de refracción. 1 B/C > 1,0 = Rentable. 1 = charleston gray + zapallo verde 2 = quetzalí + zapallo guitarra grande, 3 = quetzalí + zapallo manabita, 4 = charleston gray + alamama, 5 = quetzalí + zapallo verde, 6 = charleston gray + zapallo manabita, 7 = charleston gray + zapallo guitarra grande, 8 = quetzalí + alamama, 9 = quetzalí, 10 = charleston gray.

Para la variable de NFL, se observó diferencias significativas al $p < 0,05$ de probabilidad, El T2 (quetzalí + zapallo guitarra grande) presentaron una media de 30,36 flores por planta con respecto al T1 (charleston gray + zapallo verde) que mostró 27,81 flores por planta.

Para NC, se observó que el T4 (charleston gray + alamama) fue significativo, al obtener una media de 4,45 flores fecundadas por planta con respecto del T10 (charleston gray testigo) que tuvo 4,13 flores fecundadas por planta.

En la variable NFR se observó diferencias significativas al $p < 0,05$ de probabilidad del T6 (charleston gray + zapallo manabita) tuvo un promedio de 2,55 frutos por planta respecto del T1 (charleston gray testigo) que tuvo 2,05 fruto por planta.

En el Y se observó diferencias significativas al $p < 0,05$ de probabilidad, el tratamiento superior fue para el T10 (charleston gray testigo) con una media de 3,68 kg de peso por fruto, en relación con el T6 (sandía charleston gray + zapallo manabita) que alcanzó una media de 2,36 kg de peso por fruto.

Para VOL, se observó diferencias significativas al $p < 0,05$ de probabilidad, el T9 (quetzalí testigo) destacó con una media de 202,65 cm³ en respecto al T2 (quetzalí + zapallo guitarra grande) el cual obtuvo una media de 80,99 cm³.

Análisis de medias para poscosecha.

Para IRD, ST, T, no hubo diferencias significativas al $p < 0,05$ de probabilidad entre los tratamientos, aspecto que indica que todas fueron iguales estadísticamente. Sin embargo, hubo una tendencia que los T4, T5, T2, T9 fueron mejores para IRD. En cambio, para ST el mejor fue el T5 (quetzalí + zapallo verde) y en la T fue el T2 (quetzalí + zapallo guitarra grande).

Análisis de correlación. En el análisis de correlación de Pearson, se observaron solamente 3 correlaciones positivas y altamente significativas al $p < 0,01$ de probabilidad. Hubo correlación entre AP con NH y NN ($r = 0,60$ y $R = 0,65$ respectivamente), lo que indica que la altura está directamente relacionada con el número de hojas y número de nudos. Hubo también una correlación moderada y significativa entre NH y NN. Por otra parte, se observó que el contenido de grados Brix (IRD), está

altamente y significativamente correlacionado con los Sólidos Totales (ST) ($r=0,78$).

Análisis del Beneficio/Costo de los tratamientos. En general todos los tratamientos mostraron un $B/C > 1$, cuando el producto fue comercializado a $0,50 \text{ dólar.kg}^{-1}$ de fruto (Tabla 8). Sin embargo, los tratamientos T10, T7 y T1

fueron los más rentables, con una relación de $B/C= 3,80, 3,50$ y $3,00$ respectivamente, lo que permite evidenciar que en el caso del tratamiento T10, por cada dólar invertido, ganaría 3,80 dólares; asimismo en el caso del tratamiento T7, donde por cada dólar invertido, se obtendría ganancia de 3,50 dólares.

Tabla 8. Análisis del B/C para los injertos de sandía en un área de 1000 m^2 , cuyo producto fue comercializado en supermercado.

Tratamiento	NP (1000 M ²)	Peso/cosecha (kg)	Peso/cosecha (kg)	Precio/kg (USD)	Beneficio bruto(1000 m ²)	Costo (1000 m ²)	BN(USD) supermercado	Relación B/C	Rentabilidad
T1	960	3,13	3004,8	0,5	1502,4	371,15	1131,25	3,0	Rentable
T2	960	2,78	2668,8	0,5	1334,4	371,15	963,25	2,6	Rentable
T3	960	2,99	2870,4	0,5	1435,2	371,15	1064,05	2,9	Rentable
T4	960	2,61	2505,6	0,5	1252,8	371,15	881,65	2,4	Rentable
T5	960	2,79	2678,4	0,5	1339,2	371,15	968,05	2,6	Rentable
T6	960	2,36	2265,6	0,5	1132,8	371,15	761,65	2,1	Rentable
T7	960	3,46	3321,6	0,5	1660,8	371,15	1289,65	3,5	Rentable
T9	960	2,50	2400	0,5	1200	371,15	828,85	2,2	Rentable
T10	960	3,68	3532,8	0,5	1766,4	371,15	1395,25	3,8	Rentable

$B/C > 1,0 =$ Rentable.

T1 = charleston gray + zapallo verde T2 = quetzalí + zapallo guitarrilla grande, T3 = quetzalí + zapallo manabita, T4 = charleston gray + alamama, T5 = quetzalí + zapallo verde, T6 = charleston gray + zapallo manabita, T7 = charleston gray + zapallo guitarrilla grande, T8 = quetzalí + alamama, T9 = quetzalí, T10 = charleston gray.

Sin embargo, cuando se comercializa en un mercado de Jipijapa se obtiene un $B/C > 1$, cuando el producto fue comercializado a $0,30 \text{ dólar.kg}^{-1}$ de fruto (Tabla 9). En este caso los T4,

T6 y T9 no fueron rentables. La mayor rentabilidad se obtuvo con los tratamientos T10, T7 y T1, que tuvieron un $B/C > 1$ y una relación máxima B/C de $\$1,90$.

Tabla 9. Análisis del B/C para los injertos de sandía en un área de 1000 m², cuyo producto fue comercializado en mercado de abasto de jipijapa.

Tratamientos	NP (1000 M ²)	Peso/cosecha (kg)	Peso/cosecha (kg)	Precio/kg (USD)	Beneficio bruto(1000 m ²)	Costo (1000 m ²)	BN(USD) Mercado	Relación B/C	Rentabilidad
T1	960	3,13	3004,8	0,3	901,44	371,15	530,29	1,4	Rentable
T2	960	2,78	2668,8	0,3	800,64	371,15	429,49	1,2	Rentable
T3	960	2,99	2870,4	0,3	861,12	371,15	489,97	1,3	Rentable
T4	960	2,61	2505,6	0,3	751,68	371,15	380,53	1	No rentable
T5	960	2,79	2678,4	0,3	803,52	371,15	432,37	1,2	Rentable
T6	960	2,36	2265,6	0,3	679,68	371,15	308,53	0,8	No rentable
T7	960	3,46	3321,6	0,3	996,48	371,15	625,33	1,7	Rentable
T9	960	2,5	2400	0,3	720	371,15	348,85	0,9	No rentable
T10	960	3,68	3532,8	0,3	1059,8	371,15	688,69	1,9	Rentable

B/C > 1,0 = Rentable.

T1 = charleston gray + zapallo verde, T2 = quetzalí + zapallo, guitarra grande, T3 = quetzalí + zapallo manabita, T4 = charleston gray + alamama, T5 = quetzalí + zapallo verde, T6 = charleston gray + zapallo manabita, T7 = charleston gray + zapallo guitarra grande, T8 = quetzalí + alamama, T9 = quetzalí, T10 = charleston gray.

El análisis comparativo de la venta de las frutas de sandía entre el supermercado y el mercado de abasto, mostró mayor rentabilidad para

los productos comercializados en el supermercado en más de 50% (Figura 1).

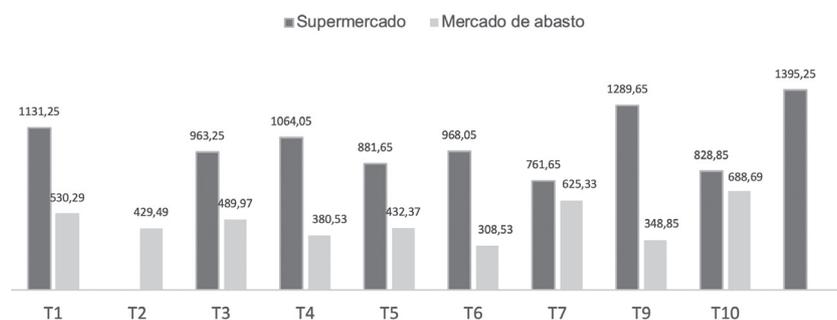


Figura 1. Análisis del Beneficio/Costo de los tratamientos. B/C > 1,0 = Rentable.

1 = charleston gray + zapallo verde, 2 = quetzalí + zapallo guitarra grande, 3 = quetzalí + zapallo manabita, 4 = charleston gray + alamama, 5 = quetzalí + zapallo verde, 6 = charleston gray + zapallo manabita, 7 = charleston gray + zapallo guitarra grande, 8 = quetzalí + alamama, 9 = quetzalí, 10 = charleston gray.

DISCUSIÓN

Durante el proceso de esta investigación se ha observado altos porcentajes de germinación tanto de los injertos (cultivares de sandía) como de los portainjertos (cultivares de zapallo), lo cual indicaría que se utilizó una buena semilla para ambos materiales.

Respecto a los injertos y patrones utilizados en general, existen muchos reportes contradictorios sobre la adaptación, debido a que los cambios en el injerto son controlados por los portainjertos a través de la absorción, síntesis y translocación controladas de agua, minerales y hormonas vegetales (Lee y Oda 2003), que también influye en la absorción y translocación de fósforo, nitrógeno, magnesio y calcio (Ruiz *et al.* 1997, Pulgar *et al.* 2000). Asimismo, la buena adaptación o no del injerto dependerá del tipo o sistema de injerto realizado. En este caso se pudo determinar que el mejor método de injerto fue el de aproximación, obteniendo 960 plantas injertadas, de las cuales 32 plantas (3%) no se adaptaron. Por otra parte, en esta etapa era importante controlar la sanidad del injerto. En la investigación se perdió un 4% de plantas, por la infección del mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*).

En este estudio no se observó ningún problema de incompatibilidad entre el injerto y el patrón, puesto que estas pueden verse afectadas en sus tejidos y órganos, por las diferencias de estructura, características fisiológicas y bioquímicas, etapa de crecimiento, fitohormonas y medio ambiente, tal como lo mencionan Lee y Oda (2003).

Durante el proceso del crecimiento del cultivo, se encontraron diferentes respuestas entre las plantas injertadas y los cultivares utilizados como testigos. Se observó que uno de los injertos (T1: sandía charleston gray + zapallo verde) tuvieron igual respuesta a los testigos utilizados (quetzalí y charleston gray) respecto al ataque de *Pseudoperonospora cubensis*, con un nivel de tolerancia de 3 a 5% de severidad. En cambio, los restantes injertos mostraron diversas respuestas al ataque de este patógeno, incluso

algunos mostraron hasta un 30% de severidad en el follaje.

Respecto a las características morfológicas como altura de planta, diámetro de tallo número de hojas y número de guías de las plantas injertadas, se observó que el T1: sandía charleston gray + zapallo verde, mostró características sobresalientes respecto de quetzalí y charleston gray, lo que indica que hubo una buena adaptación de los injertos para la zona de estudio. Kurata (1976) y Sakata *et al.* (2007) mencionan que la combinación patrón/injerto puede alterar la cantidad de hormonas producidas y su influencia en los órganos de las plantas injertadas. Estas personas autoras afirman que, en comparación con otros portainjertos, la sandía injertada en calabaza de botella provoca la formación temprana de flores femeninas. Por el contrario, la floración se retrasa en sandía injertada con calabaza de cera, especialmente en plantas con portainjertos de tipo 'Shintosa' (Davis *et al.* 2008). Estos aspectos no fueron detectados en este estudio, la floración fue similar tanto en las plantas injertadas como en las plantas de los cultivares testigo.

En referencia a los frutos cosechados, no se observaron diferencias sobresalientes del volumen y rendimiento de los frutos de las plantas injertadas y los cultivares testigo (quetzalí y charleston gray). Los estudios realizados por Salam *et al.* (2002) y Miguel *et al.* (2004) mostraron resultados contradictorios, donde las plantas injertadas aumentaron en el tamaño y peso del fruto de sandía.

Por otra parte, respecto a la calidad del fruto se han reportado situaciones contradictorias Lee y Oda (2003), Alan *et al.* (2007) y Alexopoulos *et al.* (2007), encontraron problemas de calidad anormal de la fruta en los injertos, así como contenido reducido de sólidos solubles, mayor número de bandas amarillentas en la pulpa, corteza más gruesa, sabor insípido, textura pobre (más fibras) y firmeza disminuida. Sin embargo, otros reportan efectos positivos del injerto de sandía, incluidos un aumento en la firmeza de la fruta, grados Brix y contenido de licopeno (Salam *et al.* 2002, Davis y Perkins-Veazie 2005,

Sabo *et al.* 2014). Yetisir *et al.* (2003) informaron que el injerto afecta fuertemente la calidad (Brix, firmeza, grosor de la cáscara y forma de la fruta) de la sandía, pero los resultados dependieron del patrón utilizado. En esta investigación, no se observó diferencias notables entre el contenido de los sólidos totales, los grados Brix y la temperatura de la pulpa de los injertos y los cultivares testigo utilizados (quetzalí y charleston gray). Asimismo, no se detectaron diferencias sobresalientes de los frutos entre la firmeza, el grosor de la cáscara y la forma del fruto.

Finalmente, en cuanto a la rentabilidad de las frutas de sandía, fue notorio observar que los frutos fueron vendidos sin ninguna dificultad tanto en supermercado, como en el mercado de abasto de Jipijapa, las personas consumidoras no lograron detectar diferencias entre las frutas del injerto y los cultivares. Los precios del producto fueron mayores en el supermercado en al menos el 50% más. Se observó que en el caso del supermercado por cada \$1 invertidos se tuvo una rentabilidad de \$3,50 con T7: charleston gray + zapallo guitarrilla grande y de \$3,80 con charleston gray. Respecto del mercado de Jipijapa con la inversión de \$1, se logró una rentabilidad \$1,4 con el T1: sandía charleston gray + zapallo verde y de \$1,9 con charleston gray.

AGRADECIMIENTOS

Al financiamiento Grant PROG-003-PROY-001-DIP-2017 a JGO de la Universidad Estatal del Sur de Manabí para realizar la presente investigación. Asimismo, al sr. Eligio Espinal Productor de la Asociación Puerto La Boca, por proveer del campo y facilidades, y a todos los estudiantes involucrados en esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Alan, Ö; Özdemir, N; Günen, Y. 2007. Effect of grafting on watermelon plant growth, yield and quality. *J. Agron.* 6:362-365.
- Alexopoulos, AA; Kondylis, A; Passam, HC. 2007. Fruit yield and quality of watermelon in relation to grafting. *J. Food Agr. Environ* 5:178-179.
- Boardman, AE. 2006. Cost-benefit analysis: concepts and practice. 3 ed illustrate, Pearson/Prentice Hall, USA. 560 p.
- Davis, AR; Perkins-Veazie, P. 2005. Rootstock effects on plant vigor and watermelon fruit quality. *Cucurbit Genet. Coop. Rep.* 28-29:39-42.
- Davis, AR; Webber, CL; Perkins-Veazie, P; Ruso, V; Lopez Galarza, S; Sakata, Y. 2008. A review of production systems on watermelon quality. *Cucurbitaceae 2008, proceedings of the IXth EUCARPIA meeting on genetics and breeding of Cucurbitaceae* (Pitrat M, ed), INRA, Avignon (France) (en línea), May 21-24th, 2008. Consultado 19 abr. 2022. Disponible en <https://www.researchgate.net/profile/Charles-Webber-2/publication/255607969>
- Gabriel, J; Valverde, A; Indacochea, B; Castro, C; Vera, M; Alcívar, J; Vera, R. 2021a. Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios (en línea). 2 ed. Guayaquil, Ecuador, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Editorial Grupo Compás. 207 p. Consultado 19 abr. 2022. Disponible en <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/625>
- Gabriel, J. 2021b. Libro verde: Agro-UNESUM Informa. Producción de hortalizas de calidad en condiciones de invernadero (en línea). Guayaquil, Ecuador, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Editorial Grupo Compas. 212 p. Consultado 19 abr. 2022. Disponible en <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/638>
- Hu, CM; Zhu, YL; Yang, LF; Chen, SF; Huang, YM. 2006. Comparison of photosynthetic characteristics of grafted and own-root seedling of cucumber under low temperature circumstances. *Acta Bot. Boreali-Occidentalia Sinica* 26(2):247-253.
- Lee, JM; Oda, M. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Hort. Rev.* 28:61-124. DOI: 10.1002/9780470650851.ch2
- Liu, Y; Li, T; Qi, H; Li, J; Yin, X. 2009. Effects of grafting on carbohydrate accumulation and sugar-metabolic enzyme activities in muskmelon *African Journal of Biotechnology* 8(25):25-35.
- Miguel, A; Maroto, JV; San Bautista, A; Baixauli, C; Cebolla, V; Pascual, B; López-Galarza, S; Guardiola, JL. 2004. The grafting of triploid watermelon is an advantageous alternative to soil fumigation. *Scientia Hort.* 103:9-17. DOI: 10.1016/j.scienta.2004.04.007
- Moreno, JM. 2000. Fórmulas y volúmenes para la determinación de áreas y volúmenes. *Guiniguada* 9(8/9):291-318.
- Perkins-Veazie, P; Zhang, X; Collins, JK; Wu, G; Lu, G; Huan, J; Davis, AR. 2008. Watermelon fruit content of amino acids and carotenoids increases with grafting. *J. Sci. Food Agric. s.p.*
- Pulgar, G; Villora, G; Moreno, DA; Romero, L. 2000. Improving the mineral nutrition in grafted

- watermelon plants: nitrogen metabolism. *Biologia Plant* 43:607-609.
- Ruiz, JM; Belakbir, A; López-Cantarero, I; Romero, L. 1997. Leaf-macronutrient content and yield in grafted, melon plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Scientia Hort.* 71:227-234.
- Sabo, MU; Shuaibu, YM; Fagam, AS; Jibrin, AD. 2014. Effects of different level of Cowdung and N P K fertilizer on the growth and yield of watermelon (*Citrillus lanatus* L.) in Gombe State, Nigeria. *Int. J. Tech.* 4(2):260-264.
- Şafak, C; Özlem, A; Ömer, L. 2018. Effects of grafting on nutrient element content and yield in watermelon. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 55(1):67-74. DOI: 10.20289/zfdergi.390891
- Sakata, Y; Takayoshi, O; Mitsuhiro, S. 2007. The history and present state of the grafting of cucurbitaceous vegetables in Japan. *Acta Hort.* 731:159-170. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.731.22
- Salam, MA; Masum, ASM; Chowdhury, SS; Dhar, M; Saddeque, MA; Islam, MR. 2002. Growth and yield of watermelon as influenced by grafting. *J. Biol. Sci.* 2:298-299. DOI:10.3923/jbs.2002.298.299
- Satoh, S. 1996. Inhibition of flowering of cucumber grafted on rooted squash stocks. *Physiol. Plant.* 97:440-444.
- SNPD (Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo). 2015. Plan de Ordamiento y Desarrollo Territorial de Puerto Cayo 2015. Puerto Cayo, Ecuador Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. 231 p.
- Taylor, MJ; Roberts, W; Edelson, J; Shrefler, J; Russo, V; Bruton, B; Pair, S; Davis, AR; Webber, C. 2006. Economic evaluation of a four-crop organic vegetable rotation. *Proceedings Oklahoma-Arkansas Hort. Industries Show* 25:113-115.
- Xu, CQ; Li, TL; Qi, HY. 2006. Effects of grafting on development, carbohydrate content, and sucrose metabolizing enzymes activities of muskmelon fruit. *Acta Hort. Sinica* 33:773-778.
- Yetisir, H; Sari, N; Yncel, S. 2003. Rootstock resistance to *Fusarium* wilt and effect on watermelon fruit yield and quality. *Phytoparasitica* 31:163-169.



Nota técnica

DIAGNÓSTICO DEL USO DE ANTIBIÓTICOS EN REGIONES PRODUCTORAS DE TOMATE EN COSTA RICA

Mónica Blanco-Meneses^{1*}, Oscar Castro-Zúñiga², Anny Calderón-Abarca³

Palabras clave Agricultura; bacterias; tomate; antibióticos.

Keywords: Agriculture; bacteria; tomato; antibiotics.

Recibido: 28/07/22

Aceptado: 25/10/22

RESUMEN

Introducción. El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza que más se siembra en Costa Rica. Es un cultivo intensivo, anual y desarrollado por pequeños y medianos productores. Entre los problemas fitosanitarios que afectan el cultivo se encuentran las bacterias. Como parte del manejo integrado es común el uso de bactericidas y antibióticos. **Objetivo.** Realizar un diagnóstico sobre el uso de productos antibióticos u otros agroquímicos para el control de problemas bacterianos en el cultivo de tomate. **Materiales y métodos.** Se recopiló y ordenó información sobre el uso de antibióticos en tomate. Para esa labor se contó con la colaboración de funcionarios de las agencias de extensión del Ministerio de Agricultura y Ganadería y organizaciones de productores de tomate. Se registró información aportada por 39 pequeños y

medianos productores en diferentes regiones: 15 agricultores de Pacífico Central, 10 agricultores de Central Sur, 6 agricultores de Brunca, 4 agricultores de Chorotega, 3 agricultores de Central Occidental y un agricultor de Huetar Norte. **Resultados.** La mayoría produce el tomate en campo abierto, utiliza semi techos plásticos o invernaderos. Un 79,5% reportó problemas ocasionados por bacterias y de estos el 71,8% utiliza antibióticos, bactericidas o agroquímicos para su control. Un total de 14 productos fueron reportados por los agricultores para control de enfermedades bacterianas. No se reportaron lineamientos específicos en el manejo de residuos. Se evidenciaron problemas fitopatológicos en el cultivo del tomate, en su mayoría causados por bacterias, que son comunes, difíciles de erradicar y tienen una alta incidencia en las plantaciones, además de que producen pérdidas y disminución en la productividad. **Conclusiones.** Es necesario

* Autora para correspondencia. Correo electrónico: monica.blancomeneses@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos, San José, Costa Rica.  0000-0003-2642-3899.

2 Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos, San José, Costa Rica.

 0000-0002-5999-5749.

3 Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos, San José, Costa Rica.

 0000-0003-2558-6047.

realizar otras investigaciones para continuar con más análisis referentes a los efectos que tiene la aplicación de antibióticos, complementariamente con el desarrollo de alternativas que conlleven a la reducción del uso de antibióticos en tomate acompañado del manejo responsable y efectivo de los mismos.

ABSTRACT

Diagnosis of the use of antibiotics in tomato producing regions in Costa Rica.

Introduction. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is the most popular vegetable planted in Costa Rica. It is an intensive annual crop developed by small and medium growers. Among the phytosanitary problems that affect the crop are bacteria. In the integrated management, the use of bactericides and antibiotics is common.

Objective. Carry out a diagnosis on the use of antibiotic products or other agrochemicals to control bacterial problems in tomato crop.

Materials and methods. Information on the use of antibiotics in tomato was collected and ordered. The collaboration of extension agents from the Ministry of Agriculture and Livestock

and other organizations were used. Information provided by 39 small and medium producers in different regions was recorded: 15 farmers from the Central Pacific, 10 farmers from the South-Central, 6 farmers from the Brunca, 4 farmers from the Chorotega, 3 farmers from the Western Central and a farmer from the North Huetar. **Results.** Most growers produce tomatoes in an open field, using plastic semi-roofs or greenhouses. Of these growers, 79.5% report having problems caused by bacteria and of these, 71.8% use antibiotics, bactericides or other agrochemicals to control them. A total of 14 products were reported by growers to control bacterial diseases. A clear line in waste management is not reported. Phytopathological problems in tomato productions, mostly caused by bacteria, are common, difficult to eradicate and have a high incidence in plantations, in addition to causing losses and decrease productivity. **Conclusion.** It is necessary to carry out other research to continue with more analyses regarding the effects of the application of antibiotics, in addition to the development of alternatives that lead to the reduction of the use of antibiotics in tomato accompanied by their responsible and effective management.

INTRODUCCIÓN

El tomate se cultiva en diferentes regiones de Costa Rica donde se adapta y logra ofrecer una buena cosecha (López y Quirós 2016, INTA 2017). Según INTA 2017, es un cultivo que se adapta a 20°C y 30°C durante el día y entre 10°C y 17°C durante la noche. Temperaturas superiores a 30°C, la fecundación de los óvulos y por ende la fructificación afectan el desarrollo de los frutos y disminuyen el crecimiento y la biomasa de la planta, ya que es conocido que se desarrollan mejor con entre 18°C y 24°C y con una humedad relativa óptima entre 60-80% (Díaz 2007), por lo que es capaz de adaptarse en diferentes regiones de Costa Rica, donde las principales áreas

cultivadas comercialmente se concentran en el Valle Central, cuya altitud oscila entre los 700 y los 2000 m de altitud (Bertsch 2006).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza que más cultivan en Costa Rica y se produce en las regiones Central Occidental, Central Oriental, Central Sur, Brunca, Chorotega y Pacífico Central, además se reportan siembras incipientes en la Región Huetar Norte. En el 2018 se produjeron 57 238 toneladas métricas en un área sembrada de 1100 hectáreas (SEPSA 2019).

Diferentes factores afectan el tomate durante la producción y el manejo postcosecha. Entre estos, insectos, ácaros, virus, hongos y bacterias. Dentro de las bacterias que afectan al cultivo está el complejo de especies de *Ralstonia*

solanacearum conocida como mancha o maya bacterial, *Pseudomonas syringae* pv *tomato* conocida como peca bacteriana, pringue bacterial o mancha negra del tomate, *Pectobacterium carotovorum* también denominada como *Erwinia carotovora* o *E. chrysanthemi* conocida como pudrición suave bacterial o necrosis de la médula, *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*, *X. perforans* y *X. gardneri* conocidas como mancha bacteriana y *Clavibacter michiganensis* conocida como cáncer bacteriano del tomate (López 2017).

Un adecuado plan de manejo para problemas causados por bacterias debe considerar el uso de hospedantes resistentes aunque en algunas variedades no se hayan desarrollado, la sanidad vegetal como prevención de la entrada de patógenos y eliminar los rastros en suelo y prácticas culturales por ejemplo, evitar el sobreriego y limitar el uso de nitrógeno (López 2017). Sin embargo, una de las prácticas más utilizadas es la aplicación de agroquímicos, ya sea el uso de antibióticos o bactericidas (McManus *et al.* 2002, Stanton 2013). Los antibióticos en este caso, consisten en sustancias que eliminan las bacterias; los bactericidas son compuestos de cobre y agentes biológicos que pueden integrarse en los planes de manejo (Gent y Schwartz 2005, Varympopi *et al.* 2020). En pocos casos se utilizan compuestos biológicos o naturales para el control de los problemas causados por bacterias u otros compuestos que induzcan la resistencia en plantas (Bhagwat y Datar 2014, Li *et al.* 2017, Vu *et al.* 2017).

El uso de antibióticos en la agricultura inició hace alrededor de 6 décadas, en los años 1950s. Cerca de 40 antibióticos de origen bacterial o fúngico fueron utilizados para el control de enfermedades en plantas (McManus *et al.* 2002). La estreptomycin fue uno de los más utilizados, posteriormente la oxitetraciclina, el ácido oxolínico y la gentamicina (McManus y Stockwell 2000).

La estreptomycin ha sido efectiva para controlar *Erwinia amylovora* en manzana, en los Estados Unidos, mientras que la oxitetraciclina se ha utilizado para evitar la multiplicación de

la bacteria (Stockwell y Duffy 2012). La estreptomycin además ha sido utilizada para *Pseudomonas cichorii*, que causa la quema bacterial en apio y en varios patovares de *Pseudomonas syringae*, que presenta diversos síntomas en manzana, pera y árboles forestales; también en *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*, con la mancha bacteriana en chile dulce y tomate, y *Agrobacterium tumefaciens*, que favorece la formación de tumoraciones en el cultivo de rosa. Ha sido también permitido para el tizón en la pera y en tabaco para *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci* y el moho azul (*Peronospora tabacina*). Este último moho es el único patógeno eucariota que es tratado con un antibiótico. Usualmente ha sido comercializado como Agrept, Agri-mycin (16,5 WP y 44,3 WP), Agri- Strep, Fructosin y Plantomycin (McManus *et al.* 2002).

La oxitetraciclina es una tetraciclina producida de forma natural a partir de *Streptomyces rimosus* y se utiliza mayormente en la mancha bacterial producida por *Xanthomonas* spp. En México y América Central es parte del manejo de *E. amylovora* en manzana y en enfermedades causadas por *Pectobacterium* spp., *Pseudomonas* spp. y *Xanthomonas* spp. en diferentes cultivos (Stockwell y Duffy 2012). Se mercadea bajo marcas comerciales como Biostat, Glomycin, Myco Shield, Terrafungine y Terramicina; en Costa Rica es conocido como Agri-mycin (16,5 WP y 44,3 WP).

La gentamicina se utiliza en México para el control de *Erwinia* spp. causante del tizón en manzana y pera. También es común su uso en México y América Central para controlar varias enfermedades relacionadas a *Pectobacterium*, *Pseudomonas*, *Ralstonia* y *Xanthomonas* en diversos cultivos. En Estados Unidos está prohibido este antibiótico, debido al alto uso clínico que posee (Stockwell y Duffy 2012). Se vende como Agry-Gent y cuando se mezcla con oxitetraciclina como Agry- Gent Plus-8 WP o Bactrol.

El ácido oxolínico se encuentra registrado en Israel para el control de *E. amylovora* y en Japón para *Burkholderia glumae* en arroz. En este último país, después de 10 años de uso

se comenzó a observar resistencia, junto con una resistencia cruzada hacia otras quinolonas como ciprofloxacina. En Israel, la resistencia en algunos huertos inició luego de 2 años. Por estas evidencias, es que este antibiótico es el menos recomendado en el campo agrícola (Stockwell y Duffy 2012).

Compuestos antifúngicos de origen microbiano, como blastomicin S y cicloheximida, utilizados para el control de enfermedades bacterianas en arroz, han sido también clasificados como antibióticos (McManus *et al.* 2002). Otros, como la Validamicina, registrado en Costa Rica, se vende bajo el nombre Cepex-10 SL y Validacin-5 SL. Además, el ingrediente activo kasugamicina es formulado como Kasumin-2 SL.

En Costa Rica cultivos como: arroz, papa, manzana, aguacate, banano, cacao, café, cebolla, frijol, plátano, tabaco, ajonjolí, soya, chile dulce, repollo, tomate, melón y sandía, dentro de sus planes de manejo incluyen la aplicación de antibióticos para el control de enfermedades (IRET 2022). Además de los anteriores, en visitas de campo se observó el uso de antibióticos en apio y otras hortalizas de las familias Cucurbitaceae, Brassicaceae y Solanaceae.

Se levantó un registro con información aportada por un grupo de agricultores a los que se les consultó sobre el uso de antibióticos en el cultivo de tomate, la cual generó información sobre productos utilizados, frecuencias de aplicación y patógenos a controlar, entre otros. Esto podría utilizarse como información base para el desarrollo de investigaciones futuras y que busquen mejorar la educación en cuanto al uso adecuado de los productos. El objetivo de este trabajo fue realizar un diagnóstico sobre el uso de productos antibióticos u otros agroquímicos para el control de problemas bacterianos en el cultivo de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la recopilación de los datos se generó un documento a partir de un “Formulario de Google”, el cual facilita crear y analizar información en tiempo real, aspecto que favoreció el aporte de resultados inmediatos una vez recibidos los datos, para el planteamiento del diagnóstico. Adicionalmente, fue completado con un documento en formato físico.

Para tener la mayor población muestral posible, se contactaron funcionarios de las agencias de extensión del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de la Región Pacífico Central (Cedral), Región Brunca (Pérez Zeledón, Buenos Aires y Coto Brus), Región Central Occidental (Zarcelero, Palmares, San Isidro de Heredia, Santa Bárbara, Naranjo, Grecia, Poás, Alajuela, Sarchí, Heredia, Atenas), Región Chorotega (Nicoya, Cañas, Carrillo, Bagaes, Hojanca y Tilarán), Región Central Sur (Puriscal y Santa Ana) y Región Central Oriental (Dota, Tarrazú, Turrialba, Paraíso, Corralillo y Coronado). Estas agencias están a cargo de al menos un agricultor que produce tomate. También se contactó al Centro Agrícola Cantonal (CAC) en Santa Ana, San José.

Se registro información de 39 agricultores. Algunos datos se registraron a partir del enlace compartido del “Formulario de Google”, mientras que otros fueron enviados por correo postal a los funcionarios del MAG quienes también colaboraron con el levantamiento de información. Otras consultas fueron atendidas telefónicamente por la persona productora de tomate. El levantamiento de datos se realizó de enero a diciembre del 2021.

Mediante el formulario diseñado para realizar el diagnóstico se registraron y analizaron variables relacionadas con la localización de la finca, el área, sistemas de siembra, canales de comercialización del producto, acceso a asesoría agrícola, bacterias fitopatógenas reportadas y su frecuencia, el uso de antibióticos u otros agroquímicos, las dosis utilizadas, frecuencias de aplicación, periodo de carencia y el manejo de residuos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Población consultada. Las respuestas recibidas fueron de 15 agricultores de la Región Pacífico Central, 10 agricultores de la Región Central Sur, 6 agricultores de Región Brunca, 4 agricultores de la Región Chorotega, 3 agricultores de la Región Central Occidental y 1 agricultor de la Región Huetar Norte. No hubo respuesta por parte de la Región Central Oriental. Conforme a estos resultados se puede observar que se obtuvieron respuestas provenientes de las principales áreas de producción.

Entre los agricultores consultados, se evidenció la utilización de diferentes sistemas de producción. Un 51,3% tiene el tomate en campo abierto, un 41% utiliza semitechos (cubiertas plásticas que varían de 1 a 1,2 m de ancho) y un 12,8% lo cultiva en invernadero. Ninguno de los consultados utilizó microtúneles o cultivos hidropónicos. Algunos agricultores indicaron utilizar varios de los sistemas de siembra simultáneamente.

Áreas y sistemas de siembra. La mayoría de los consultados fueron pequeños productores. Un 87,2% cultiva menos de 1 ha y sólo el 12,8% tiene entre 2 y 5 ha de cultivo.

Dentro de los sistemas de siembra del tomate en Costa Rica se nombran 4 principales: 1) siembra a campo abierto o en asocio con plantas de café, 2) siembra a campo abierto y en monocultivo, 3) sistema semiprotegido o con bandas plásticas y 4) sistema en ambiente protegido (INTA 2017). Este último, bajo un manejo adecuado, ofrece una ventaja al cultivo durante todo el año y favorece la protección de las plantas contra plagas y enfermedades (Shamshiri *et al.* 2018).

Canales de comercialización del producto. El productor indicó utilizar una o varias de las opciones planteadas para comercializar la producción de tomate. Un 51,3% utiliza el Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA), comercializan a través de las Ferias del Agricultor de su localidad o se desplazan a otros lugares, un 28,2% lo vende a intermediarios y solo un 2,6% ofrece el producto en

pulperías. Cabe aclarar que los datos aportados anteriormente incluyen diferentes canales simultáneamente. Ninguno de los consultados utiliza el sistema de Programa de Abastecimiento (PAI), vende el producto a grandes supermercados o es exportador. Según el análisis no se reportaron agricultores exportadores de tomate. En el 2013 que fue el dato más representativo durante el estudio, Portal Frutícola indicó la exportación de 1600 cajas al mercado estadounidense que representan un total de 13,1 toneladas durante el 2012. Procomer (2020) reporta la exportación de 141 toneladas principalmente a Estados Unidos, Guadalupe, Colombia y Guatemala durante el 2021. Lo que demuestra un incremento en las exportaciones de tomate. Actualmente, empresas como Tomatissimo, Asociación de Productores de Cultivos Bajo Medio Controlado de Alfaro Ruiz (Apromeco) y ASOPROCONA reportan ser exportadores de tomate en Costa Rica.

Acceso a asesoría agrícola. De los agricultores consultados, un 20,5% no recibe ningún tipo de ayuda o asesoría. Del 79,5% restante, 10,3% sólo solicita asesoría en caso de tener alguna dificultad y el 69,2% recibe asesoría simultánea de diferentes fuentes, un 43,6% recibe asesoría del MAG o del Servicio Fitosanitario del estado (SFE), un 17,9% de vendedores de agroquímicos, un 5,1% del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agraria (INTA) y sólo un 2,6% recibe asesoría privada. En el caso de agricultores del cantón de Santa Ana un 100% recurre a la asesoría del Centro Agrícola Cantonal (CAC). Además, un pequeño porcentaje (2,6%) recurre a búsqueda en línea para consejos en agricultura orgánica o recurren a amigos agricultores con mayor experiencia.

Del total de agricultores que reciben asesoría son asistidos: un 55,9% una vez al mes, un 18,5% cada 15 días, un 14,9% una vez al año y un 10,7% una vez cada 6 meses. También se reporta que solicitan la asesoría cuando es necesario o tienen algún problema que no pueden resolver.

Bacterias fitopatógenas reportadas y su frecuencia. Un 20,5% aseguró no tener problemas a nivel de patógenos, el 79,5% restante

tiene problemas para la producción del tomate a nivel fitopatológico. Los mayores problemas se dan por factores ocasionados por bacterias que se logran identificar en mayor parte por medio del conocimiento propio obtenido por una experiencia pasada, por síntomas característicos de la enfermedad, por pérdidas en la productividad, que determina el olor en la planta y exudados en el suelo o tallo, por indicaciones de un profesional y un menor porcentaje utiliza tanto, análisis de laboratorio, síntomas visuales u otros métodos como colocar arroz hervido en el suelo alrededor del tallo y según el color que muestre se puede

determinar si el daño es causado por hongos o bacterias.

Un 45,1% reporta que los problemas debido a bacterias ocurren durante todo el año, mientras que un 34,3% afirma que solo ocurre en un periodo específico, especialmente cuando inicia la época lluviosa. El 20,6% restante, no tiene conocimiento del tema.

En la Figura 1 se presentan los géneros de bacterias en cada una de las regiones y su frecuencia de aparición, reportadas por los agricultores consultados.

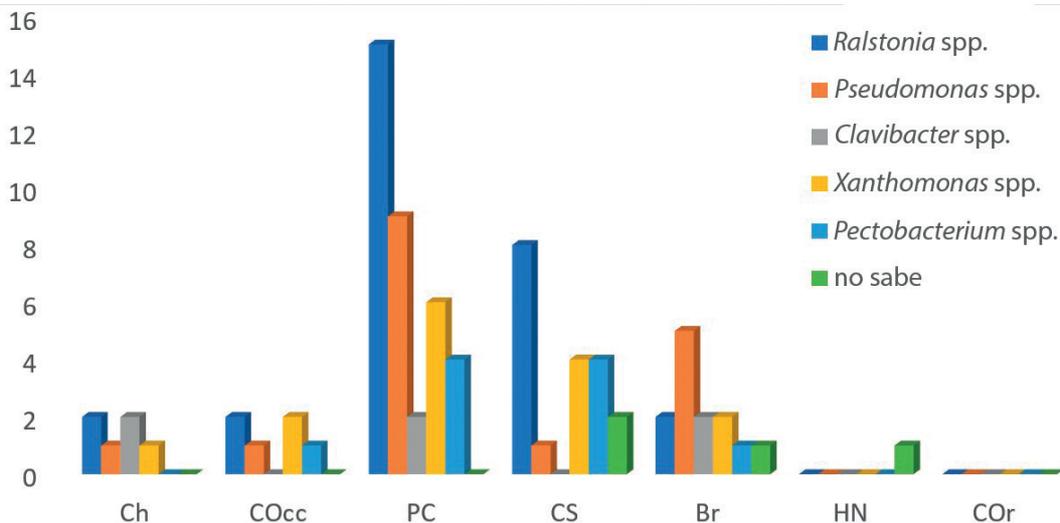


Figura 1. Bacterias fitopatógenas reportadas por los agricultores consultados presentes en las regiones productoras de tomate, según encuesta 2021.

Ch (Región Chorotega), COcc (Región Central Occidental), PC (Región Pacífico Central), CS (Región Central Sur), Br (Región Brunca), HN (Región Huetar Norte), COOr (Región Central Oriental).

En la Región Chorotega se reportó la presencia de 4 bacterias: *Ralstonia* spp., *Pseudomonas* spp., *Clavibacter* spp. y *Xanthomonas* spp. Se reporta en mayor frecuencia la presencia de *Ralstonia* spp. y *Clavibacter* spp. (0,33 cada una) además, los productores reportan que la bacteria más problemática en cuanto a erradicación y

recurrencia en las plantaciones ha sido *Ralstonia* spp., seguida por las otras 3 bacterias presentes. En cuanto a los daños, pérdidas y disminución en la productividad prevalece *Pseudomonas* spp., seguida por *Ralstonia* spp. y *Clavibacter* spp.

En la Región Central Occidental se reportaron 4 bacterias: *Ralstonia* spp., *Pseudomonas* spp.,

Xanthomonas spp. y *Pectobacterium* spp. *Ralstonia* spp. y *Xanthomonas* spp. (0,33 cada una) se encuentran en mayor frecuencia. En cuanto a erradicación y recurrencia se reportan mayores problemas con *Ralstonia* spp., seguida de *Xanthomonas* spp., únicamente. Bacterias como *Ralstonia* spp., *Xanthomonas* spp. y *Pseudomonas* spp., en ese orden, son las que producen una mayor cantidad de daños, pérdidas y disminución en la productividad.

En la Región Pacífico Central se reportó la presencia de las 5 bacterias para el cultivo de tomate. La de mayor frecuencia es *Ralstonia* spp. (0,42) seguida por *Pseudomonas* spp. (0,25), *Xanthomonas* spp. (0,17), *Pectobacterium* spp. (0,11) y *Clavibacter* spp. (0,05). *Ralstonia* spp. es la única que se reporta como problemática a la hora de tratar de erradicarla y la recurrencia que tiene en la siembra de tomate. Los mayores daños, pérdidas y disminución en la productividad en esta región, son causados por *Ralstonia* spp., *Pseudomonas* spp. y *Xanthomonas* spp.

En la Región Central Sur se reporta la presencia de 4 bacterias y la ausencia de únicamente *Clavibacter* spp. En mayor frecuencia se reporta a *Ralstonia* spp. (0,42) seguida por *Xanthomonas* spp. y *Pectobacterium* spp. (0,21 cada una) y finalmente, *Pseudomonas* spp. (0,05). Algunos agricultores reportan no saber qué tipo de enfermedades tienen en sus plantaciones. Se reporta a *Ralstonia* spp. como la única que es problemática a la hora de tratar de erradicarla, que tiene recurrencia, que presenta los mayores daños, pérdidas y una disminución en la productividad.

En la Región Brunca se reporta la presencia de las 5 bacterias en el cultivo, y en el caso de *Pseudomonas* spp. (0,38) es la que presenta una mayor frecuencia seguida por *Xanthomonas* spp., *Clavibacter* spp. y *Ralstonia* spp. (0,15 cada una) y en un menor caso *Pectobacterium* spp. (0,07). Algunos agricultores reportan no saber qué factores afectan a sus plantaciones. La bacteria que tiene una mayor dificultad para erradicarla y problemas con la recurrencia es *Pseudomonas* spp., seguida por *Ralstonia* spp. Estas mismas bacterias están presentes y en el mismo orden en cuanto a problemas por daños, pérdidas y una disminución en la productividad.

En la Región Huetar Norte se desconoce los problemas que existen y para la región Central Oriental no hubo respuesta a la consulta.

INTA (2017) reporta que, entre las enfermedades bacterianas más limitantes en Costa Rica, está la marchitez bacteriana, la cual es muy severa, debido al uso continuo de siembras de tomate o solanáceas en el mismo lote.

En una misma plantación o inclusive planta, se reportó la posible presencia de diferentes especies de bacterias, lo cual es importante conocer para el manejo que se le dé a la plantación.

Uso de antibióticos u otros agroquímicos. En la Figura 2 se observa que un 71,8% de las respuestas generadas evidencian el uso de antibióticos u otros agroquímicos para el manejo de los problemas ocasionados por bacterias fitopatógenas. Un 23,1% indicó que no aplica antibióticos y un 5,1% se abstuvo de contestar.

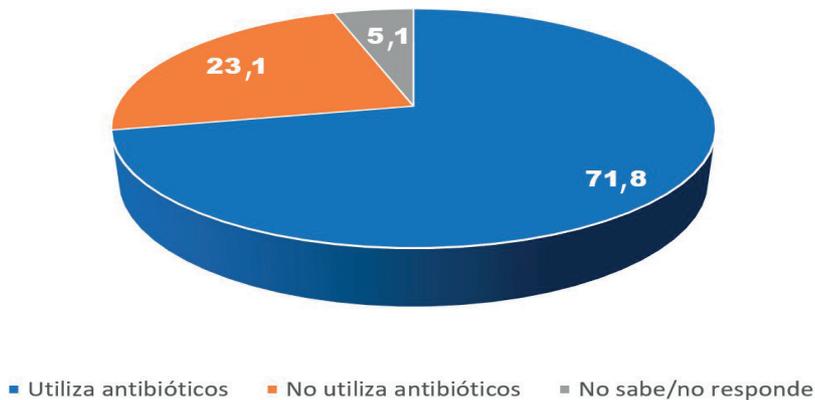


Figura 2. Uso de antibióticos según agricultores consultados en plantaciones de tomate durante el 2021. Costa Rica.

Agroquímicos y dosis utilizadas. La aplicación de antibióticos u otros agroquímicos es variada. En la Tabla 1 se exponen datos de los antibióticos, antimicrobianos u otros compuestos utilizados durante el 2021 por los agricultores consultados.

Los 14 compuestos utilizados por los agricultores se pueden dividir en 5 grupos

Antibióticos. El Agry-gent Plus (Agrotico 2022) es un compuesto antibiótico-aminoglucósido en cuya composición se utilizan los antibióticos: tetraciclina, gentamicina y oxitetraciclina. El Agri-mycin (Casagri 2022) está reportado como bactericida, antibiótico y bacteriostático compuesto por oxitetraciclina y estreptomina. Kasumin (Disagro 2022) es un fungicida y bactericida sistémico compuesto por el antibiótico kasugamicina de origen biológico, que se obtiene de la fermentación del hongo *Streptomyces kasugaensis*. Terramicina Mycoshield TMQTHC 20® y Terramicina Agrícola 5WP (Zoetis 2022), están reportados como bacteriostáticos y compuestos por oxitetraciclina. La Oxitetraciclina 5% es un bacteriostático de amplio espectro compuesto por clorhidrato de oxitetraciclina.

Compuestos generados a partir de productos naturales. El Kilol (Agro Pro 2022) es un fungicida y bactericida preventivo y curativo y tiene una acción desinfectante. El Biobacter O (GreenCorp 2022) es un compuesto de amplio espectro con acción bactericida y bacteriostática, que previene y controla; también podría considerarse un inductor de resistencia contra enfermedades causadas por bacterias fitopatógenas.

Compuestos generados a partir de productos químicos. El Beltanol (Probelte 2022) es un fungicida bactericida sistémico que controla enfermedades del sistema vascular en aplicaciones tempranas. Este está compuesto por 8-hidroxiquinoleina la cual está reportada como antiséptico y desinfectante con acción pesticida. El Previcur (propamocarb) el cual es un fungicida sistémico (Bayer 2022) y el Daconil (clorotalonil) que es un fungicida preventivo de amplio espectro (Syngenta 2022).

Inductores de resistencia. Serenade Max (Bayer 2022) tiene acción fungicida y bactericida y está compuesto por *Bacillus subtilis* cepa QST713.

Tabla 1. Agroquímicos utilizados en tomate según respuestas de agricultores durante el 2021, Costa Rica.

Producto	Tipo de agroquímico ³	Composición ³	Dosis utilizada por productor	Dosis recomendada ³	Enfermedades que controla ³
Agry-gent Plus 8WP	Antibiótico-aminoglucósido	Tetraciclina, Sulfato de gentamicina, Clorhidrato de oxitetraciclina	200 g.estañón ⁻¹ 60 mL.bomba ⁻¹	1,6 kg.ha ⁻¹	No hay
Agri-mycin	Bactericida, antibiótico, bacteriostático	Oxitetraciclina, Sulfato de estreptomina	90 mL.bomba ⁻¹ 60 mL.bomba ⁻¹ 45 mL.bomba ⁻¹ 30 mL.bomba ⁻¹ 20 mL.bomba ⁻¹	120-240 g.100L ⁻¹	<i>Erwinia atroseptica</i> , <i>E. chrysanthemi</i> , <i>Xanthomonas</i> spp., <i>Pseudomonas</i> spp.
Beltanol	Fungicida-bactericida sistémico	8-hidroxiquinoleina 37,5% (sulfato)	No indica	4 L.ha ⁻¹	<i>Clavibacter michiganensis</i>
Biobacter	Bactericida y bacteriostático	Formulación orgánica	30 mL.bomba ⁻¹	1-2 L.ha ⁻¹	<i>Erwinia carotovora</i> , <i>Xanthomonas fragariae</i>
Cobretane	Fungicida-Ditiocarbamato	Mancozeb, oxiclورو de cobre	20 mL.bomba ⁻¹	2-3 kg.ha ⁻¹	No hay
Daconil	Fungicida multi-sitio, Amplio espectro	Chlorothalonil	No indica	1,5-3 L.ha ⁻¹	<i>Phytophthora infestans</i>
Hachero	Fungicida y bactericida	Sulfato de cobre pentahidratado	10 mL.bomba ⁻¹	100-125 mL.200L ⁻¹	<i>Erwinia</i> spp., <i>Xanthomonas</i> spp., <i>Pseudomonas</i> spp.
Kasumin	Fungicida y bactericida sistémico	Kasugamicina 20 g.L ⁻¹ de origen biológico	900 mL.bomba ⁻¹ 90 mL.bomba ⁻¹ 60 mL.bomba ⁻¹ 1 L.estañón ⁻¹	1,4-3,5 L.ha ⁻¹	<i>Xanthomonas vesicatoria</i>
Kilol	Biológico	Extracto de semilla de cítricos, ác. ascórbico, glicéridos, etc.	90 mL.bomba ⁻¹ 60 mL.bomba ⁻¹ 45 mL.bomba ⁻¹ 20 mL.bomba ⁻¹ 1 L.estañón ⁻¹	1,5 L.ha ⁻¹	No hay
Oxitetraciclina 5%	Bacteriostático	Clorhidrato de oxitetraciclina	No indica	400 g.100L ⁻¹	<i>Erwinia amylovora</i>
Phyton	Bactericida, fungicida sistémico	Sulfato de cobre pentahidratado	No indica	0,75-1,5 L.ha ⁻¹	<i>Xanthomonas campestris</i> , <i>Pseudomonas corrugata</i> , <i>Clavibacter michiganensis</i>
Previcur	Fungicida sistémico	Propanocarb, fosestil	600 mL.bomba ⁻¹	1-3 L.ha ⁻¹	<i>Phytophthora infestans</i>
Serenade max	Biológico	Bacillus subtilis cepa QST713	No indica	2,5-4 kg.ha ⁻¹	<i>Pseudomonas syringae</i>
Terramicina Agrícola-5 WP	Bacteriostático	Oxitetraciclina Pfizer	No indica	40 g.20 L ⁻¹	No indica
Terramicina Mycoshield TM	Terramicina agrícola	Clorhidrato de oxitetraciclina, ác. cítrico, drewfast	500 g.estañón ⁻¹ 100 g.bomba ⁻¹ (al suelo)	500 g.455L ⁻¹	<i>Xanthomonas campestris</i> , <i>Erwinia amylovora</i>

1 Estañón contiene 200 L (por lo general se aplican de 200-400 L por hectárea).

2 Bomba contiene 16 L la manual o 20 L la de motor.

3 Datos obtenidos de la ficha técnica del producto.

Bactericidas. Hachero (Agrocosta 2022) es un fungicida y bactericida compuesto por sulfato de cobre pentahidratado. El Cobrethane (Corteva 2022) es un fungicida bactericida preventivo de amplio espectro, compuesto por mancozeb y oxiclورو de cobre. El Phyton (Serfi 2022) está reportado como un bactericida y fungicida sistémico de acción preventiva y curativa contra hongos y bacterias, compuesto por sulfato de cobre pentahidratado.

La mayoría de los ingredientes activos que anotaron los agricultores se recomiendan por las casas comerciales para el control de enfermedades bacterianas, a excepción del Previcur y el Daconil los cuales están reportados para controlar problemas ocasionados por oomicetes como *Phytophthora infestans* (tizón tardío del tomate y de la papa) y hongos.

Un problema que se observó en los datos obtenidos de forma consistente es la aplicación de dosis diferentes a las que se recomiendan en la ficha técnica del producto. Tal es el caso del Agri-mycin y el Kasumin, donde las concentraciones varían entre 20-90 mL.bomba⁻¹. Existe la posibilidad de que esta variación se deba al momento de la aplicación en diferentes estados fenológicos del cultivo, pero no se cuenta con esa información.

Un 48,7% de los agricultores reporta ser consistente con la dosis que utiliza para un producto en específico, sin embargo, un 20,5% reporta haberlas aumentado cuando no se ven resultados positivos en el manejo de los agentes fitopatológicos. La variación en las dosis de aplicación podría llevar a problemas de resistencia, como los reportados con el ácido oxolínico por Stockwell y Duffy (2012).

Frecuencia de aplicación y periodos de carencia. Respecto a la cantidad de aplicaciones de agroquímicos ningún agricultor aplica todos los días, un 30,2% aplica de 1 a 2 veces por semana, un 24,1% aplica 1 vez por semana, un 15,4% aplica 1 vez cada 15 días y un 2,6% 1 vez al mes. Un 11,3% aplica sólo cuando observa síntomas y un 16,4% no aplica ningún producto (en algunos

casos sólo aplica compuestos biológicos los cuales no fueron sujeto de este estudio).

Un 56,4% de los productores reporta que la aplicación de antibióticos le permite obtener una buena cosecha, aunque se observen síntomas causados por bacterias. Un 15,4% reporta que los antibióticos le permiten eliminar o erradicar las enfermedades y un 28,2% no sabe o no responde.

Con respecto al periodo de carencia del agroquímico, un 12,8% de los agricultores hace la última aplicación de 2-5 días antes de la cosecha, un 35,9% aplica de 8-15 días antes, un 10,2% lo hace de 15-22 días antes, un 30,8% lo hace de acuerdo con las instrucciones del empaque del producto y un 10,3% del todo no aplica de los productos evaluados.

Manejo de residuos. En cuanto al manejo de residuos, no se reportaron desechos en las pilas de agua, mientras que un 53,8% señaló que no se generan residuos. Un 20,5% reporta que los residuos se almacenan en sacos y bolsas, que se queman con los rastrojos, se reaplican en el cultivo, se realizan triples lavados y se reutilizan los envases, y si queda un residuo se aplica a otros cultivos como frijol; actividades que en ocasiones se realizan simultáneamente. Un 10,3% reporta que el residuo se entierra o se desecha en el suelo circundante y un 15,4% que se guardan en un envase para desechar posteriormente o se desechan con la recolección de plásticos para reciclaje.

La aplicación de antibióticos, así como el manejo de los residuos, es un tema al que se le debe dar prioridad, dada su relación con la posible generación de resistencia a los utilizados en el combate de enfermedades bacterianas en seres humanos. Bacterias que muestran resistencia a antibióticos pueden pasar sus genes de resistencia (Thomas y Nielsen 2005, von Wintersdorff *et al.* 2016) a bacterias intestinales y causar serios problemas para la salud humana, especialmente ante cuadros bacterianos que no responden al uso de antibióticos (Kirbis y Krizman 2015, Pan y Chu 2017). En el 2006, Rodríguez *et al.* 2006 reportaron la presencia de varias bacterias con resistencia a la gentamicina y a la oxitetraciclina

en cultivos de lechuga en Costa Rica. Es necesario realizar investigación exhaustiva, que muestre el efecto que tiene el uso de antibióticos en la agricultura, el efecto sobre el consumidor en productos frescos como procesados, alternativas que se le puedan dar al agricultor para el control de enfermedades causadas por bacterias, y un manejo responsable y efectivo de los mismos.

CONCLUSIONES

La producción del cultivo de tomate se adapta a las condiciones de todo el territorio nacional de Costa Rica. Entre los pequeños y medianos productores la siembra a campo abierto es la que predomina, seguida por semitechos e invernaderos, para su venta en estado fresco. Se identificó que todos los productores consultados, venden el producto en el mercado nacional, principalmente en CENADA o las ferias del agricultor de diferentes localidades. La mayoría de los agricultores solo reciben asesoría en caso de tener algún problema que lo amerite, y en caso de necesitarlo lo realizan a través del MAG (SFE), de los vendedores de agroquímicos, del INTA o de forma privada.

Los problemas fitopatológicos son comunes en el cultivo del tomate, en su mayoría causados por bacterias que son difíciles de erradicar y tienen una alta incidencia en las plantaciones, además de que producen pérdidas y disminución en la productividad. Parte del manejo del cultivo se realiza mediante el uso de antibióticos u otros agroquímicos, donde se nota que en algunos casos las concentraciones varían de acuerdo con las establecidas en las fichas técnicas de los productos. Por otra parte, se utilizan productos recomendados para el control de problemas causados por oomicetes y hongos.

No hay claridad en cuanto al manejo de residuos y los periodos de carencia utilizados por los productores de tomate, y se utilizan diversas opciones.

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a las personas funcionarias de las agencias de extensión del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y al Centro Agrícola Cantonal (CAC) en Santa Ana, San José que colaboraron para obtener la información requerida para el estudio. A la Vicerrectoría de Investigación de la UCR por facilitar la realización de este trabajo como parte del proyecto 813-C0-466.

LITERATURA CITADA

- Agrocosta. 2022. Ficha técnica del Hachero 6.6 SL (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <https://agrocosta.net/wp-content/uploads/2018/03/Hachero.pdf>
- Agro Pro. 2022. Ficha técnica del KILOL LDF 100 11SL (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <https://agroproca.com/product/kilol-ldf-100-11sl/>
- Agrotico. 2022. Ficha técnica del Agry-gent Plus (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <http://agrotico.net/web/index.php/agry-gent-plus-8wp>
- Bayer. 2022. Ficha técnica del Previcur Energy (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <https://www.cropscience.bayer.es/Productos/Fungicidas/Previcur-Energy>
- Bayer. 2022. Ficha técnica del Serenade Max (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <https://www.cropscience.bayer.es/Productos/Fungicidas/Serenade-Max>
- Bertsch, F. 2006. El recurso tierra en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 30(1):133-156.
- Bhagwat, M; Datar, A. 2014. Antibacterial activity of herbal extracts against five plant pathogenic bacteria. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 47(7):892-899. DOI: <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.825398>
- Casagri. 2022. Ficha técnica del Agri-mycin 16.5WD (en línea). Consultado oct. 2022. Disponible en <https://www.zoetis.mx/products/agricola/agri-mycin-100.aspx>
- Corteva. 2022. Ficha técnica del Cobrethane WP (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <https://www.corteva.mx/productos-y-soluciones/proteccion-de-cultivos/cobrethane-wp.html>
- Díaz, C. 2007. Caracterización agro cadena de tomate. Dirección Regional Central Occidental. M.A.G. Grecia, Costa Rica. 46 p.
- Disagro. 2022. Ficha técnica del Kasumin 2SL (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <https://www.disagro.com/kasumin>

- Gent, DA; Schwartz, HF. 2005. Management of *Xanthomonas* leaf blight of onion with a plant activator, biological control agents, and copper bactericides. *Plant Disease* 89:6:631-639. DOI: <https://doi.org/10.1094/PD-89-0631>
- GreenCorp. 2022. Ficha técnica del Biobacter (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <https://greencorp.mx/producto/biocontrol/biobactericida/biobacter-o/>
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2017. Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*) /López Marín L. San José, C.R. 121 p.
- IRET (Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas). 2022. Manual de plaguicidas de Centroamérica. Universidad Nacional, San José, C.R (en línea). Consultado jun. 2022. Disponible en <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/>
- Kirbis, A; Krizman, M. 2015. Spread of antibiotic resistant bacteria from food of animal origin to humans and vice versa. *Procedia Food Science* 5:148-151.
- Li, C; Hu, W; Pan, B; Liu, Y; Yuan, S; Ding, Y; Li, R; Zheng, X; Shen, B; Shen, Q. 2017. *Rhizobacterium Bacillus amyloliquefaciens* strain SQR3-mediated induced systemic resistance controls bacterial wilt of tomato. *Pedosphere* 27(6):1135-1146. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60406-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60406-5)
- López, L. 2017. Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria San José, Costa Rica. 126 p.
- López, L; Quirós, Y. 2016. Estadísticas de áreas de siembra y rendimientos por región para tomate periodo 2015-2016. Comisiones estadísticas de tomate. San José, Costa Rica. MAG. 9 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería de CR). 2009. Programa Nacional del Tomate (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/dsorea-memoria-programas-nacionales-2009.pdf>
- McManus, P; Stockwell, VO; Sundin, GW; Jones, AL. 2002. Antibiotic use in plant agriculture. *Review of Phytopathology* 40:1:443-465. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.120301.093927>
- McManus, P; Stockwell, VO. 2000. Antibiotics for plant diseases control: silver bullets or rusty sabers. *APSnet Feature Articles* 10.1094/APSnetFeature-2000-0600. DOI: <https://doi.org/10.1094/APSnetFeature-2000-0600>
- Pan, M; Chu, LM. 2017. Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops. *Science of the Total Environment* (599-600):500-512. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.214>
- Portal Frutícola. 2013. Costa Rica: un buen año para la exportación de chile y tomate (en línea). Consultado oct. 2022. Disponible en <https://www.portalfruticola.com/noticias/2013/03/12/costa-rica-un-buen-ano-para-la-exportacion-de-chile-y-tomate/>
- Probelte. 2022. Ficha técnica del Beltanol (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <https://probelte.com/es/producto/beltanol/>
- Procomer. 2020. Anuario estadístico. Exportaciones según producto. San José, C.R (en línea). Consultado nov 2022. Disponible en <https://www.procomer.com/exportador/documentos/anuario-estadistico-2020/>
- Rodríguez, C; Lang, L; Wang, A; Altendorf, K; García, F; Lipski, A. 2006. Lettuce for human consumption collected in Costa Rica contains complex communities of culturable Oxytetracycline- and Gentamicin-resistant bacteria. *Applied and environmental Microbiology* 5870-5876.
- SEPSA. 2019. Boletín estadístico agropecuario No. 29 (en línea). Secretaria Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. Consultado oct. 2022. Disponible en <http://www.infoagro.go.cr/EstadisticasAgropecuarias/Paginas/BoletinesEstadisticos.aspx>
- Serfi. 2022. Ficha técnica del Python 27 (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <http://serfi.biz/product/python-27/>
- Shamshiri, R; Jones, J; Thorp, K; Ahmad, D; Che-Man, H; Taheri, S. 2018. Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: A review. *International Agrophysics* 32:287-302. DOI: <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0005>
- Stanton, TB. 2013. A call for antibiotic alternatives research. *Trends in Microbiology* 21(3):111-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2012.11.002>
- Stockwell, VO; Duffy, B. 2012. Use of antibiotics in plant agriculture. *Revue Scientifique et Technique - Office International des Epizooties* 31(1):199-210. DOI: <https://doi.org/10.20506/rst.31.1.2104>
- Syngenta. 2022. Ficha técnica del Daconil 720SC (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <https://www.syngenta.com.co/product/crop-protection/fungicida/daconil-720-sc>
- Thomas, C; Nielsen K. 2005. Mechanisms of, and barriers to, horizontal gene transfer between bacteria. *Nature reviews* 3:711-721.
- Varympopi, A; Dimopoulou, A; Theologidis, I; Karamanidou, T; Kaldeli KA; Vlachou, A; Karfaridis, D; Papafotis, D; Hatzinikolaou, DG; Tsouknidas, A; Skandalis, N. 2020. Bactericides based on copper nanoparticles restrain growth of important plant pathogens. *Pathogens* 9(12):1024. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens9121024>
- von Wintersdorff, C; Penders, J; van Niekerk, J; Mills, N; Majumder, S; van Alphen, L; Savelkoul, P; Wolfs, P. 2016. dissemination of antimicrobial resistance

- in microbial ecosystems through horizontal gene transfer. *Frontiers in Microbiology*. 7(173):1-10.
- Vu, TT; Kim, H; Tran, VK; Vu, HD; Hoang, TX; Han, JW; Choi, YH; Jank, KS; Choi, GJ; Kim, JC. 2017. Antibacterial activity of tannins isolated from *Sapium baccatum* extract and use for control of tomato bacterial wilt. *PLoS ONE* 12(7): e0181499. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181499>
- Zoetis. 2022. Ficha técnica de la Terramicina Agrícola (en línea). Consultado ene. 2022. Disponible en <https://www.zoetis.co.cr/products/agricola/terramicina-agricola.aspx>



Nota técnica

EFECTO DEL BALANCEO DE CARGAS EN LOS EJES DE TRACTORES AGRÍCOLAS SOBRE LA EFICIENCIA DE LABRANZA Y LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN SUELO VERTISOL

Karolina Villagra-Mendoza^{1/*}, Daniela Brenes-Canó², Natalia Gómez-Calderón³

Palabras clave: Balanceo de cargas; consumo de combustible; maquinaria agrícola; patinaje; peso del tractor; profundidad de labranza; propiedades del suelo; velocidad de avance.

Keywords: Ballast; fuel consumption; agricultural machinery; slippage; tractor weight; tillage depth; soil properties; tillage speed.

Recibido: 04/03/22

Aceptado: 23/08/22

RESUMEN

Introducción. Debido a la alta tasa de degradación del suelo a nivel mundial, se requiere encontrar prácticas agrícolas que promuevan la conservación de suelos. **Objetivo.** Evaluar el balanceo estático de cargas de un tractor dedicado a la labranza, por medio de diferentes distribuciones de contrapesos en sus ejes, para mejorar las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas y la eficiencia de operación en un suelo vertisol. **Materiales y métodos.** Se plantearon 3 balanceos de cargas diferentes en los ejes delantero y trasero 40-60%, 30-70% y 50-50%; mediante la adición de contrapesos en el eje trasero del tractor. Se realizaron muestreos de campo a una profundidad de 15 cm en 3 etapas de muestreo (antes de mecanizar, inmediatamente y 2 meses

después de mecanizar) en un vertisol con cultivo de pasto (*Digitaria decumbens* Stent). Se analizaron las variables de contenido de humedad del suelo, densidad aparente, límites plásticos, resistencia a la penetración del suelo, así como las necesidades hídricas del cultivo de acuerdo con los tratamientos. Además, se determinaron variables de operación y eficiencia, tales como profundidad de labranza, patinaje, consumo de combustible y fricción. Se analizaron las diferencias de las variables entre los tratamientos y entre etapas de muestreo con el fin de determinar el tratamiento con la menor afectación a las propiedades del suelo y mayor eficiencia de operación. **Resultados.** Se encontraron diferencias significativas entre los balanceos de carga por eje evaluados para todas las propiedades del suelo analizadas, excepto en el contenido de humedad. El balanceo 30-70% presentó los valores más

* Autora para correspondencia. Correo electrónico: kvillagra@itcr.ac.cr

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola, Cartago, Costa Rica.
 0000-0002-2335-0615.

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

 0000-0001-6990-5316.

3 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola, Cartago, Costa Rica.

 0000-0001-7961-7529.

bajos de consumo de combustible y de agua para el riego, patinaje, resistencia al corte y resistencia a la penetración. **Conclusiones.** El balanceo 30-70% se considera ideal para mecanizar bajo las condiciones estudiadas. No se recomienda mecanizar con el balanceo 50-50%, ya que la profundidad de labranza y los cambios en las propiedades del suelo fueron en detrimento de algunas propiedades del mismo.

ABSTRACT

Effect of agricultural tractor axle load balancing on tillage efficiency and the soil physical and mechanical properties of a vertisol. Introduction. Due to the high worldwide rate of soil degradation, it is necessary to look for agricultural practices that promote soil conservation. **Objective.** To assess the tractor axle load balancing dedicated to tillage, through different counterweights distributions, to improve the physical, mechanical, and hydraulic properties of a vertisol and the efficiency of tillage operation. **Materials and methods.** Three different load balances were set on the front and rear axles, being 40-60%, 30-70% and 50-50%, by adding counterweights to the rear

axle of the tractor. Field samples were taken at a depth of 15 cm in 3 sampling stages (before, immediately and 2 months after tillage), in a grass (*Digitaria decumbens* Stent) cultivated lot. Soil water content, bulk density, plastic limits, soil penetration resistance, as well as the water needs of the crop according to the treatments were analyzed. In addition, operation and efficiency variables were determined, such as tillage depth, slippage, fuel consumption, friction, and tractor power required. The differences of the variables between the treatments and sampling stages were analyzed to determine the treatment with the least impact to the soil properties and greater efficiency of operation. **Results.** Significant differences were found between balances in all the soil properties analyzed, except in the soil water content. The balance 30-70% presented the lowest values of fuel and water consumption for irrigation of the grass crop, wheel slippage, shear stress and penetration resistance. **Conclusions.** The balance treatment of 30-70% was considered as the best treatment under the studied conditions. Tillage with the treatment 50-50% was not recommended since tillage depth and soil property changes between sampling stages affected negatively to some soil properties.

INTRODUCCIÓN

El 25% de la tierra dedicada a la agricultura se encuentra en algún estado de degradación (FAO y ITPS 2015), donde la labranza es una de las causas más importantes de esta. De acuerdo con Gómez-Calderón *et al.* (2018), aproximadamente un 28% de los suelos en Costa Rica se encuentran en estado de degradación debido a la labranza, donde la convencional que es la más utilizada y la cual consiste en una labranza de corte y volteo. La labranza convencional aumenta el número de pasadas de la maquinaria lo que genera un sobretránsito de hasta un 86% del total del área mecanizada (Gómez-Calderón

et al. 2018), lo que afecta múltiples propiedades y funciones del suelo (Cadena *et al.* 2012). Adicionalmente, la labranza es una de las operaciones que consume más energía, ya que significa un 29% a un 59% de combustible, en todo el proceso de producción. Por tanto, la escogencia adecuada del tractor es muy importante no solo para mejorar directamente la eficiencia del proceso de labranza sino para determinar el menor impacto negativo sobre las propiedades del suelo (Al-Talabani 2021). Es así como los criterios de escogencia y operación del tractor deben estar en función de su peso, presión de las llantas, balance de cargas, y velocidad y profundidad de labranza adecuadas con el fin de minimizar el número de

pasadas y patinaje de las llantas, así como el consumo de combustible (Mamkagh 2019a).

La distribución del peso del tractor es clave en la compactación del suelo y en el consumo de combustible (Hartge y Horn 2016). Por lo tanto, para lograr un balance óptimo de distribución de cargas, se debe tomar en cuenta el tipo y tamaño del tractor; tipo, tamaño y número de llanta; tipo de suelo y su condición; y la fuerza de tiro (Casady 1997). Suelos vertisoles al presentar un gran contenido de arcilla, pueden mostrar más plasticidad o más cementación en función del contenido de humedad, lo que afecta el deslizamiento y la eficiencia de tracción (Jadhav *et al.* 2013). Debido a lo anterior, suelos con altos contenidos de arcilla impactan directamente en el requerimiento de mejores relaciones de balance de pesos (Al-Mastawi *et al.* 2022), por lo que el balance de cargas debe estar distribuido correctamente entre la parte delantera y trasera para obtener la máxima eficiencia de tracción, estabilidad, minimizar el consumo de combustible y la deformación del suelo (Casady 1997, Lyne *et al.* 1984). De acuerdo con lo mencionado por Pravin (2012), el balanceo óptimo de un tractor agrícola es de 41% en el eje delantero y 59% en el eje trasero, ya que bajo estas condiciones se obtiene la mayor tracción bruta y potencia. Por otra parte, Gómez-Calderón y Rodríguez-Yáñez (2020) recomiendan una relación 40% y 60% para el eje delantero y trasero, respectivamente, con el fin de conservar el centro de gravedad del tractor y prevenir su desgaste prematuro. Adicionalmente, el aumento del peso del tractor contribuye a aumentar la productividad, pero al mismo tiempo puede aumentar el consumo de combustible y la compactación del suelo. Por ejemplo, Mamkagh (2019a) reportaron hasta un 15% de aumento del consumo de combustible, y Mahmood *et al.* (2020) cuantificaron un aumento del 156% en consumo de combustible al aumentar 300 kg de peso en el tractor. Asimismo, Jorajuria y Draghi (2000) mencionan que el peso de los ejes no debe sobrepasar 49 kN para reducir la compactación a profundidades mayores a 30 cm.

El número de rastras también influye en la compactación del suelo. El primer pase del tractor es el que produce un mayor efecto sobre la compactación (entre un 50% - 60%), ya que el peso del eje del tractor es el más importante. Prácticas como el mantenimiento del balanceo estático del tractor contribuyen a disminuir el peso sin perjudicar la tracción, al aumentar el área de contacto y mantener una adherencia adecuada de los neumáticos, para evitar las bajas eficiencias de la maquinaria y así disminuye el costo de la labranza mecanizada (Gómez-Calderón *et al.* 2018).

El patinaje también afecta directamente el rendimiento de la labranza (Gómez *et al.* 2016) y a la vez influye en la deformación mecánica del suelo (Hartge y Horn 2016). Almaliki *et al.* (2021) explicaron el patinaje en función de la profundidad de labranza, la velocidad de avance del tractor y la cohesión y fricción de las partículas del suelo en términos de resistencia a la penetración. Observaron un patinaje máximo de 29% al aumentar la labranza a una profundidad de 25 cm con una resistencia a la penetración de 550 kPa, mientras que obtuvieron un 15% de patinaje a 10 cm de profundidad. Seguidamente, al aumentar 3 veces la velocidad de avance les generó un aumento en el patinaje del 116%. De acuerdo con Gómez *et al.* (2016) el porcentaje ideal de patinaje del tractor en el suelo puede oscilar entre 8-15% según del tipo de la tracción del tractor.

El impacto de la labranza en la deformación mecánica del suelo se encuentra fuertemente relacionado con la resistencia del suelo y el contenido de humedad. La resistencia al corte tangencial del suelo (fricción entre partículas) disminuye linealmente con el contenido de humedad (Rucks *et al.* 2004). Es así como en suelos con bajo contenido de humedad se requiere mayor potencia de los equipos de maquinaria agrícola para desestructurar al suelo, ya que se necesita un mayor estrés mecánico para separar las partículas del suelo (Fernández y Goñi 2010, Gómez *et al.* 2017). Asimismo, la resistencia a la penetración (compresión vertical), se encuentra fuertemente influida por el contenido de humedad del suelo, contenido de materia orgánica,

densidad aparente y textura del suelo. Esta suele aumentar con la densidad aparente y el contenido de arcillas y disminuir con el contenido de humedad y materia orgánica (Kuang *et al.* 2012). Valores de resistencia a la penetración de 1,5 MPa pueden reducir el crecimiento de las raíces de un cultivo, mientras que valores superiores a 2,1 MPa lo limitan considerablemente (Gómez-Calderón *et al.* 2018). Además de las condiciones del suelo que se relacionan con su deformación, Ten Damme *et al.* (2021) se refirieron al riesgo de deformación vertical al aumentar la fuerza de tracción del tractor y el número de pasadas. Estas personas autoras reportaron un aumento en la deformación vertical del suelo a profundidades entre 20 a 25 cm, y un daño horizontal entre 1,5 – 2 veces el ancho de la llanta cuando se utilizó un tractor con remolque cuyo peso estático total osciló entre 17 y 21 Mg.

Aparte de la configuración óptima de las cargas del tractor, es importante considerar la operación de la labranza bajo condiciones óptimas de contenido de humedad del suelo, en términos de friabilidad (Ashburner Sims 1984). En el estado friable, hay suficiente humedad entre las partículas del suelo para minimizar el efecto de deformación, sin que exista suficiente humedad para producir la cohesión que existe en el límite plástico, ya que cuando el estrés mecánico supera las fuerzas cohesivas el suelo, sufre deformación plástica sin recuperación elástica (Keller y Dexter 2012). Rucks *et al.* (2004) relacionaron los límites de consistencia de acuerdo con este tipo de suelo, en el cual indicaron que, a mayor contenido de arcilla mayor es el rango de consistencia y condición friable del mismo, y por lo tanto, el rango de humedad del suelo tiende a ser mayor para la mecanización. Por otra parte, el contenido de humedad óptimo para la labranza se considera menor al límite inferior plástico, LP (Kirchhof 2006), de 0,77 veces el LP para suelos franco arenosos (Bhushan y Ghildyal 1972), de 0,9 veces LP para la mayoría de tipos de suelos (Dexter y Bird 2001) y Keller y Dexter (2012) sugirieron utilizar un rango entre 0,7 – 0,9 veces LP.

La deformación del suelo produce cambios en su estabilidad estructural, reduce la porosidad, aumenta la cantidad de microporos y bloquea los espacios porosos llenos de aire (Ten Damme *et al.* 2021). Estos efectos se evidencian al tiempo de la mecanización. De acuerdo con Koola *et al.* (2019) se requieren entre 2 – 4 semanas para que el suelo se estabilice y se observen los efectos de la compactación del suelo. Por lo tanto, los efectos beneficiosos de la labranza sobre las propiedades hidráulicas pueden darse solo en el corto plazo; ya que estos efectos pueden no persistir con el tiempo. Por su parte, Haruna *et al.* (2018), observaron que la labranza aumentó el porcentaje de mesoporos gruesos en un 32%, lo que resultó en un aumento de más del 87% de la conductividad hidráulica saturada. Sin embargo, observaron que cuando el suelo se encontraba recién mecanizado, la densidad aparente tendía a disminuir y la conductividad hidráulica a aumentar, y después de 2-4 semanas (cuando el suelo se había estabilizado), a valores de densidad aparente mayores a $1,06 \text{ g.cm}^{-3}$, la densidad aparente tendía a aumentar, mientras que la conductividad hidráulica disminuía.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del balanceo de cargas en los ejes del tractor utilizado para la mecanización del suelo, y su impacto sobre las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de un suelo vertisol, a partir de 3 diferentes combinaciones de contrapesos en los ejes delantero y trasero del tractor, en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez. Además, se evaluó la relación entre las condiciones físicas, hidráulicas y mecánicas del suelo en 3 etapas de muestreo con respecto a la labranza, y se estimó la eficiencia de los balanceos en función del consumo de combustible, potencia requerida del tractor, porcentaje de patinaje y coeficiente de fricción del suelo. Asimismo, se calculó el consumo teórico del recurso hídrico para el cultivo de pasto para cada tipo de balanceo, con el fin de recomendar el balanceo de cargas con mayores ventajas operativas y de conservación del suelo. La hipótesis de este estudio fue que el balanceo de cargas

40-60% sugerido para alargar la vida útil del tractor también es la distribución óptima de cargas para reducir el impacto sobre las propiedades del suelo y aumentar la eficiencia de operación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del área de estudio. El estudio se realizó en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEJN) ubicada a 10 kilómetros al sur del centro de Cañas, Guanacaste, en un suelo de orden vertisol

(Figura 1). El periodo del estudio comprendió del 28 de julio al 27 de septiembre del 2019. Esta zona corresponde al bosque seco tropical (bs T) según la clasificación Holdridge, cuenta con una temperatura promedio anual de 24°C, una precipitación media anual de 1800 mm y con 5 meses de periodo seco (Solano y Villalobos 2021). La pendiente del terreno en el que se realizaron los tratamientos de labranza es plana. Antes de realizar el estudio, el área se había mantenido bajo el cultivo de pasto (*Digitaria decumbens* Stent) y sin mecanizar por al menos 5 años.

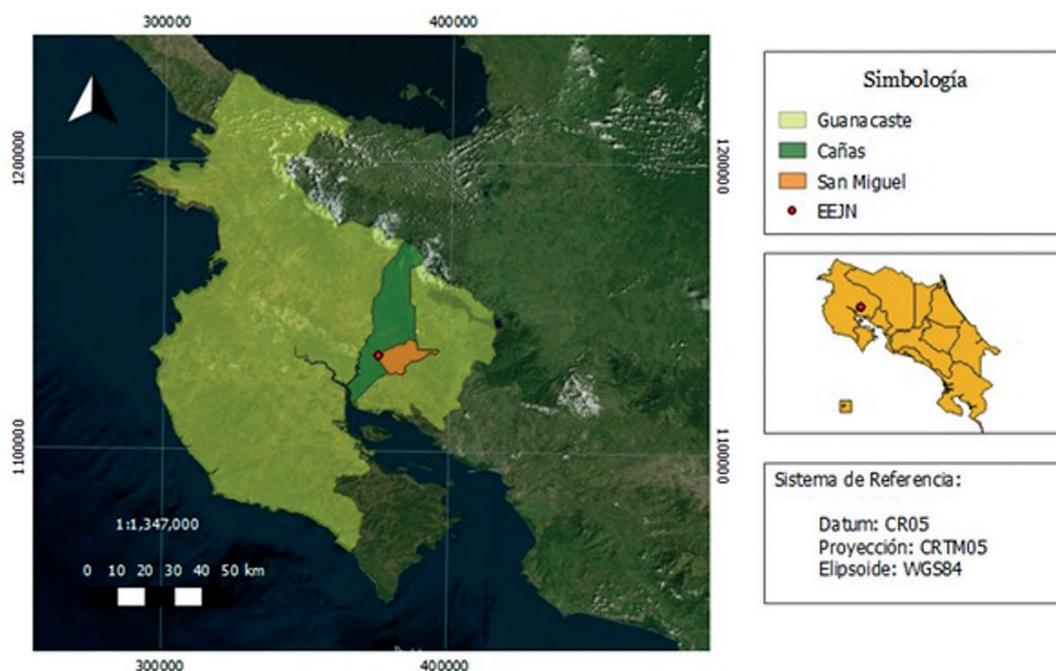


Figura 1. Ubicación del sitio de estudio en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEJN), en Cañas, Guanacaste.

Diseño experimental. Se establecieron 3 tipos de tratamientos en función de los balances de cargas de los ejes del tractor: 1) 40-60% con 40% del peso total del tractor que equivale a la carga del eje delantero y el 60% al eje trasero; 2) 50-50% con las cargas de los ejes distribuidas

uniformemente en ambos ejes; y 3) 30-70 con el 34% del peso total ubicado en el eje delantero y el 66% en el eje trasero del tractor. Adicionalmente, se plantearon 3 etapas de muestreo: A = antes de mecanizar, B = inmediatamente después de mecanizar y C = 2 meses después de mecanizar.

De esta manera, se combinaron los balances 40-60% (4060), 50-50% (5050), 30-70% (3070) y las frecuencias (B, C) para obtener los siguientes tratamientos: 4060-B, 4060-C, 5050-B, 5050-C, 3070-B, 3070-C.

La Figura 2 muestra el esquema del diseño experimental, en el cual el área de estudio fue de 3080 m², dividida en 3 parcelas (una por cada tipo de balanceo), con dimensiones de 106 m x 8 m. Antes de la mecanización (A) se establecieron 3 puntos de muestreo (Figura 2a) distanciados aproximadamente a 35 metros entre sí. En cada punto de muestreo se tomaron 6 muestras de

suelo de las cuales 3 réplicas fueron disturbadas (obtenidas con barreno muestreador) y 3 no disturbadas. Después de la mecanización (B y C), se establecieron 9 puntos de muestreo a lo largo de cada parcela (Figura 2b), distanciados aproximadamente 11 m entre sí. En cada punto de muestreo se tomaron 2 muestras no disturbadas del suelo con cilindros de acero inoxidable de aproximadamente 100 cm³. Todos los muestreos se realizaron a 15 cm de profundidad, que para pastos esta es la profundidad media aproximada de absorción de agua durante época seca (Kulmatiski *et al.* 2020).

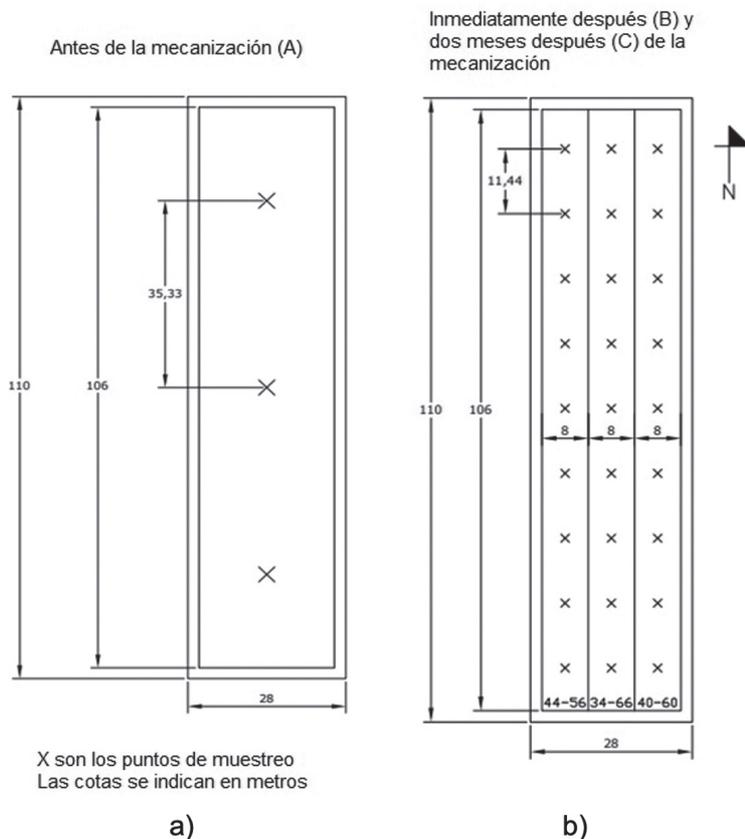


Figura 2. Esquema del diseño experimental y distribución de los puntos de muestreo: a) antes de la mecanización (A), b) después de la mecanización (B, C).

Se utilizó un tractor SL 150, con 114 kW de potencia bruta, con la tracción integral activada en todas las labores de balanceo, e hidroinflado al 100% en los neumáticos traseros convencionales de tamaño 16,9R30. Se acopló una rastra de 3,39 m de ancho de trabajo y 3,40 m de largo, con 28 discos de 0,55 m de diámetro, con un espaciamiento entre discos de 0,27 m y una profundidad de labranza teórica de 20 – 30 cm.

Análisis de variables físicas del suelo.

La textura del suelo se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (Medina González *et al.* 2007). La materia orgánica se removió previo al análisis de textura (Zimmermann y Horn 2020). La clasificación del suelo arcilloso se caracterizó por 20,5% arena (63 - 200 μm), 37,5% limo (2 – 63 μm) y 42% arcilla (< 2 μm) de acuerdo con la guía textural de la FAO (2015). El Índice de Plasticidad (IP) se obtuvo en el laboratorio a partir del cálculo de los Límites Atterberg, de acuerdo con la norma ASTM D424-59. La densidad aparente se obtuvo de dividir el peso seco del suelo (después de 105°C) entre el volumen de la muestra no disturbada. La porosidad (Blume *et al.* 2010) se calculó a partir del valor de la densidad aparente y la densidad real, asumiendo para esta última un valor de 2,65 g.cm³ (USDA 2001).

Medición del contenido de humedad del suelo a diferentes potenciales mátricos. Las muestras no disturbadas se saturaron por ascenso capilar por 24 h y luego se drenaron a un potencial mátrico de –33 kPa correspondiente a capacidad de campo en una olla de presión de Richards de 5 bar. El peso gravimétrico de las muestras se obtuvo del peso húmedo de las muestras después de alcanzar el equilibrio al potencial mátrico configurado y del peso seco después del secado en el horno a 105°C por 16 h. Para obtener el contenido de humedad gravimétrico al potencial mátrico de –1500 kPa (punto de marchitez permanente), se prepararon muestras disturbadas saturadas en duplicado en anillos de 1 cm de altura, y se drenaron por 4 semanas en ollas presión de Richards de 15 bar. Luego se secaron las muestras a 105°C por 16 h. El agua

útil se calculó como la diferencia entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). El contenido de humedad volumétrica se obtuvo de multiplicar el contenido de humedad gravimétrica por la densidad aparente (USDA 2001).

Medición de las propiedades hidráulicas y mecánicas del suelo. La conductividad hidráulica (K) se determinó por medio del método de columna constante, de acuerdo con la fórmula de Darcy (Soil Survey Staff 2018), como se muestra en la Ecuación 1.

Ecuación 1

$$K = (Q * L) / A * \Delta H$$

Donde

A = área de la sección transversal del cilindro (cm²)

L = altura del cilindro que contiene la columna de suelo (cm)

ΔH = carga total de agua (cm)

Q = caudal de agua (cm³/min)

La infiltración se determinó, en triplicado en cada punto de muestreo, mediante un minidisco infiltrómetro modelo S de la marca METER (Pullman, USA), a una succión de 3 cm-H₂O = 3 hPa. La infiltración base se obtuvo por medio de la fórmula de Kostiakov. (Baver *et al.* 1972). La resistencia a la penetración (RP) se determinó con un Penetrologger marca Eijkelkamp (Giesbeek, The Netherlands), hasta una profundidad de 80 cm. La resistencia al corte (RC) se determinó a 15 cm de profundidad, por el método de veleta, de la marca Eijkelkamp (Giesbeek, The Netherlands). Se utilizó una veleta de 16 x 32 mm de la marca Eijkelkamp (Giesbeek, The Netherlands).

Determinación de los parámetros de eficiencia de la labranza. El porcentaje de patinaje se midió durante la mecanización para cada uno de los balanceos (4060, 3070, 5050), de acuerdo con el procedimiento descrito en la Figura 3. El patinaje se midió en 3 pasadas de tractor (es decir, 3 repeticiones) por cada tratamiento establecido y se calculó el patinaje tanto para las

llantas traseras como delanteras del tractor. El recorrido de la llanta se calculó como lo indica la Ecuación 2 (Gómez *et al.* 2016).

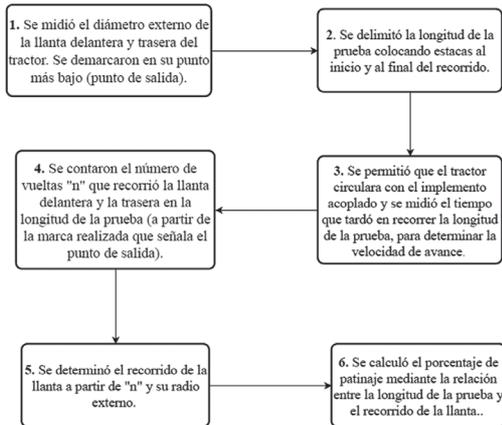


Figura 3. Procedimiento utilizado para cuantificar el porcentaje de patinaje durante la labranza.

Ecuación 2

$$R = 2\pi r * n$$

Donde

R = recorrido de la llanta (m)

r = radio externo de la llanta (m)

n = número de vueltas dada por llanta

El porcentaje de patinaje se obtuvo con la

Ecuación 3

$$\%Patinaje = 100 * \left(1 - \frac{L}{R}\right)$$

Donde

L = distancia del recorrido entre estacas (m)

El consumo de combustible de 14,7 L.h⁻¹ se obtuvo de los registros disponibles de la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEJN). A partir de la velocidad de avance del tractor (V) de cada tratamiento y del ancho de trabajo de la rastra de discos, se determinó la

cobertura del área (ha) trabajada en el tiempo (h) (V_{labranza}), según la Ecuación 4 (Gómez *et al.* 2017).

Ecuación 4

$$V_{labranza} = \frac{(V * W) * 3600}{10000}$$

Donde

V_{labranza} = velocidad de laboreo (ha.h⁻¹)

V = velocidad de avance del tractor (m.s⁻¹)

W = ancho de trabajo de la rastra (m)

La profundidad de labranza fue medida directamente en el campo al momento de mecanizar el suelo. El procedimiento consistió en introducir una varilla en el perfil del suelo hasta encontrar el piso de arado y posteriormente se midió con una cinta métrica la longitud del trozo de varilla que penetró.

El coeficiente de fricción (μ) se calculó a partir de la relación entre la fuerza de corte o fricción (F_{corte}) — Ecuación 5 — y la fuerza normal producto del peso total del tractor (N) (Beer *et al.* 2009) mediante la Ecuación 6.

Ecuación 5

$$F_{corte} = RC * A_{corte}$$

Ecuación 6

$$\mu = \frac{F_{corte}}{N}$$

Donde

Rc = resistencia al corte (N/m²)

A_{corte} = área de corte (m²) la cual está en función de la profundidad de corte y el ancho de trabajo de la rastra.

La potencia requerida del tractor (P) se estimó con la Ecuación 7, a partir de de cada uno de los tratamientos y la velocidad de avance del tractor (Beer *et al.* 2009).

Ecuación 7

$$P = F_{corte} * V$$

Análisis estadístico de los datos. El efecto de los balanceos de cargas del tractor, sobre las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas del suelo, se analizó por medio del análisis de varianza (ANDEVA) y las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos y etapas de muestreo se obtuvieron mediante la prueba HSD Tukey. Se correlacionaron las variables para establecer la dependencia entre ellas, y se asume que un valor cercano a 1 indica una gran dependencia de la variable dependiente con la independiente. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa R, versión 3.6.1. (R Core Team 2022).

RESULTADOS

Efecto de los balanceos de las cargas del tractor sobre las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas del suelo. En la Tabla 1 se muestra el efecto de los diferentes balanceos de cargas del tractor (4060, 5050, 3070) sobre las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de un suelo vertisol, durante 3 diferentes periodos de muestreo, antes de mecanizar (A), inmediatamente (B) y 2 meses después (C) de la mecanización. Se observa que la densidad aparente (Da) no presenta cambios significativos entre los tratamientos, para las etapas B y C, con respecto a la etapa A. Sin embargo, se observa un aumento significativo de Da en el tratamiento 4060-B de 20,3% y 15,5% con respecto a 3070-B y 5050-B, respectivamente. En la etapa C, la Da tiende a disminuir en 4060-C mientras que en 5050-C y 3070-C aumenta levemente, por lo que no se observan diferencias significativas entre los tratamientos 2 meses después de mecanizar.

Tabla 1. Efecto de los balanceos, 4060, 5050 y 3070 en 3 etapas de muestreo, antes de mecanizar (A), inmediatamente (B) y 2 meses después (C) de la mecanización, sobre las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de un suelo vertisol a 15 cm de profundidad.

Tratamiento	Densidad aparente, Da	Porosidad Total, PT	Capacidad de Campo, CC	Conductividad Hidráulica, K	Infiltración Base, Ib	Resistencia al Corte, RC	
	g cm ⁻³	%	g g ⁻¹	cm.día ⁻¹	m. h ⁻¹	kPa	
4060	A	1,15 ± 0,06 ^{ab}	56,4 ± 2,1 ^{ac}	32,5 ± 0,3 ^{ab}	160,8 ± 19,1 ^a	*	52,0 ^a
	B	1,27 ± 0,07 ^b	52,6 ± 3,1 ^a	32,4 ± 1,9 ^a	66,2 ± 7,1 ^b	423,9 ± 38,4 ^a	151,1 ± 23,6 ^b
	C	1,19 ± 0,05 ^{bc}	54,3 ± 3,3 ^{ab}	33,6 ± 1,5 ^{ab}	59,5 ± 5,1 ^{bc}	94,3 ± 13,9 ^b	202,2 ± 29,0 ^c
5050	B	1,10 ± 0,02 ^{ac}	57,5 ± 2,1 ^{bc}	34,0 ± 1,5 ^{ab}	116,4 ± 11,4 ^d	384,6 ± 52,3 ^a	172,4 ± 23,6 ^{bd}
	C	1,14 ± 0,03 ^{ab}	56,3 ± 3,2 ^{ac}	35,1 ± 1,7 ^{bc}	74,5 ± 19,3 ^b	109,3 ± 15,6 ^b	173,3 ± 20,5 ^{bd}
3070	B	1,06 ± 0,08 ^a	60,1 ± 3,1 ^c	32,7 ± 1,4 ^a	63,1 ± 5,5 ^{bc}	210,8 ± 5,0 ^c	155,1 ± 16,5 ^b
	C	1,17 ± 0,08 ^{bc}	55,8 ± 3,2 ^{ab}	36,6 ± 1,9 ^c	35,5 ± 11,9 ^e	72,8 ± 12,6 ^b	172,4 ± 27,2 ^{bd}

Letras distintas entre tratamientos, para una misma variable, indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Se muestran los datos con los promedios y su respectiva desviación estándar; *Ib: se utilizó el valor en la etapa B como valor de referencia; el punto de marchitez permanente (PMP) fue de $30,89 \pm 0,25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

La porosidad total (PT), al estar fuertemente asociada a la D_a , mostró la misma tendencia. El tratamiento 4060-B presenta una PT significativamente menor a los tratamientos 5050-B y 3070-B. Sin embargo, 2 meses después (etapa C), no existen diferencias significativas entre ellos.

En la etapa B no se observan diferencias significativas, en la capacidad de campo (CC), de los tratamientos con respecto a la etapa A (antes de mecanizar). Contrariamente, en la etapa C se observa una leve tendencia (no significativa) de los tratamientos 4060-C y 5050-C, excepto 3070-C donde se denota un aumento significativo de CC del 12,5%, con respecto a la etapa A de muestreo y 9% con respecto a 4060-C.

En todos los tratamientos y en las etapas B y C, la conductividad hidráulica saturada (K) disminuyó significativamente con respecto a la etapa A. Asimismo, se observa que el tratamiento 5050 presenta la mayor K para las etapas de muestreo B y C, teniendo menor K, en todas las etapas, el tratamiento 3070.

Para todos los tratamientos, la infiltración base (Ib) disminuyó significativamente de la etapa B a la etapa C y evidencia que el tratamiento 3070 fue el de menor infiltración base y a la vez el menor decrecimiento en el tiempo. Los tratamientos 4060-C, 5050-C y 3070-C disminuyeron 78%, 71,5% y 65%, respectivamente con respecto a su tratamiento homólogo en la etapa B.

Después de la labranza (etapas B y C), todos los tratamientos tuvieron un aumento significativo de la resistencia al corte (RC) con respecto la etapa antes de la labranza (A). En la etapa B, todos los tratamientos muestran un aumento similar, donde ligeramente fue mayor la RC para el tratamiento 5050-B. Sin embargo, en la etapa C, el tratamiento 4060-C presenta una RC significativamente mayor a su homólogo de 33% en la etapa B, así como una diferencia del 17% con respecto a los tratamientos 5050-C y 3070-C.

Adicional a los valores mostrados en la Tabla 1, se determinaron los valores de plasticidad

del suelo en la etapa antes de mecanizar A, mostraron contenidos de humedad ($g \cdot g^{-1}$) para el límite inferior plástico (LP) de $39,50 \pm 1,36$; límite superior plástico (LL) de $57,83 \pm 1,27$ y un índice de plasticidad (IP) de 18,33. Asimismo, se determinó el contenido de humedad inicial para la mecanización de $39,19 \pm 0,79$ ($g \cdot g^{-1}$).

La Figura 4 muestra la resistencia a la penetración (RP) obtenida en el perfil del suelo hasta 80 cm de profundidad durante las etapas de muestreo A, B y C. En todos los tratamientos se observa un rápido aumento de la resistencia a la penetración (RP) cerca de la superficie en los primeros 15 cm, sin embargo, a mayores profundidades tiende a estabilizarse en la etapa B en un valor cercano a 1,5 MPa, y en la etapa C tiende a aumentar a valores cercanos a 2,0 MPa.

En la etapa antes de la mecanización (A), la cual se observa como una línea negra continua, se alcanza una RP de 1,5 MPa a una profundidad de 24 cm, considerado como el inicio del pie de arado. En la Figura 4a, no se observan diferencias significativas de RP en la profundidad con respecto a los tratamientos, sin embargo, es posible observar una tendencia leve a aumentar RP hacia la superficie. Se observa que en la etapa inmediatamente después de mecanizar (B), en los tratamientos 4060-B y 5050-B la profundidad que alcanzó el valor de 1,5 MPa se reduce a 16 cm, mientras que para 3070-B dicha profundidad decreció ligeramente a 22 cm (con respecto a la etapa A).

En la Figura 4b se observa que 2 meses después de la mecanización (etapa C), el tratamiento 5050-C alcanzó el límite de 1,5 MPa a 15 cm de profundidad, mientras que el tratamiento 4060-C lo hizo a 18 cm. Se destaca el aumento a 28 cm de profundidad en el tratamiento 3070-C. Se nota además que, a pesar de que en la etapa C los tratamientos aumentaron la profundidad del piso de arado (excepto 5050-C), la RP no logró restablecerse por debajo del límite de 1,5 MPa, a medida que avanzaba en la profundidad del perfil del suelo. Caso contrario sucedió en la etapa inmediatamente después de mecanizar (B), donde luego de llegar al límite de crecimiento

radicular (1,5 MP), la RP en los tratamientos 4060-B y 3070-B, decreció conforme avanzaba en profundidad. A pesar de que, entre los tratamientos no se observan diferencias, a

profundidades mayores a 30 cm, si se observan diferencias con respecto a la condición de la etapa A (antes de la mecanización).

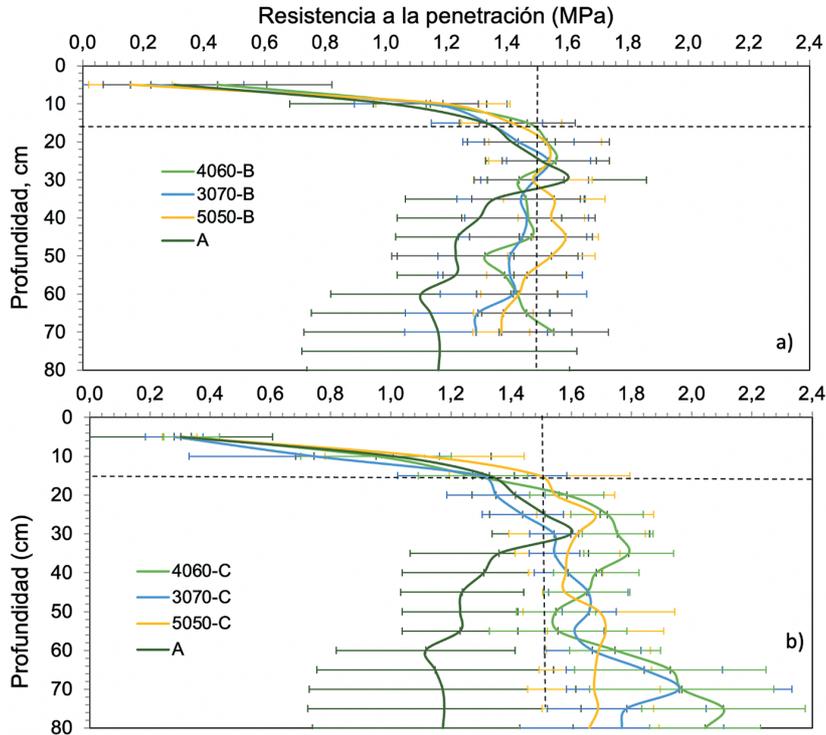


Figura 4. Resistencia a la penetración para los tratamientos 6040, 5050 y 3070; durante las etapas a) antes de la mecanización (A) e inmediatamente después (B); y b) antes de la mecanización (A) y 2 meses después de la mecanización (C). El cruce entre líneas discontinuas corresponde al punto donde se encuentra el pie de arado en la etapa A.

Efecto de los balanceos de las cargas del tractor sobre los parámetros de eficiencia de labranza. La velocidad de operación del tractor depende del balance de las cargas del tractor, en la Tabla 2 se muestran las velocidades de avance por área y la profundidad de labranza promedio lograda para cada tratamiento durante la mecanización. El peso total del tractor en el tratamiento 4060 permitió profundizar el perfil del suelo 18 cm, por ende, su velocidad de avance fue menor

y el volumen de suelo alterado mayor. En el tratamiento 3070 se alcanzó la velocidad de avance más elevada y la rastra de discos utilizada logró penetrar 15 cm. El balanceo de cargas 5050, a pesar de presentar una velocidad prácticamente igual al tratamiento 4060, logró profundizar únicamente 10 cm, es decir, que el peso total del tractor en este tratamiento no fue suficiente para mostrar el impacto de la mecanización en las muestras obtenidas. Ninguno de los tratamientos

alcanzó la profundidad teórica de trabajo de la rastra utilizada (entre 20-30 cm), sin que hubiese diferencias significativas entre 4060 y 3070 que alcanzaron mayor profundidad de trabajo que el tratamiento 5050.

Tabla 2. Velocidad de avance y profundidad de labranza para cada tratamiento al momento de la mecanización.

Tratamiento	Velocidad de avance por área ha.h ⁻¹	Profundidad de labranza cm
4060	1,14 ± 0,0070	18,00 ± 2,37 ^a
3070	1,29 ± 0,0070	15,50 ± 2,48 ^a
5050	1,18 ± 0,0005	10,83 ± 2,74 ^b

Letras distintas entre tratamientos, para una misma variable, indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La Figura 5 muestra el porcentaje de patinaje de las llantas de los ejes delantero y trasero para cada tratamiento. Se observó que, en promedio para todos los tratamientos, las llantas delanteras patinaron un 45% más que las llantas traseras. Se puede notar que el patinaje tanto para las llantas traseras como delanteras fue significativamente menor en el tratamiento 3070. En ninguno de los tratamientos se excedió el porcentaje de patinaje mecánicamente permitido por los fabricantes.

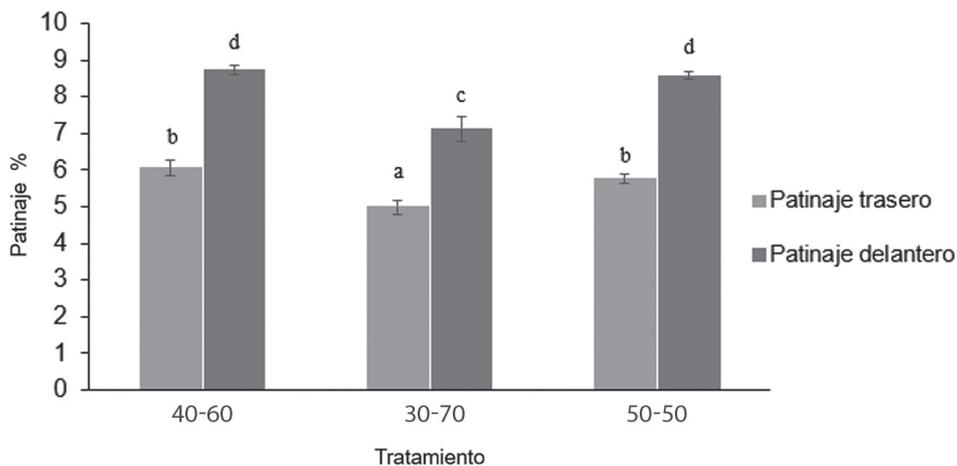


Figura 5. Patinaje de las llantas traseras y delanteras para los tratamientos 4060, 5050, 3070 durante la mecanización. Los tratamientos con letras diferentes indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

La Tabla 3 muestra parámetros relacionados con el consumo de combustible. Se observó que conforme aumentó la velocidad de laboreo disminuyó el consumo de combustible. El balanceo 4060 consumió 3,6% más combustible que 5050, y el tratamiento 3070 fue el que consumió

menos cantidad de combustible por hectárea. A pesar de que 5050 consumió más combustible que 3070, la profundidad de labranza fue menor.

La Tabla 4 muestra los coeficientes de fricción (μ) y potencia requerida (P), calculados a partir de parámetros medidos, para los 3

Tabla 3. Parámetros relacionados al consumo de combustible para los tratamientos 4060, 5050 y 3070 durante la labranza.

Tratamiento	Velocidad de laboreo ha.h ⁻¹	Consumo de combustible L.ha ⁻¹	Profundidad de labranza cm
4060	1,14 ± 0,007 ^a	12,93 ± 0,040 ^a	18,00 ± 2,37 ^a
3070	1,29 ± 0,007 ^b	11,4 ± 0,060 ^b	15,50 ± 2,48 ^a
5050	1,18 ± 0,0005 ^a	12,48 ± 0,005 ^c	10,83 ± 2,74 ^b

Letras distintas entre tratamientos, para una misma variable, indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Se muestran los datos con los promedios y su respectiva desviación estándar.

Tabla 4. Coeficiente de fricción del suelo y potencia requerida teóricos para los tratamientos 4060, 5050, 3070 durante las etapas inmediatamente (B) y 2 meses (C) después de la mecanización.

Etapa de mecanización	Tratamiento	Coeficiente de fricción	Potencia requerida del tractor
		μ	kW
B	4060	1,34 ^a	71,57 ^a
	3070	1,18 ^b	83,36 ^b
	5050	1,51 ^c	84,63 ^b
C	4060	1,79 ^d	95,78 ^c
	3070	1,31 ^a	92,68 ^c
	5050	1,51 ^c	85,06 ^b

Letras distintas entre tratamientos, para una misma variable, indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 5. Requerimiento hídrico para los tratamientos 4060, 5050 y 3070 en las etapas inmediatamente (B) y 2 meses después (C) de la mecanización.

Etapa de mecanización	Tratamiento	Agua útil	Consumo teórico de agua anual	Cantidad de riegos por año
		g/g	mm	
B	4060	6,42 ^a	2091	30
	3070	6,68 ^a	2091	36
	5050	8,22 ^{ab}	2114	28
C	4060	7,69 ^{ab}	2114	28
	3070	11,24 ^c	2097	19
	5050	9,53 ^{bc}	2137	23

tratamientos y 2 etapas de muestreo correspondientes al momento inmediatamente (B) y 2 meses después de la mecanización (C). Se observa que en la etapa C, aumenta, excepto en 5050. Además, se presentó una relación positiva entre el comportamiento de μ y P.

A partir de los datos de infiltración base, la Tabla 5 muestra la lámina bruta (mm) en términos de consumo teórico de agua anual, el contenido de humedad disponible para las plantas (g.g^{-1}) y el número de veces (de acuerdo con la frecuencia de riego) que se debe regar al año

para cada tratamiento. Para ambas etapas B y C, el balanceo 3070 fue el que presentó el menor consumo anual de agua por hectárea mecanizada, mientras que 5050-C registró los valores más elevados. En la etapa C, el tratamiento 5050-C consumió 1,10 y 1,2% más agua que 4060-C y 3070-C, respectivamente. Asimismo, 5050-C requirió más veces de riego durante esta etapa.

La Tabla 6 muestra la correlación entre variables físicas tales como densidad aparente y porosidad e hidráulicas como contenido de humedad y conductividad hidráulica, mecánicas como resistencia a la penetración y resistencia al corte y de operación como profundidad de

labranza, patinaje, consumo de combustible y fricción. Se observó una relación altamente positiva entre densidad aparente y las propiedades mecánicas del suelo y de operación. Por su parte las propiedades hidráulicas, muestran en general, una moderada relación negativa con las propiedades mecánicas del suelo y principalmente el contenido de humedad muestra una alta correlación positiva con las variables de operación. Asimismo, las variables mecánicas mantuvieron una alta correlación negativa con la profundidad de labranza y positiva con el patinaje, consumo de combustible y coeficiente de fricción.

Tabla 6. Correlaciones obtenidas entre las variables de suelo y rendimiento operativo del tractor utilizado en la labranza.

Variable*	Da	PT	CH	Ks	RP	RC	PL	PDel	PTras	Comb	μ
Da	1	-0,9768	0,2161	-0,8799	0,8482	0,8286	0,6282	0,7230	0,8368	0,8453	0,2387
PT	-0,9768	1	-0,1684	0,6937	-0,7589	-0,6362	-0,5005	-0,8209	-0,9113	-0,9176	-0,4302
CH	0,2161	-0,1684	1	0,3197	-0,4856	-0,6076	0,7103	0,9200	0,9760	0,9793	-0,1842
Ks	-0,8799	0,6937	0,3197	1	-0,8070	-0,7785	-0,9211	0,4649	0,2957	0,2806	0,2247
RP	0,8482	-0,7589	-0,4856	-0,8070	1	*	-0,7924	0,9863	0,9402	0,9351	0,7948
RC	0,8286	-0,6362	-0,6076	-0,7785	*	1	-0,9853	0,8205	0,9035	0,8997	0,8890
PL	0,6282	-0,5005	0,7103	-0,9211	-0,7924	-0,9853	1	-0,0834	0,0996	0,1153	-0,6459
PDel	0,7230	-0,8209	0,9200	0,4649	0,9863	0,8205	-0,0834	1	0,9833	0,9833	0,8138
PTras	0,8368	-0,9113	0,9760	0,2957	0,9402	0,9035	0,0996	0,9833	1	0,9999	0,6953
Comb	0,8453	-0,9176	0,9793	0,2806	0,9351	0,8997	0,1153	0,9833	0,9999	1	0,6845
μ	0,2387	-0,4302	-0,1842	0,2247	0,7948	0,8890	-0,6459	0,8138	0,6953	0,6845	1

Da = densidad aparente; PT = porosidad del suelo; CH = contenido de humedad del suelo; Ks = conductividad hidráulica del suelo; RP = resistencia a la penetración del suelo; RC = resistencia al corte del suelo; PL = profundidad de labranza; PDel = patinaje del eje delantero del tractor; PTras = patinaje del eje trasero del tractor; Comb = consumo de combustible; y μ = coeficiente de fricción calculado. El * indica la ausencia del dato.

DISCUSIÓN

Efecto de los balanceos de las cargas del tractor sobre las propiedades físicas e hidráulicas del suelo. De acuerdo con los datos observados, el alto contenido de humedad de los límites inferior y superior obtenidos, se

encuentran altamente relacionados con el alto contenido de arcilla, según lo demostrado por estudios previos como el de Keller y Dexter (2012). Sin embargo, el suelo vertisol contaba con un índice de mediana plasticidad (FAO 2008), lo que le permite sufrir deformación sin ser elástico en un rango mayor de humedad (Munkholm *et al.*

2012). Adicionalmente, el contenido de humedad al momento de la labranza fue menor al límite plástico inferior (LP), aunque estuvo dentro de contenido óptimo de labranza, en concordancia con Kirchof (2006).

La labranza provocó deformación del suelo en diferentes magnitudes, lo cual estuvo en función del tratamiento aplicado y el tiempo de muestreo. Los cambios en densidad aparente (D_a), principalmente, leves aumentos en la etapa C (2 meses después de la mecanización) en los tratamientos 4060 y 3070, no llegaron a valores de restricción de crecimiento radicular (USDA 2001), pero fueron mayores al valor óptimo para suelos arcillosos. El aumento en D_a se puede deber principalmente, a la magnitud de cargas ejercida sobre el suelo. El tratamiento más favorable para D_a fue el 5050 en todos los tiempos de muestreo, sin embargo, este tratamiento apenas logró una profundidad de labranza de 15 cm. Si se relacionan la densidad aparente con la compactación, estos resultados concuerdan con Arvidsson (2001) y Horton *et al.* (2016), los cuales argumentaron que la compactación del suelo aumenta conforme aumenta la presión del tractor sobre el suelo. El aumento de D_a sin haber alcanzado los límites de restricción del crecimiento radicular, se pudo deber a que, en ninguno de los 3 balances estudiados, el peso de cada eje del tractor sobrepasó los 49 kN, el cual es el peso límite teórico considerado para provocar compactación subsuperficial (Gómez *et al.* 2016).

El balanceo de cargas no mostró diferencias significativas en el contenido de humedad a capacidad de campo (CC), a excepción del tratamiento 3070 en la etapa C (2 meses después de la mecanización) donde se obtuvo la mayor CC. Sin embargo, se destaca, el leve aumento de CC en el tiempo para todos los tratamientos, lo que concuerda con Alam *et al.* (2014), donde observaron un incremento considerable de CC conforme pasó el tiempo. La CC se encuentra fuertemente relacionada con la cantidad y diámetro de los poros en el suelo (Hartge y Horn 2016). Los poros capilares son los encargados de retener el agua disponible para las plantas,

con diámetros entre 50 a 10 μm (Hartge y Horn 2016), y por eso se les atribuyen los valores más típicos de CC (González-Cervantes *et al.* 2012). Por lo tanto, el balanceo 3070 pudo conservar o permitir la formación de una mayor cantidad de poros capilares hasta la etapa C.

La conductividad hidráulica (K_s) fue mayor para el tratamiento 5050 y se comportó de forma muy similar en los tratamientos 4060 y 3070, clasificándose como alta y moderadamente alta, respectivamente, de acuerdo con Soil Survey Staff (2018). Esta clasificación de K_s para el suelo arcilloso de orden vertisol en la zona de estudio, se debe a la presencia de arcillas expandibles de tipo 2:1 que se agrietan con bajos contenidos de humedad y se ensanchan conforme la humedad del suelo aumenta (INTA 2015), es así como, estos cambios estructurales alteran la distribución de los poros y la función de estos en el movimiento del agua (Villagra-Mendoza y Horn 2018). Sin embargo, en todos los tratamientos se observó un decrecimiento de K_s entre las etapas de muestreo B y C (inmediatamente y 2 meses después de la mecanización). Estos cambios en K_s con respecto al tiempo se deben a la obstrucción de los poros grandes conductores de agua, los cuales forman cuellos de botella (Villagra-Mendoza y Horn 2018). Por otro lado, la mayor K_s en el tratamiento 5050 con respecto a los otros tratamientos, se pudo deber a una mayor presencia de macroporos, lo que facilita las interconexiones para un adecuado movimiento del agua a través del perfil (Fasinmirin 2017, Gómez-Calderón *et al.* 2018, Veiga *et al.* 2008), producto de una menor carga del tractor sobre el suelo, con respecto a 4060 y 3070.

La infiltración base no fue un indicador que permitiera relacionar el efecto del balanceo de cargas en el tractor sobre el suelo en estudio (orden vertisol), ya que los valores obtenidos variaron entre tratamientos sin poder encontrar una relación definida. Por el contrario, la variación se pudo deber a la existencia de grietas, producto del tipo de arcillas expandibles tipo 2:1 (INTA 2015), lo cual ocasionó una heterogeneidad de condiciones al momento de realizar

las pruebas de infiltración, independientemente del tipo de balanceo empleado. Amancha (2015) mencionó que las grietas en el suelo incrementan considerablemente los valores de infiltración base, ya que son contracciones del suelo producto de un periodo de desecamiento (Horton *et al.* 2016).

Efecto de los balanceos de las cargas del tractor sobre las propiedades mecánicas del suelo. De acuerdo con la Tabla 6, los valores de resistencia a la penetración (RP) y resistencia al corte (RC) mostraron una alta correlación positiva con las variables de operación producto de la labranza y la densidad aparente. Además, la profundidad de labranza se ve afectada en forma inversa por la resistencia que ejerce el suelo durante la labranza y al contenido de humedad del suelo.

La naturaleza arcillosa del suelo, y el hecho de no haber sido mecanizado anteriormente, influyeron en la alta resistencia al corte. Al respecto Horton *et al.* (2016) y Rucks *et al.* (2004) establecieron que cuando el suelo no ha sido sometido a un estrés mecánico, su estructura está bien definida y sus agregados se encuentran más unidos, puesto que no se ha desestabilizado la forma en cómo se arreglan las partículas del suelo. Los discos poco afilados de la rastra provocaron un mayor contacto o roce con la superficie, lo cual condujo a una disminución en RC y RP, además de una menor pulverización de los agregados (Stone y Gulvin 1987). Esto se evidenció en la profundidad de labranza, ya que según Alvarado (2011) una rastra de discos con 0,55 m de diámetro, debería alcanzar una profundidad de trabajo entre 20 - 30 cm, la cual no fue lograda por ninguno de los tratamientos excepto por los valores máximos medidos para el 3070.

En cuanto al piso de arado, las mediciones de RP mostraron una profundidad inicial de 22 cm, la cual disminuyó con los tratamientos 5050 y 4060 y se mantuvo muy cercano a la condición inicial con el tratamiento 3070. Sin embargo, todos los tratamientos mostraron moderadas a severas restricciones para el crecimiento radicular a profundidades mayores a los 15 cm (Zerpa

et al. 2013). Fue notable observar, que en la etapa de muestreo C, todos los tratamientos mostraron limitaciones en el crecimiento de las raíces, al estar cercanos al valor de 2,0 MPa en el perfil del suelo, a partir de los 60 cm.

Por otro lado, los valores de RC y RP se encuentran fuertemente relacionados con el patinaje de las llantas del tractor, lo cual concuerda con lo establecido por Battiato *et al.* (2015). Estas mismas personas autoras determinaron una relación directamente proporcional entre RC y RP con el porcentaje de patinaje, debido al debilitamiento de la capa superficial del suelo producto del contacto excesivo de las llantas con la superficie y a la presencia de pedrs de mayor tamaño (mayor patinaje) que incrementan la resistencia del suelo.

De acuerdo con Abrol y Sharma (2012) esta presión del contacto rueda/suelo es directamente proporcional al porcentaje de patinaje en los primeros centímetros de profundidad, donde estableció que un 15 - 25% de patinaje puede provocar un incremento en RP de hasta 2 MPa. Lo investigado difiere de estos resultados, ya que el patinaje en todos los tratamientos no superó el 10% y aun bajo estas condiciones, todos los tratamientos mostraron valores cercanos a 2,0 MPa en la etapa C de muestreo, a mayores profundidades en el perfil.

Efecto de los balanceos de las cargas y contrapesos del tractor sobre los parámetros de eficiencia de trabajo de la maquinaria utilizada en los tratamientos de labranza. Como se observó en la Tabla 6, existió alta relación entre la eficiencia de la operación y las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas del suelo.

Los valores más bajos de velocidad de avance del tractor se relacionaron con una mayor profundidad de labranza y por lo tanto el volumen de suelo alterado, lo cual concuerda con los resultados registrados por Moitzi *et al.* (2006, 2014). En este estudio el tratamiento 4060 trabajo con una menor velocidad y logró una profundidad de labranza promedio mayor.

Adicionalmente, el peso agregado a los ejes del tractor influyó en la tracción de las

llantas. Mamkagh (2019a) estableció que los contrapesos contribuyen a disminuir el porcentaje de patinaje de las llantas y aumentan la productividad de la labranza. Determinó que una adición de 5,1 kN, en el inflado de las llantas, provocaba una disminución en el porcentaje de patinaje del 3,3%. Sin embargo, los resultados obtenidos difieren con los datos presentados por Mamkagh (2019a), ya que una adición de 13,6 kN en las cargas del eje trasero, con contrapesos, para el tratamiento 3070 con respecto a las cargas de 4060 disminuyeron el patinaje en promedio un 17,5%. En el tratamiento 5050, a pesar de que la cantidad de contrapesos añadida fue menor al tratamiento 4060 (2,4 kN), el porcentaje de patinaje fue similar, lo cual indica que el peso agregado al eje trasero no fue suficiente para disminuir el giro en falso de las llantas sobre el suelo de orden vertisol. Por lo tanto, el patinaje fue un factor clave en el mantenimiento del desempeño del suelo, ya que un menor porcentaje de patinaje refleja a largo plazo una menor degradación y compactación del suelo (Mohamed 2015).

Además, el consumo de combustible se incrementó significativamente cuando el porcentaje de patinaje fue mayor, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Mamkagh (2019b), Mohamed (2015) y Moitzi *et al.* (2006, 2014). De acuerdo con estos resultados, el balanceo de cargas 3070 registró el menor porcentaje de patinaje, y a la vez generó el menor gasto de combustible por hectárea mecanizada.

Efecto de los balanceos de las cargas del tractor sobre el consumo de agua para riego.

El consumo anual calculado del recurso hídrico fue directamente proporcional al agua útil disponible para las plantas y a la frecuencia de riego, los cuales dependen a su vez de los valores obtenidos de capacidad de campo (Legarda *et al.* 1999). En las etapas de muestreo B (inmediatamente después) y C (2 meses después de la labranza), el tratamiento 3070 mostró el menor consumo anual de agua por hectárea mecanizada, debido a que presentó los valores más altos de capacidad de campo. Asimismo, el tratamiento

5050-C mostró una mayor necesidad de tiempos de riego durante esta etapa. El consumo teórico de agua y la cantidad de riegos por año varía entre tratamientos debido a que la lámina de agua está en función de la densidad aparente (Da) y la capacidad de campo (CC). En función del aprovechamiento eficiente del agua para riego, el balanceo de cargas que mejor representó el consumo mínimo fue el tratamiento 3070.

Coefficiente de fricción. El coeficiente de fricción (μ) calculado proporcionó la idea de cómo la fuerza de corte superaba la reacción normal de la superficie, en todos los tratamientos evaluados. Verruijt (2018) mencionó que cuando se supera la reacción normal del suelo, los esfuerzos cortantes no podrán ser transmitidos al suelo, al ser la textura uno de los factores que influyeron en la fricción. Por lo tanto, Donghwi *et al.* (2018) y Verruijt (2018) indicaron que entre mayor es el contenido de arcilla en el suelo, la RC y, por ende, μ , incrementan significativamente. Lo anterior se refleja en los resultados del estudio, debido a que se obtuvo mayores resistencias al corte cuando el patinaje fue mayor.

Valor de resistencia al corte y la velocidad de trabajo del tractor. Lo determinan la demanda de potencia requerida para labrar el suelo, y fue significativamente mayor para los tratamientos 4060 y 3070 en la etapa C. Esto quiere decir, que, si se volviera a mecanizar 2 meses después, se requeriría mayor potencia del tractor para labrar el suelo bajo los tratamientos previos de 4060 y 3070.

Eficiencia del equipo de labranza. En cuanto a eficiencia de los equipos en la labranza, el tratamiento 3070 mostró menor patinaje, una profundidad de labranza promedio intermedia (entre los otros tratamientos), con menor afectación en la resistencia del suelo. Las correlaciones positivas entre el coeficiente de fricción y el patinaje de ambos ejes del tractor son mayores al 70%, por lo que se comprueba el efecto de la superficie sobre las condiciones operativas de los equipos utilizados en la preparación del suelo.

CONCLUSIONES

En general, ninguna de las combinaciones de balanceo de cargas a los ejes del tractor se complementó favorablemente con las propiedades físicas, hidráulicas, mecánicas y de eficiencia de la operación. Por lo tanto, todos los tratamientos afectaron en cierta magnitud tanto las funciones del suelo como la operación de la labranza.

Es así como, la distribución de cargas del eje en el tratamiento 50-50 no es recomendable para un suelo de orden vertisol, ya que el peso del tractor fue insuficiente para lograr una profundidad de labranza adecuada, por lo tanto, no logró alterar las propiedades del suelo a 15 cm.

A pesar de que el balanceo de cargas en el tratamiento 4060 es considerado ideal, en la literatura, para el mantenimiento adecuado del diseño mecánico del tractor, no favorece las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo. Además, después de 2 meses de labranza, mostró un aumento significativo de la resistencia al corte, lo que ocasiona un mayor requerimiento de potencia del tractor para labranzas mecanizadas posteriores, pues aumentó el patinaje y el consumo de combustible.

El tratamiento 3070, contribuyó, con el tiempo, a aumentar la profundidad del piso de arado, beneficiando el crecimiento radicular del pasto, pero tuvo un comportamiento muy similar en la restricción radicular a profundidades mayores a los 60 cm. A pesar de esto, presentó el menor consumo teórico anual de agua para el cultivo de pasto por hectárea mecanizada, ya que el agua útil disponible para las plantas fue mayor. Además, registró el menor porcentaje de patinaje, coeficiente de fricción, consumo de combustible y potencia de labranza requerida del tractor.

En cuanto a eficiencia de los equipos en la labranza, el tratamiento 3070 mostró menor patinaje de los ejes del tractor con una profundidad de labranza promedio intermedia ejerció un efecto más favorable sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo, las mejores condiciones de eficiencia de operación y requerimientos

hídricos, en comparación con los tratamientos 5050 y 4060.

A partir de los resultados obtenidos con el balanceo de cargas con el tratamiento 3070 se recomienda continuar con estudios similares con diferentes tipos de órdenes de suelos e implementos con el fin de llegar a comprender mejor el efecto de la labranza sobre las funciones del suelo y la maximización de la eficiencia de operación.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria por haber permitido realizar el estudio en sus instalaciones. Al Ing. Edwin Quirós y su equipo por la asistencia técnica ofrecida. A la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS) y a la Ing. Floria Bertsch por el financiamiento parcial otorgado a esta investigación. Además, a los revisores anónimos de la revista por sus aportes, los cuales enriquecieron el presente documento.

LITERATURA CITADA

- Abrol, V; Sharma, P. 2012. Resource management for sustainable agriculture (en línea). London, United Kingdom, IntechOpen. 308 p. Consultado 13 ago. 2020. Disponible en <https://www.intechopen.com/books/1248>
- Alam, K; Islam, M; Salahin, N; Hasanuzzaman, M. 2014. Effect of tillage practices on soil properties and crop productivity in wheat-mungbean-rice cropping system under subtropical climatic conditions. *The Scientific World Journal* 2014: 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/437283>
- Al-Mastawi, KE; Dahham, GA; Yahya, LM. 2022. Effects of soil moisture content, tire inflation pressure, and tillage speed on tractive performance of 2WD tractor in Northern Iraq. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery* 53(8).
- Almaliki, SA; Himoud, MS; Muhsin, S. 2021. Mathematical model for evaluating slippage of tractor under various field conditions. *Basrah Journal of Agricultural Sciences* 34:49-59.

- Al-Talabani, JHN; Al-Sammarraie, MAJ. 2021. The effect of plowing and pulverization systems on some plant indicators of onion. *Plant Arch.* 21:851-853. DOI: <https://doi.org/10.51470/2021/v21.S1.129>
- Alvarado, A. 2011. *Maquinaria y mecanización agrícola*. San José, Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia. 570 p.
- Amancha, E. 2015. Determinación de la permeabilidad de los suelos basados en la metodología del infiltrómetro de mini disco en la Zona de Yanahurco, Napo. Tesis de Grado. Quito, Ecuador, Universidad Central del Ecuador. 97 p. Consultado 2 ago. 2020. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6758>
- Arvidsson, J. 2001. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden: I. Soil physical properties and crop yield in six field experiments. *Soil and Tillage Research* 60:67-78. DOI:10.1016/S0167-1987(01)00169-6
- Ashburner, J; Sims, B. 1984. *Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza* (en línea). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 482 p. Consultado 13 ago. 2020. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6796>
- Battiatto, A; Alaoui, A; Diserens, E. 2015. Impact of normal and shear stresses due to wheel slip on hydrological properties of an agricultural clay loam: experimental and new computerized approach. *Agricultural Science* 7(4):1-19. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v7n4p1>
- Baver, LD; Gardner, WH; Gardner, WR. 1972. *Soil physics*. 4 ed. USA, John Wiley & Sons.
- Beer, F; Russell Johnston, E; DeWolf, JT; Mazurek, D. 2009. *Mecánica de materiales*. 5 ed. New York, USA, McGraw-Hill. 788 p.
- Bhushan, LS; Ghildyal, BP. 1972. Influence of radius of curvature of moldboard on soil structure. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 42:1-5.
- Blume, HP; Brümmer, GW; Horn, R; Kandeler, E; Kögel-Knabner, I; Kretschmar, R; Stahr, K; Wilke, BM. 2010. Scheffer/Schachtschabel. *Lehrbuch der Bodenkunde*, 16:123-174.
- Cadena, B; Egas, D; Ruiz, M; Mosquera, J; Benavides, O. 2012. Efecto de cinco sistemas de labranza, en la erosión de un suelo vitric haplustand, bajo cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L) (en línea). *Revista de Ciencias Agrícolas* 29(2):116-128. Consultado 14 jul. 2020. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104148>
- Casady, W. 1997. *Tractor tire and ballast management*. Agricultural MU Guide, University of Missouri Extension, Columbia, USA. s.p.
- Dexter, AR; Bird, NRA. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil & Tillage Research* 57:203-212.
- Donghwi, K; Boo Hyun, N; Heejung, Y. 2018. Effect of clay content on the shear strength of clay – sand mixture. *International Journal of Geo-Engineering* 9(19):1-12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40703-018-0087-x>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2008. *Consistencia del suelo* (en línea). Consultado 15 jun. 2020. Disponible en http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#top
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. *World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (en línea). *World Soil Resources Reports* N°. 106. 203 p. Consultado 20 jul. 2020. Disponible en <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia); ITPS (Intergovernmental Technical Panel on Soils). 2015. *Status of the world's soil resources: main report* (en línea). Rome, Italy. 650 p. Consultado 2 may. 2020. Disponible en <https://www.fao.org/documents/card/es/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/#:~:text=The%20SWSR%20is%20a%20reference,expert%20knowledge%20and%20project%20outputs>
- Fasinmirin, JT. 2017. Saturated hydraulic conductivity (K_{θ}) of a Sub-Tropical ultisol under different tillage systems (en línea). *In Proceedings of The International Academic Conference for Sub-Saharan Africa Transformation and Development*, Akure, Nigeria 3(4):1-11. Consultado 16 abr. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/317014864_Saturated_Hydraulic_Conductivity_K_theta_of_a_Sub-Tropical_Ultisol_under_different_Tillage_Systems
- Fernández, M; Goñi, J. 2010. Relación entre el esfuerzo cortante del suelo y la resistencia a la penetración: su utilidad para diagnosticar la compactación del suelo. *Rev. de la Fac. de Agronomía - UNLPam*, Vol. 21.
- Gómez, N; Villagra, K; Solórzano, M. 2016. Patinaje de tractor con dos Implementos de Labranza en dos tipos de suelo en Costa Rica (en línea). *In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Quito, Ecuador. Consultado 15 abr. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/312491125_patinaje_de_tractor_con_dos_implementos_de_labranza_en_dos_tipos_de_suelo_en_costa_rica
- Gómez, N; Villagra, K; Solórzano, M. 2017. Cuantificación de la erosión hídrica en función de diferentes técnicas

- de mecanización para minimizar la contaminación del agua por sedimentos en la parte alta de la Cuenca del Río Reventazón (en línea). Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 115 p. Proyecto 5402-1421-3201 (1421007). Consultado 25 abr. 2020. Disponible en https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9164/Cuantificacion_erosion_hidrica_funcion_diferentes_tecnicas_mecanizacion_minimizar_contaminacion_agua.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez-Calderón, N; Rodríguez-Yáñez, J. 2020. Degradación del suelo por compactación en función de la distribución del peso en los ejes de los tractores agrícolas. *Yulök Revista de Innovación Académica* 3(2):44-50.
- Gómez-Calderón, N; Villagra-Mendoza, K; Solórzano-Quintana, M. 2018. La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo. *Revista Tecnología en Marcha* 31(1):170. DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3506>
- González-Cervantes, G; González-Barríos, JL; Chávez-Ramírez, E. 2012. Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas (en línea). *Tecnología y ciencias del agua* 3:21-32. Consultado 17 jul. 2020. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000100002
- Hartge, KH; Horn, R. 2016. *Essential soil Physics*. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, Germany. s. p.
- Haruna, S; Anderson, S; Nsalambi, N; Syaharudin, Z. 2018. Soil hydraulic properties: influence of tillage and cover crops. *Pedosphere* 28:430-442. DOI: 10.1016/S1002-0160(17)60387-4
- Horton, R; Horn, R; Bachman, J; Peth, S. 2016. *Essential soil physics an introduction to soil processes, functions, structure and mechanics*. Stuttgart, Germany, Schweizerbart Science Publishers. 391 p.
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2015. *Suelos de Costa Rica orden vertisol*. Boletín Técnico N°. 3. San José, Costa Rica. s. p.
- Jadhav, PP; Sharma, AK; Wandkar, SV; Gholap, BS. 2013. Study of tractive efficiency as an effect of ballast and tire inflation pressure in sandy loam soil. *Agric Eng Int: CIGR Journal* 15(2):60-67.
- Jorajuria, D; Draghi, L. 2000. Sobrecompactación del suelo agrícola. Parte I: Influencia diferencial del peso y del número de pasadas. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient* 4(3):445-452. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000300022>
- Keller, T; Dexter, AR. 2012. Plastic limits of agricultural soils as functions of soil texture and organic matter content. *Soil Research* 50(1):7. DOI:10.1071/sr11174
- Kirchhof, G. 2006. Plastic properties. *In* Lal, R (eds.). *Encyclopedia of Soil Science*. New York, USA, Taylor & Francis. p. 1311-1313.
- Koola, D; Tongb, B; Tianc, Z; Heitman, J. L; Sauer, T. J; Hortona, R. 2019. Soil water retention and hydraulic conductivity dynamics following tillage. *Soil and tillage research* 193:95-100. DOI: 10.1016/j.still.2019.05.020
- Kuang, B; Mahmood, HS; Quraishi, MZ; Hoogmoed, WB; Mouazen, AM; Van Henten, EJ. 2012. Sensing soil properties in the laboratory, in situ, and on-line: A review. *Adv. Agron.* 114:155-223. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394275-3.00003-1>
- Kulmatiski, A; Beard, KH; Holdrege, MC; February, EC. 2020. Small differences in root distributions allow resource niche partitioning. *Ecology and Evolution* 10(18):9776-9787. DOI: 10.1002/ece3.6612
- Legarda, L; Puentes, G; Benavides, H. 1999. Importancia de los parámetros hidrofísicos del suelo y requerimientos hídricos del cultivo en el diseño de un proyecto de riego por aspersión liviana (en línea). *Revista de Ciencias Agrícolas* 16(1-2):98-109. Consultado 5 jul. 2020. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6191459>
- Lyne, PWL; Burt, EC; Meiring, P. 1984. Effect of tire and engine parameters on efficiency. *Transactions of ASABE* 27:5-7.
- Mahmood, H; Subhi, KA; Rashid, M. 2020. Effect of extra weight and tire pressure on fuel consumption and slippage ratio on tillage operation done in Al-Musain Area. *Soild State Technology* 63(3):5278-5287.
- Mamkagh, A. 2019a. Effect of soil moisture, tillage speed, depth, ballast weight and, used implement on wheel slippage of the tractor: A Review. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research* 9(1):1-7. DOI: <https://doi.org/10.9734/AJAAR/2019/46706>
- Mamkagh, A. 2019b. Effect of tillage speed, depth, ballast weight and tire inflation pressure on the fuel consumption of the agricultural tractor: A Review. *Journal of Engineering Research and Reports* 3(2):1-7.
- Medina González, H; García Coronado, J; Nuñez Acosta, D. 2007. El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo (en línea). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 16(3):19-24. Consultado 4 jul. 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93216305>
- Mohamed, S. 2015. Effect of plowing conditions on the tractor wheel slippage and fuel consumption in sandy soil. *Chem Tech Research* 8(12):151-159.
- Moitzi, G; Weingartmann, H; Boxberger, J. 2006. Effects of tillage systems and wheel slip on fuel consumption (en línea). *In* *Proceedings of Energy Efficiency and Agricultural Engineering – International Scientific Conference* 7. – 9, Rousse, Bulgaria. Consultado 27

- jul. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/265446406_Effects_of_tillage_systems_and_wheel_slip_on_fuel_consumption
- Moitzi, G; Wagentristsl, H; Refenner, K; Weingartmann, H. 2014. Effects of working depth and wheel slip on fuel consumption of selected tillage implements (en línea). *Agric Eng Int: CIGR Journal* 16(1):182-190. Consultado 4 jul. 2020. Disponible en <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/2661/1852>
- Munkholm, L.J; Heck, R.J; Deen, B. 2012. Soil pore characteristics assessed from X-ray micro-CT derived images and correlations to soil friability. *Geoderma* 181-182:22-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.02.024>
- Pravin, J. 2012. Effect of ballast and tyre inflation pressure on the performance of agricultural tractor for primary tillage operations in sandy loam soil. Thesis M.Sc. Udaipur, India, Maharana Pratap University of Agriculture and Technology. s. p.
- R Core Team 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. s. p
- Rucks, L; García, F; Kaplán, A; Ponce de León, J; Hill, M. 2004. Propiedades físicas de los suelos (en línea). Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. 78 p. Consultado 15 ago. 2020. Disponible en <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Soil Survey Staff. 2018. Soil survey field and laboratory methods manual. Soil survey investigations report N°. 51, version 2.0 (en línea). R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 487 p. Consultado 3 abr. 2020. Disponible en https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1244466.pdf
- Solano, J; Villalobos, R. 2021. Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica (en línea). Instituto Meteorológico Nacional, Gestión de Desarrollo. 32 p. Consultado 20 abr. 2020. Disponible en <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
- Stone, A; Gulvin, H. 1987. Maquinaria agrícola. 15 ed. México D.F., México, Compañía Editorial Continental. 693 p.
- Ten Damme, L; Schjonning, P; Munkholm, L.J; Green, O; Nielsen, SK; Lamandé, M. 2021. Soil structure response to field traffic: effects of traction and repeated wheeling. *Soil & Tillage Research* 213:105-128. DOI: 10.1016/j.still.2021.105128
- USDA. 2001. Soil quality test kit guide. USDA Soil Quality Institute. Washington, DC. s.p.
- Veiga, M; Reinert, D; Reichert, J; Kaiser, R. 2008. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a Southern Brazilian hapludox. *Rev Bras Cienc. Solo* 32(4):1437-1446. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400008>
- Verruijt, A. 2018. An introduction to soil mechanics (en línea). Delft, Holanda, Springer. 419 p. Consultado 25 abr. 2020. Disponible en <https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=xDkuDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Verruijt,+A.+2018.+An+Introduction+to+Soil+Mechanics&ots=qsrrtroLwO&sig=XHmDPgmidtZdhNHKw2iyQ5UPQiw#v=onepage&q=Verruijt%2C%20A.%202018.%20An%20Introduction%20to%20Soil%20Mechanics&f=false>
- Villagra-Mendoza, K; Horn, R. 2018. Effect of biochar addition on hydraulic functions of two textural soils. *Geoderma* 326:88-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.021>
- Zerpa, G; Sosa, O; Berardi, J; Bolatti, J. 2013. La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. *Agromensajes* 35(1):64-68.
- Zimmermann, I; Horn, R. 2020. Impact of sample pretreatment on the results of texture analysis in different soils. *Geoderma* 371:114379. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114379>



Nota técnica

PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ (DIAMANTES 8843) BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA Y DOSIS DE POTASIO¹

Cesar Urbina-Briceño², Jorge Claudio Vargas-Rojas³, Edgar V. Vega-Villalobos⁴, Alfredo Alvarado-Hernández⁵, Gilberto Cabalceta-Aguilar⁶, Gabriel Garbanzo-León^{7/}*

Palabras clave: Factores de eficiencia; fertilización; componentes de rendimiento; absorción de nutrientes.

Keywords: Efficiency factors; fertilization; yield components; nutrient uptake.

Recibido: 01/08/22

Aceptado: 19/10/22

RESUMEN

Introducción. Es necesario investigar prácticas agronómicas, como la fertilización potásica y la densidad de siembra, para aumentar la productividad del cultivo del maíz. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la densidad de siembra y dosis crecientes de K₂O sobre componentes de rendimiento y eficiencia agronómica en el cultivo de maíz variedad Los Diamantes 8843. **Materiales y métodos.** El experimento se realizó en

la Finca Experimental Santa Cruz (FESC), de la Universidad de Costa Rica durante septiembre y diciembre de 2018. Las densidades evaluadas fueron 50 000, 57 143, y 66 666 plantas.ha⁻¹, mientras las dosis de K₂O fueron 0, 70, 140, 210 kg.ha⁻¹. Se evaluó el rendimiento del grano, altura de la planta, grosor de tallo, peso seco, absorción de nutrientes y se ajustó un análisis de varianza para cada variable. Asimismo, se calculó la eficiencia fisiológica, eficiencia agronómica, factor parcial de productividad, eficiencia aparente de recuperación y eficiencia

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: juan.garbanzo@ucr.ac.cr

1 Este trabajo formó parte del proyecto de investigación B7290 (Evaluación de la fertilización sobre mazorca expuesta en dos variedades de libre polinización de maíz (Diamantes 8843, JSAÉNZ) y maíz criollo en el trópico estacionalmente seco de Costa Rica) en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

2 Ministerio de Educación Pública, Dirección Regional de Educación Santa Cruz, Costa Rica.
 0000-0001-9305-5059.

3 Universidad de Costa Rica, Sede Regional de Guanacaste, Liberia, Costa Rica.

 0000-0002-1139-2148.

4 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Departamento de Cultivos, San José, Costa Rica.

 0000-0002-5678-1710.

5 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.

 0000-0002-6930-6660.

6 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.

 0000-0002-3757-8207.

7 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica

 0000-0003-2848-6199.

interna de utilización. **Resultados.** La absorción de los nutrimentos incrementaron con dosis altas de K_2O . Mientras que la calidad de mazorca y los componentes de rendimiento no presentaron diferencia significativa según la dosis. La densidad de siembra más baja presentó valores mayores en las variables agronómicas, sin embargo, este factor no afectó la calidad de mazorca, la absorción de nutrientes, ni los componentes de rendimiento. Los mayores índices de eficiencia se obtuvieron para la densidad de 66 666 plantas. ha^{-1} y $70 kg \cdot ha^{-1}$ de K_2O . **Conclusión.** En suelos con altos contenidos de K, dosis de $70 kg \cdot ha^{-1}$ de K_2O logran satisfacer las necesidades del cultivo, sin embargo, se recomienda suplir la necesidad de la planta ($131,7 kg \cdot ha^{-1}$ K) sin disminuir las concentraciones de K en el suelo.

ABSTRACT

Maize productivity (Diamantes 8843) under different planting densities and potassium doses. Introduction. Agronomical practices such as plant density and fertilizer doses are necessary to increase corn yield production in rural zones in Costa Rica. **Objective.** Evaluation of three plant densities and three K_2O rate on the yield production in maize variety Los Diamantes

8843 in Guanacaste, Costa Rica. **Materials and methods.** This study was carried out at the Finca Experimental Santa Cruz (FESC) of the University of Costa Rica, between September – December 2018. 50 000, 57 143, 66 666 plants by a hectare (ha) were evaluated with 0, 70, 140, 210 $kg \cdot ha^{-1}$ of K_2O in a factorial experimental design. There were quantified the plant height, stem thickness, dry biomass, nutrients uptake and grain yield. Also, the physiological efficiency, agronomic efficiency, partial factor productivity, apparent recovery efficiency and internal utilization efficiency were calculated. **Results.** The highest K_2O rates increased the nutrient uptake, while cob quality and yield components did not show statistical differences with the three K_2O rate. The lowest plant density exhibited the best agronomic parameter values. However, nutrient uptake, cob quality, and yield component were not affected by plant density. 66 666 plant. ha^{-1} with $70 kg \cdot ha^{-1}$ of K_2O had the highest agronomic efficiency index in this experiment. **Conclusion.** Soils with high K concentration revealed that low rate such as $70 kg \cdot ha^{-1}$ of K_2O can satisfy the K requirements in Los Diamantes 8843. But, in order to conserve the K concentration in the soil, it is essential to supply $131.7 kg \cdot ha^{-1}$ of K to provide a good plant uptake requirement without decrease the K concentration in the FESC soil.

INTRODUCCIÓN

El maíz, junto al trigo y el arroz, es uno de los cereales más importantes a nivel mundial, existen aproximadamente 200 millones de hectáreas sembradas con este grano (García-Lara y Serna-Saldivar 2019). Es un cultivo de mucha adaptabilidad, consumido en todo el mundo; para América Latina y África, que son regiones en desarrollo, su importancia está por encima del trigo y el arroz (Paliwal *et al.* 2001, Mejía 2003, Aguilar *et al.* 2015). La Región Chorotega mantiene el consumo más elevado del país, sea blanco, amarillo o morado donde presenta un

amplio consumo tradicional y preparación artesanal comparado (Valerín 2020).

Existe variabilidad en el manejo del cultivo para las diferentes variedades de maíz, lo que resulta en poca información agronómica para las nuevas. Adicionalmente, las políticas gubernamentales han contribuido a la importación de maíz blanco en un 79,5% y amarillo en un 91,7%. Las situaciones anteriores han provocado una reducción en el área de siembra de este cultivo (Chacón 2017, Morales-Abarca 2017) desde la década de los noventa cuando la siembra de maíz blanco era de 18 000 ha hasta

el período 2018-2019 cercana a las 4000 ha del cultivo (Valerín 2020).

A pesar de la disminución de su siembra, se debe dotar al agricultor de prácticas de manejo agronómico que le permita optimizar el rendimiento a partir de la apropiada densidad del cultivo a valores óptimos, es decir plantar la menor densidad que maximiza el rendimiento en grano (Paliwal *et al.* 2001, CIMMYT 2021, LG 2022). La densidad de siembra óptima asegura mayor cobertura foliar e intercepción de luz durante la floración y evita problemas como la mala distribución de asimilados hacia las espigas y alta esterilidad ocasionadas por densidades altas que afectan el número de granos por mazorca (Valloine *et al.* 2010, Aguilar *et al.* 2015).

La densidad de siembra es un factor controlable que incide directamente en el aumento del rendimiento, diámetro de la planta, anthesis femenina y la longitud de la mazorca (Cruz Ramírez 2017); a medida que este se acerque al rango óptimo poblacional, niveles por debajo o por encima presentan problemas de competencia (luz, nutrimentos, agua) y malezas (Fallas *et al.* 2011, Velázquez Quirino 2013). En Costa Rica se han realizado investigaciones sobre el efecto de diferentes densidades de siembra en la producción del grano, donde se encontró que a densidades de 57 143 plantas.ha⁻¹ mostró el mayor rendimiento en la variedad de maíz J-Sáenz (Garbanzo *et al.* 2021).

Además de la densidad de siembra, la productividad del maíz depende de los requerimientos nutricionales pues tiene un alto potencial de producción con la aplicación de fertilizantes potásicos en comparación con otros cereales (Amanullah *et al.* 2016, Patil y Basavaraja 2017). El K tiene funciones como: regulador estomático, turgencia celular, transportador de carbohidratos, almidones, azúcares, aceites, producción de enzimas, activación fotosintética y respiratoria, resistencia a enfermedades, además ayuda al crecimiento del grano (León Alcántara 2016, Natareno Escalante 2017). Es un catión osmóticamente activo, tiene un rol vital en la respuesta del cultivo de maíz a condiciones adversas de clima

y suelo como la salinidad y sequía por su mejora en el uso eficiente del agua dentro de la planta (Mam-Rasul 2010, Radulov *et al.* 2012).

Es de importancia tomar en cuenta el comportamiento del K en el suelo, principalmente en suelos con presencia de arcillas expansivas (2:1). La montmorillonita y vermiculitas ejercen un efecto en la retención de nutrimentos cuando las arcillas se contraen al disminuir la humedad, esto causa un efecto de antagonismo con otros cationes en el suelo y aumentan los desbalances nutricionales en las plantas (Alvarado *et al.* 2014, Bertsch 1995). Dados los escasos estudios con dosis adecuadas de monocaciones en alfisoles con características vérticas del trópico estacionalmente seco en Costa Rica, el objetivo de esta investigación fue analizar el efecto de dosis crecientes de K y 3 densidades de siembra sobre componentes de producción en la variedad de maíz Los Diamantes 8843.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área experimental.

El trabajo se realizó en la Finca Experimental de Santa Cruz (FESC) de la Universidad de Costa Rica, Santa Cruz, Guanacaste, la cual se encuentra a una altitud de 54 msnm en las coordenadas geográficas 10°17'6.24" latitud N y 85°35'42.95" longitud O. El experimento se desarrolló durante el período de septiembre – diciembre de 2018 correspondiente a la estación lluviosa. La FESC posee un suelo clasificado como Vertic Haplustalfs (Alfisol) asociado a otros reconocidos como Typic Ustorthents (Entisoles) y Typic Haplusterts (Vertisoles) (Vega y Salas 2012). Las principales características químicas de los suelos se encuentran en la Tabla 1. Las características climáticas generales en la FESC son una temperatura media de 27,90°C, humedad relativa 74%, vientos con velocidades promedio de 20 a 50 km.h⁻¹, radiación solar promedio de 18,7 MJ y una precipitación anual media de 1834 mm (Vegas y Salas 2012, Cerdas 2015, Garbanzo *et al.* 2021).

Tabla 1. Concentración química de suelos para el suelo evaluado con diferentes dosis de K_2O y densidades en la variedad de maíz Los Diamantes 8843 en la Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste, durante 2018.

KCl Olsen	pH H_2O	cmol(+).L ⁻¹					CICE	% SA	Mg.L ⁻¹					mS.cm ⁻¹ CE
		acidez	Ca	Mg	K				P	Zn	Cu	Fe	Mn	
NC	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5	1,5	
Suelo	6,20	0,13	15,50	5,70	0,50	21,90	0,70	3	2,40	13	68	17	0,10	

Laboratorio Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Solución extractora KCl-Olsen modificado, NC = nivel crítico para suelos en general según parámetros del laboratorio.

CICE = Capacidad de intercambio de cationes efectiva = Acidez + Ca + Mg + K.

El contenido de bases presentado en el sitio fue alto (CICE >21 cmol(+).L⁻¹), lo que es indicador de niveles adecuados de fertilidad natural (Tabla 1). Las concentraciones de las bases se encontraron por arriba del nivel crítico calibrado para la solución Olsen modificada en suelos generales (Bertsch 2003). El Ca, Mg y K estuvieron 4, 6 y 2,5 respectivamente, niveles más altos que el límite crítico en Olsen modificado, una acidez baja (de 0,13 cmol(+).L⁻¹). Los contenidos de P, Zn mostraron concentraciones de 3 y 2,4 mg.L⁻¹ respectivamente. Las concentraciones de Fe, Mn fueron por arriba del nivel crítico y no mostró problemas de salinidad de acuerdo con la conductividad eléctrica en el suelo (CE < 1,5 mS.cm⁻¹).

Establecimiento y manejo agronómico del experimento. A los 20 días antes de la siembra se preparó el suelo con un arado de vertedera y 2 pases de rastra. Posteriormente, se procedió a realizar un control pre-emergente de arvenses para esto se utilizó la aplicación de pendimetalina en una dosis de 2 L.ha⁻¹ y atrazina en una dosis de 1,4 L.ha⁻¹. La actividad se realizó en agosto de 2018, se utilizó la variedad de maíz Los Diamantes 8843. La semilla se trató días previos con carboxim + captan con una dosis de 100 g⁻¹ 100 kg⁻¹ de semilla. Las semillas se colocaron de forma manual donde se usó un espeque calibrado para 4-6 cm de profundidad, luego fueron cubiertas con suelo.

Se usó un sistema de riego por goteo con una distancia entre goteros de 15 cm. Los cálculos de la lámina de reposición (LR) neta se hicieron con base en los datos reportados por Rojas (1985).

La LR neta calculada para el sitio experimental fue de 16,9 mm con una frecuencia de riego de 9 días en promedio. Para este cálculo se modeló un porcentaje de agotamiento de 50% con un 90% de eficiencia a una profundidad efectiva de raíces de 20 cm.

Se utilizó una base de fertilización con 300 kg.ha⁻¹ de N, 60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 40 kg.ha⁻¹ de Mg, 54 kg.ha⁻¹ de SO₄, 10 kg.ha⁻¹ de Zn y 5 kg.ha⁻¹ de B, fraccionadas a los 8, 20 y 40 días después de siembra (dds) con un 10%, 40%, 50% de la dosis aplicada respectivamente.

Tratamientos y diseño del experimento.

Se evaluaron 2 factores: densidad y fertilización potásica. La densidad de siembra tuvo 3 niveles: 50 000, 57 143, 66 666 plantas.ha⁻¹; mientras fertilización potásica tuvo 4 niveles: 0, 70, 140, 210 kg.ha⁻¹ de K₂O. Estas aplicaciones fueron calculadas en unidades de incremento equitativo (70 kg.ha⁻¹) con el fin de cuantificar la más apropiada en sistemas con contenidos de K altos en el suelo y presencia de arcillas 2:1 (problemas de retención de K). De esta manera con la combinación ortogonal de los niveles de los factores surgió una estructura factorial de 12 tratamientos.

La unidad experimental fue de 7 × 3 m, donde 0,5 m alrededor de todo el perímetro se consideró como borde, por lo que la unidad observacional fue de 6 × 2 m (Vargas y Navarro 2017). El diseño experimental fue bloques completos con 5 repeticiones por tratamiento. Así, el experimento tuvo un área experimental de 1008 m², dividida en 48 unidades experimentales de

21 m², cada una se numeró para tener trazabilidad y control con los muestreos.

Variabes experimentales evaluadas. En estado fenológico R5-R6 (próximo a madurez fisiológica), se cosecharon 5 plantas por unidad experimental para un total de 60 plantas. En cada planta se midió la altura con una cinta métrica desde la base del tallo inferior hasta la lígula superior visible. Asimismo, se midió el grosor del tallo a 10 cm de la base inferior con calíper. Las plantas fueron divididas en raíz, panícula, tallos, hojas, granos, mazorca y tuza; cada parte se pesó y se preparó para ser secada a 65°C durante 72 h. Luego las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas para la determinación de los contenidos de N, P, K, Mg, S, Zn, y B presentes en los tejidos. Para el cálculo de absorción se siguió la metodología desarrollada por Bertsch (2003) para la cuantificación nutricional por tejido y después proyectadas por planta.

Cuando las mazorcas mostraron el grano duro en madurez fisiológica se procedió a la recolección de las mazorcas en las 48 unidades observacionales del experimento. Las mazorcas fueron procesadas según lo establecido por CIMMYT (2012). Se cuantificó: número de mazorcas por parcela útil (NMPU), peso fresco (PM), número filas de grano por mazorca (FGM), número de granos por fila de mazorca (GFM). También se desgranaron las mazorcas y se cuantificó el peso de los granos sin elote, posteriormente se recolectó una submuestra de 200 g de granos, se cuantificó su peso en húmedo y se dejaron en un horno por 48 horas a 75°C para determinar el peso seco de los granos.

Para cada tratamiento, se calculó la eficiencia aparente de recuperación (ER), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia agronómica (EA), eficiencia interna de recuperación (EI) y factor parcial de productividad (FPP) según la metodología definida por Steward (2007). El rendimiento de cultivo utilizado para estos cálculos fue estandarizada a una humedad de 14% en grano.

A todas las variables medidas, con excepción de los índices de eficiencia, se les realizó un

análisis de varianza (ANDEVA) para un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de tratamientos con un nivel de significancia (α) de 0,05. En los términos donde hubo diferencia estadística significativa se realizó la comparación de medias mediante la diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher. Todos los procedimientos se realizaron con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2020).

RESULTADOS

Para todas las variables agronómicas el efecto de la interacción no fue significativo (Tabla 2). Al analizar el efecto de los factores principales los factores separadamente se encontró un efecto significativo de dosis de K₂O para las variables peso fresco, altura y grosor de tallo donde se utilizó 140 kg.ha⁻¹ de K₂O que presentó los promedios más altos. Estas mismas variables presentaron promedios superiores en la densidad de 50 000 plantas.ha⁻¹. No hubo efecto significativo ($p>0,05$) ni de la densidad de siembra, ni de la aplicación de K₂O para las demás variables; no obstante, en las variables asociadas a la calidad mazorca, se evidenció una tendencia en su valor medio para la medida de 70 kg.ha⁻¹ de K₂O y densidades de 57 143 y 66 666 plantas.ha⁻¹.

La absorción de nutrientes no presentó interacción significativa; de igual forma no hubo efecto de la densidad de siembra sobre la absorción de nutrientes (Tabla 3). Por el contrario, sí hubo efecto significativo de la dosis de K₂O, la absorción promedio de todos los elementos analizados mostraron un aumento significativo cuando se aplicaron sobre 140 kg.ha⁻¹ de K₂O en comparación con las dosis más bajas.

En lo que respecta a las variables relacionadas con los componentes de rendimiento de maíz, no hubo efecto ni de la interacción, ni de los factores principales (Tabla 4). No obstante, se encontró una tendencia de incremento en las variables número de granos y el rendimiento de grano a 14% para la dosis de 0 y 140 kg.ha⁻¹, este mismo efecto en el incremento se encontró para la densidad de 66 666 plantas.ha⁻¹.

Tabla 2. Efecto de dosis de potasio y densidades sobre el peso fresco, peso seco, altura, grosor de tallo y calidad de mazorcas en maíz variedad Los Diamantes 8843 evaluada en Santa Cruz, Guanacaste 2018.

Factores	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Altura (cm)	Grosor tallo (mm)	PM (cm)	FGM (n)	GFM (n)	NMPU (n)
Dosis K20 (kg.ha ⁻¹)								
210	705,20 ^A	235,60 ^A	179,90 ^B	17,70 ^{AB}	3229,60 ^A	12,30 ^A	34,50 ^A	24,40 ^A
140	752,40 ^{AB}	264,10 ^A	198,20 ^A	18,50 ^A	3332,30 ^A	11,80 ^A	33,90 ^A	25,50 ^A
70	599,60 ^{BC}	204,90 ^A	174,80 ^B	16,20 ^B	3882,90 ^A	12,70 ^A	35,50 ^A	29,50 ^A
0	538,00 ^C	196,40 ^A	176,80 ^B	16,00 ^B	3576,50 ^A	12,10 ^A	36,60 ^A	26,50 ^A
P-valor	0,020	0,105	0,014	0,045	0,4310	0,3170	0,1050	0,4220
F	3,65	2,17	3,96	2,92	0,94	1,21	2,17	0,96
Densidad (plantas.ha ⁻¹)								
66 666	541,00 ^B	187,40 ^B	176,70 ^A	15,40 ^B	3565,10 ^A	12,60 ^A	36,60 ^A	26,90 ^A
57 143	662,60 ^{AB}	238,40 ^A	179,60 ^A	17,80 ^A	3632,80 ^A	12,10 ^A	33,30 ^A	29,30 ^A
50 000	742,70 ^A	250,10 ^A	190,90 ^A	18,10 ^A	3318,20 ^A	12,00 ^A	35,60 ^A	23,40 ^A
P-valor	0,009	0,035	0,086	0,008	0,6692	0,414	0,137	0,104
F	5,26	3,62	2,60	5,40	0,41	0,90	2,08	2,38
Dosis × Densidad								
P-valor	0,368	0,998	0,332	0,903	0,789	0,067	0,094	0,442
F	1,12	0,09	1,18	0,36	0,52	2,14	1,95	0,99

Medias seguidas por una misma letra no representan diferencia estadística ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher.

n = número, PM = peso de mazorca, FGM = número filas de grano por mazorca, GFM = número de granos por fila de mazorca, NMPU = número de mazorcas por parcela útil.

Tabla 3. Absorción de nutrimentos en maíz variedad Los Diamantes 8843 bajo el efecto de diferentes densidades de siembra y dosis de potasio en Santa Cruz, Guanacaste 2018.

Factores	N	P	K	Mg	S	Zn	B
	kg.ha ⁻¹				g.ha ⁻¹		
Densidad (plantas.ha ⁻¹)							
66 666	185,80 ^A	26,10 ^A	104,80 ^A	28,10 ^A	11,40 ^A	487,80 ^A	123,10 ^A
57 143	189,60 ^A	30,30 ^A	117,80 ^A	32,00 ^A	13,00 ^A	538,40 ^A	133,10 ^A
50 000	158,80 ^A	24,60 ^A	106,50 ^A	26,80 ^A	11,10 ^A	467,30 ^A	121,80 ^A
P-valor	0,297	0,301	0,473	0,227	0,331	0,427	0,671
F	1,25	1,24	0,76	1,53	1,13	0,87	0,40
Dosis K ₂ O (kg.ha ⁻¹)							
210	185,60 ^{AB}	28,50 ^{AB}	126,10 ^A	28,80 ^{AB}	12,60 ^A	550,80 ^{AB}	142,20 ^A
140	220,40 ^A	35,60 ^A	131,70 ^A	35,00 ^A	14,20 ^{AB}	600,60 ^A	140,60 ^A
70	154,80 ^B	22,30 ^B	98,00 ^B	24,30 ^B	10,30 ^B	435,50 ^{BC}	117,60 ^{AB}
0	151,60 ^B	21,60 ^B	83,00 ^B	27,10 ^B	10,30 ^B	404,40 ^C	103,70 ^B
P-valor	0,025	0,007	0,001	0,019	0,038	0,011	0,044
F	3,43	4,58	6,78	3,66	3,06	4,21	2,93
Dosis × Densidad							
P-valor	0,9922	0,9686	0,5232	0,9953	0,9986	0,9997	0,9729
F	0,13	0,22	0,87	0,11	0,07	0,04	0,21

Medias seguidas por una misma letra no representan diferencia estadística ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher.

Tabla 4. Efecto de la densidad de siembra y dosis crecientes de potasio sobre los componentes de rendimiento de la variedad de maíz Los Diamantes 8843 Santa Cruz, Guanacaste 2018.

Factores	Peso Seco 1000 granos (g)	Número granos por m ²	Rendimiento en grano a 14% de humedad (kg)
Dosis K ₂ O (kg.ha ⁻¹)			
210	264,00 ^A	1219,90 ^A	3705,50 ^A
140	259,60 ^A	1343,40 ^A	4041,40 ^A
70	258,40 ^A	1182,50 ^A	3552,50 ^A
0	265,70 ^A	1319,80 ^A	4079,30 ^A
P-valor	0,768	0,658	0,590
F	0,38	0,54	0,65
Densidad (plantas.ha ⁻¹)			
66 666	256,40 ^A	1432,50 ^A	4270,80 ^A
57 143	263,10 ^A	1208,60 ^A	3710,50 ^A
50 000	266,30 ^A	1158,20 ^A	3552,70 ^A
P-valor	0,349	0,089	0,169
F	1,08	2,56	1,85
Dosis × Densidad			
P-valor	0,897	0,984	0,986
F	0,37	0,17	0,16

Medias seguidas por una misma letra no representan diferencia estadística ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher.

Al analizar los factores de eficiencia (Tabla 5), se encontró que el factor parcial de productividad (FPP) tuvo un valor superior con 70 kg.ha⁻¹, en comparación a las demás. La eficiencia de fertilización (EF), mostró un comportamiento diferente al obtener los mayores índices para las aplicaciones de 70 y 210 kg.ha⁻¹ en la densidad de 57 143 plantas.ha⁻¹. Mientras que en la eficiencia interna de utilización (EI), las

tendencias fueron distintas al presentar valores superiores en las dosis de 70 y 140 kg.ha⁻¹ para la densidad de 66 666 plantas.ha⁻¹. La eficiencia de recuperación (ER) y eficiencia agronómica (EA) para este experimento presentaron valores inferiores a 0,54 y 4,26 respectivamente, lo que indicó eficiencias muy bajas en estos 2 últimos índices para el uso de K en este suelo.

Tabla 5. Efecto de la densidad de siembra y dosis crecientes de potasio en índices de eficiencias en el uso de potasio en maíz variedad Los Diamantes 8843 Santa Cruz, Guanacaste 2018.

Dosis K ₂ O (kg.ha ⁻¹)	Densidad (plantas.ha ⁻¹)	ER	EF	EI	EA	FPP
70	50 000	0,50	0,20	29,60	0,20	42,70
	57 143	0,10	27,30	35,40	1,90	51,90
	66 666	0,40	12,30	54,20	4,30	57,70
140	50 000	0,50	2,20	27,50	1,60	26,90
	57 143	0,30	17,80	32,60	4,50	28,00
	66 666	0,20	25,70	45,30	2,80	31,70
210	50 000	0,20	15,80	33,30	1,70	16,50
	57 143	0,20	27,30	28,70	1,90	15,90
	66 666	0,20	6,60	37,10	1,20	20,50

ER = eficiencia aparente de recuperación, EF = eficiencia fisiológica, EI = eficiencia interna de utilización, EA = eficiencia agronómica, FPP = factor parcial de productividad.

DISCUSIÓN

Las dosis de 140 kg.ha⁻¹ y 210 kg.ha⁻¹ de K₂O incrementaron la biomasa fresca, seca, altura de planta y grosor de tallo, posiblemente, en estas, se presentó un efecto sinérgico con otros nutrimentos catiónicos en el suelo, lo cual se refleja en un aumento la absorción de otros nutrimentos (Tabla 3). Por otro lado, otros trabajos han apuntado a un problema de antagonismo, donde el efecto del incremento de dosis de K₂O demostraron un efecto antagonismo con Mg principalmente (Henríquez *et al.* 1990), sin que este represente una disminución significativa en el rendimiento del cultivo.

Propiamente para la variable altura, se excluye que sea un efecto de etiolación, debido a que, al analizar el efecto de las densidades, estas no tuvieron efecto sobre esta variable. Sin embargo, en algunos trabajos se ha encontrado que la densidad de siembra siempre muestra un efecto en el crecimiento de las plantas, por la competencia lumínica, agua y nutrimentos asociadas con otras características de menor macollamiento y mayor rendimiento de grano (Cruz Ramírez 2017, Raya *et al.* 2012, Amanullah *et al.* 2016). En lo que respecta a la producción Bonilla (2019) indicó que el híbrido Los Diamantes 8843

obtiene rendimientos altos a densidades entre 50 000 y 55 000 plantas.ha⁻¹, no obstante, en este trabajo, si bien no hubo diferencia estadística, con la densidad de 66 666 plantas.ha⁻¹ se obtuvo una producción 20,2% mayor con respecto a la densidad de 66 666 plantas.ha⁻¹.

En las condiciones de este experimento, el rendimiento potencial alcanzado para las diferentes dosis de K₂O no difirieron al tratamiento sin fertilización. La concentración de K encontrada en el sitio del experimento fue de 0,5 cmol.L⁻¹, lo que representa 2,5 veces más que el nivel crítico de este elemento (0,2 cmol.L⁻¹). En este sentido, Riveros y Causarano (2003) reportaron que para encontrar una respuesta a la fertilización potásica los valores deben de presentarse por debajo de 0,18 cmol.kg⁻¹. Esto explicaría el por qué no se encontró un efecto significativo con respecto a las dosis usadas en este experimento. También lo encontraron Garbanzo *et al.* (2021) quienes demostraron que, si la solubilidad de K en el suelo es alta, no hay efecto de la aplicación de K₂O sobre la producción de maíz variedad J-Sáenz. No obstante, este efecto no es sostenible en el tiempo, ya que es posible que después de varios ciclos de cultivo la concentración de K en el suelo tienda a decrecer y ocasione problemas agronómicos en el cultivo cuando los rangos de

este elemento estén por debajo de nivel crítico (Cabalceta y Molina 2006)

La variedad Los Diamantes 8843 mostró el uso más eficiente de K con la dosis de 70 kg.ha⁻¹ de K₂O, a una densidad de 66 666 planta.ha⁻¹, esta combinación obtuvo un índice de eficiencia interna (EI) de 54 y un factor parcial de producción (FPP) de 57,7; es decir que por cada kg de K₂O aplicado se produjo 57,7 kg de grano 14% humedad. El FPP de este trabajo es superior al reportado (46,5) por Garbanzo *et al.* (2021) para una dosis de 100 kg.ha⁻¹ K a una densidad de 57 143 plantas.ha⁻¹ en la variedad J-Sáenz. Sin embargo, fue más bajo que los valores obtenidos (>60) por Stewart (2007) en sistemas con bajo nivel de K en el suelo. Esta investigación, al tener altos niveles de K en el suelo, conlleva a que el FPP tienda a ser más bajo con el incremento de las dosis de K₂O (140-210 kg.ha⁻¹) debido a los altos rendimientos obtenidos por el tratamiento testigo. En general, para manejar efectivamente las dosis de nutrimentos en los sistemas agrícolas, se recomienda obtener siempre índices altos, en este caso, el K en el suelo K no es fue factor limitante en el crecimiento y/o producción, por lo que el efecto de este elemento pudo ser suprimido al usar fórmulas completas con otros nutrimentos (N, P, Mg, Zn y B).

CONCLUSIONES

La variedad de maíz Los Diamantes 8843 no mostró una interacción estadísticamente significativa con respecto a dosis crecientes de K₂O y densidades de siembra. Sin embargo, se observó una respuesta positiva en el rendimiento con el aumento de la densidad de siembra. Para este experimento se logró una producción potencial por arriba de 4 000 kg.ha⁻¹ grano (14% humedad) al utilizar dosis de 140 kg.ha⁻¹ de K₂O y las densidades por arriba de 57 143 plantas.ha⁻¹. Esta misma dosis de K₂O mostró un efecto significativo en la altura de la planta y una tendencia en el crecimiento. De acuerdo con la eficiencia del uso de potasio, los suelos con altos niveles de K (dosis de 70 kg.ha⁻¹ de K₂O)

son suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo por un período determinado, sin embargo, la absorción potencial de la planta fue de 131,7 kg.ha⁻¹ de K, por lo que se recomienda usar dosis de fertilizantes suficientes para suplir la necesidad de la planta sin degradar o disminuir las concentraciones de K en el suelo.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, C; Salvador, JA; Aguilar, I. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 33(1):51-62.
- Alvarado, A; Mata, R; Chinchilla, M. 2014. Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: ii. Mineralogía de arcillas en suelos con características vérticas y oxidico caoliniticas. *Agronomía Costarricense* 38(1):107-131.
- Amanullah, I; Irfanullah, A; Hidayat, Z. 2016. Potassium management for improving growth and grain yield of maize (*Zea mays* L.) under Moisture Stress Condition. *Scientific Reports* 6(9):1-12. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep34627>
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 307 p.
- Bonilla, N. 2019. Variedades e híbridos de maíz: Características y recomendaciones para su manejo agronómico. San Jose, Costa Rica, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. 2 p.
- Cabalceta, G; Molina, E. 2006. Niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3. *Agronomía Costarricense* 30(2):31-44.
- Cerdas, R. 2015. Comportamiento productivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *Intersedes* 33(1):125-145.
- Chacón, M. 2017. Evolución del cultivo de maíz en Costa Rica. Oficina Nacional de Semillas de Costa Rica (en línea). Oficina Nacional de Semillas, San José, Costa Rica; 27 sep. Consultado 02 ene. 2022. Disponible en <http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semillas-de-maiz/evolucion-cultivo-maiz/>
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México). 2012. Manual de determinación de rendimiento (en línea). Texcoco, México. 63 p. Consultado 15 ene.

2019. Disponible en <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/18249/48867.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México). 2021. La importancia de una densidad de siembra óptima (en línea). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Texcoco, México; 19 julio. Consultado 17 ene. 2022. Disponible en <https://idp.cimmyt.org/la-importancia-de-una-densidad-de-siembra-optima/>
- Cruz Ramírez, M. 2017. Efecto de cuatro densidades de siembra y cuatro dosis de fertilizante N-P-K en el desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays L.*) (en línea). Tesis Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 21 p. Consultado 20 nov. 2021. Disponible en; <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/756160fe-9171-4813-8c0d-15e6986e0a42/content>
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2020. Infostat (Nº. 2020). Centro de Transferencia InfoStat (en línea, programa informático). Consultado 02 ene. 2022. Disponible en <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=15>
- Fallas, R; Bertsch, F; Echandi, C; Henríquez, C. 2011. Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del híbrido de maíz HC-57. *Agronomía Costarricense* 35(2):33-47. DOI: <https://doi.org/10.15517/rac.v35i2.6677>
- Garbanzo-León, G; Alvarado-Hernández, A; Vargas-Rojas, J. C; Cabalceta-Aguilar, G; Vega-Villalobos, EV. 2021. Fertilización con nitrógeno y potasio en maíz en un Alfisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 32(1):137-148. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v32i1.39822>
- García-Lara, S; Serna-Saldivar, SO. 2019. Corn history and culture. In Serna-Saldivar, S (ed.). Sawston, United Kingdom, WoodHead Publishing. p. 1-18 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>
- Henríquez, C; Bertsch, F; Cabalceta, G. 1990. Efecto de la variación del K disponible en ocho suelos de Costa Rica sobre la absorción y las interacciones foliares entre bases. *Agronomía Costarricense* 14(2):223-230.
- León Alcántara, WD. 2016. Manejo de la fertilización de maíz (*Zea mays L.*) en el Valle Santa Catalina (en línea). Tesis Ing. Agr. Trujillo, Perú, UPAO. 55 p. Consultado 20 nov. 2021. Disponible en https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/2423/1/REP_ING.AGRON_WILSON.LEÓN_MANEJO.FERTILIZACION.MAÍZ.ZEA.MAYS.L.VALLE.SANTA.CATALINA.pdf
- LG (Limagrain, Argentina). 2022. Apuntes técnicos maíz grano: densidad de siembra óptima (en línea). Limagrain, Argentina; 05 ene. Consultado 12 feb. 2022. Disponible en <https://www.lgseeds.es/blog/apuntes-tecnicos-maiz-grano-densidad-de-siembra-optima/>
- Mam-Rasul, G. 2010. Effect of potassium fertilizer on growth and yield of corn plants in some soils at sulaimani governorate. *Mesopotamia Journal of Agriculture* 38(1):35-44. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33899/magrj.2010.27738>
- Mejía, D. 2003. Post-harvest operations (en línea). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 99 p. Consultado 20 nov. 2021. Disponible en https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compodium_-_MAIZE.pdf
- Morales-Abarca, LF. 2017. Producción y productividad de los cultivos de frijol y maíz en Costa Rica de 1984 al 2014. *E-Agronegocios* 4(1):1-12.
- Natareno Escalante, F. 2017. Evaluación de tres fuentes de potasio en tres híbridos de maíz dulce (*Zea mays*, Poaceae) en la concentración de sólidos solubles, Joyabaj, Quiché (en línea). Tesis Ing. Agr. San Carlos, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 96 p. Consultado 21 nov. 2021. Disponible en <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2017/06/14/Natareno-Francisco.pdf>
- Paliwal, R; Granados, G; Lafitte, H; Violic, A. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción (en línea). Roma, Italia. s. p. Consultado 17 nov. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm>
- Patil, S; Basavaraja, PK. 2017. Effect of different sources and levels of K on maize (*Zea mays L.*) yield, nutrient content and uptake by maize crop in low K soils of eastern dry zone of Karnataka, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(6):193-199.
- Radulov, I; Berbecea, A; Crista, F; Lato, A; Sala, F. 2012. Mineral fertilization effect on soil potassium and corn quality and yield. *Research Journal of Agricultural Science* 44(3):108-114.
- Raya, J; Aguirre, C; Medina, G; Ramírez, J; Andrio, E; Castellanos, A; Covarrubias, J. 2012. Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(4):633-641.
- Riveros, G; Causarano, H. 2003. Efecto de la fertilización potásica sobre el tenor de potasio intercambiable de cinco suelos del paraguay y el crecimiento de maíz (*Zea mays L.*). *Investigación Agraria* 5(2):5-11.
- Rojas, O. 1985. Estudio Agroclimático de Costa Rica. 2 ed. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 226 p.
- Stewart, WM. 2007. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes (en línea). *Boletín Informaciones Agronomicas* Nº. 67:1-6. Consultado 06 ene. 2021. Disponible en <http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/issue/IA-LAHP-2007-4>

- Valerín, JE. 2020. Informe situacional granos básicos 2012-2019: frijol-maíz (en línea). San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 116 p. Consultado 16 nov. 2020. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E16-11088.pdf>
- Vallone, P; Gudelj, V; Galarza, C; Masiero, B; Vranicich, C; Nebreda, J. 2010. Ensayo de densidad y distancia de siembra de maíz (en línea). Consultado 14 dic. 2021. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-10_1.pdf
- Vargas, JC; Navarro, JR. 2017. Determinación del tamaño y la forma de unidad experimental, con el método de curvatura máxima, para ensayos de rendimiento de maíz (*Zea mays*), Guanacaste, Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED 9(1):35-144. DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1689>
- Vega, EV; Salas, RE. 2012. Curvas de absorción de nutrientes bajo dos métodos de fertilización en sandía, en Guanacaste, Costa Rica. InterSedes 13(26):21-42.
- Velázquez Quirino, FJ. 2013. Evaluación de densidad de siembra en maíz (*Zea mays* L) para la producción de grano en la Comarca Lagunera. Tesis Ing. Agr. Coahuila, México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 52 p.



Agronomía Costarricense. Universidad de Costa Rica. Se encuentra licenciada con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr

Obras nuevas

**RESEÑA AL LIBRO DE “SUELOS DE CENTROAMÉRICA”
DE ALFREDO ALVARADO-HERNÁNDEZ:**

SOILS OF CENTRAL AMÉRICA

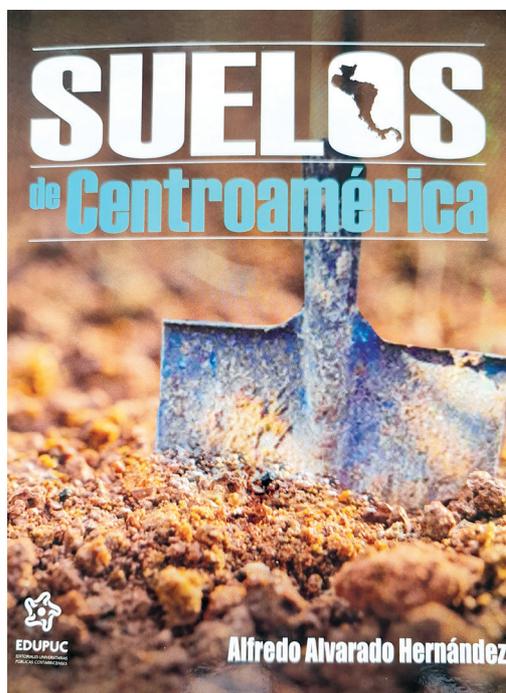
El Ingeniero Agrónomo Alfredo Alvarado con sus estudios de maestría y doctorado, se posicionó como un excelente y reconocido taxónomo de suelos. Además, ha sido un gran docente, investigador y proveedor de conocimiento desde los años 70s. A lo largo de todos estos años, ha plasmado conocimiento amplio en forma simplificada y práctica en múltiples artículos científicos y libros. La experiencia de campo, su interacción con otras culturas como por ejemplo en Suramérica por varios años, para ayudarles a mejorar sus opciones siempre de la mano del conocimiento, lo hacen un profesional ejemplar. El deseo continuo de dar a conocer a través de la lectura y también mediante su escritura, permite que la experiencia sumada con saber haya quedado plasmada y disponible para las generaciones actuales y venideras.

Este logro será aprovechado indiscutiblemente por estudiantes de posgrado, profesores e investigadores afines a suelos tropicales y subtropicales gracias a esta obra de gran calidad sobre suelos de Centroamérica, ya que en la misma expone desde la época Maya hasta nuestros días.

Para tal logro, el Dr. Alvarado hizo revisión de más de mil citas, en diversos idiomas e incluso lenguas no nativas de Centroamérica. Además, explica procesos de la formación de suelos, su efecto sobre la formación de arcillas como componente impulsador de los procesos de reacción, con más amplitud la transformación y formación de compuestos orgánicos en los sistemas primitivos de uso del suelo y la fertilización en cultivos y plantaciones. Como aporte acertado para comprender mejor el sistema suelo ambiente, ofrece una introducción general a la geología,

la fisiografía, el clima, aspectos sociales del uso del suelo, manejo sostenible, la flora y la fauna. Luego continua con propiedades de los suelos, mineralogía de las arcillas para concluir su obra, con la fertilidad de los suelos que consta de múltiples aristas explicadas con esa facilidad del verbo con que siempre se ha caracterizado el Dr. Alfredo Alvarado.

*Dr. Mario Villatoro-Sánchez
Director Departamento de Suelos
Subdirector Escuela de Agronomía, UCR
Noviembre 2022*



NORMAS DE PUBLICACIÓN

La Revista Agronomía Costarricense es una publicación semestral editada y financiada por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, funciona con el respaldo de profesionales de la Universidad de Costa Rica, el Colegio de Ingenieros Agrónomos y el Ministerio de Agricultura y Ganadería que conforman su Consejo Editorial.

OBJETIVO DE LA REVISTA

El objetivo de la Revista Agronomía Costarricense desde su creación en 1977 ha sido publicar, visibilizar y facilitar el acceso de la investigación agropecuaria y forestal con temas de interés y actualidad científica del sector.

TIPO DE PUBLICACIÓN

- Trabajos originales e inéditos de investigación, que tengan mérito científico o técnico a juicio del Consejo Editorial.
- Artículos.
- Notas técnicas, que son avances o resultados paralelos de investigaciones en marcha.
- Análisis y comentarios sobre temas relevantes, solicitados a especialistas.
- Revisiones de literatura exhaustivas sobre un tema específico.
- Reseñas de libros.

NORMAS PARA PUBLICACIÓN

Los trabajos publicados en la Revista Agronomía Costarricense son el resultado de una selección rigurosa, por parte del Consejo Editorial en primera instancia y el arbitraje realizado por especialistas nacionales e internacionales, mediante el sistema de revisión por pares doble ciego.

Una vez que el Consejo Editorial evalúa previamente el mérito científico o técnico de los trabajos, son remitidos con el instrumento de evaluación, a especialistas nacionales e internacionales. El dictamen puede emitir los siguientes criterios:

- El documento se acepta sin reservas.
- Se acepta sólo si se incluyen las observaciones.
- No se acepta del todo para publicación.

En caso de que se presente controversia entre las evaluaciones realizadas para un mismo documento, se somete a otra revisión por parte de nuevas personas especialistas cuya valoración determine el resultado definitivo para publicar o no.

Si el documento es aceptado clasifica en una de las siguientes categorías:

- Artículo.
- Nota técnica.
- Otros: Análisis y comentario, revisión de literatura, reseñas de libros.

La persona editora en conjunto con quienes conforman el Consejo Editorial de la Revista Agronomía Costarricense, determinan si se acepta o rechaza la documentación presentada para posible publicación.

Los trabajos pueden ser escritos en español o inglés. Deben ajustarse a las normas de redacción establecidas para la estructura del manuscrito. Es recomendable que los manuscritos en inglés sean revisados y corregidos previamente por una persona especialista del tema cuya lengua materna sea el inglés. (El aporte del material recibido no será devuelto a las personas autoras).

- Los trabajos de investigación no deben ser mayores de 20 páginas y las notas técnicas no deben exceder las 6 páginas.
- La Revista Agronomía Costarricense no cobra por recibir manuscritos o por publicar investigaciones.
- El trabajo debe estar escrito en una versión actualizada de Word para Windows, a doble espacio y con tipo de letra arial 12.
- Las personas autoras deben seguir las normas del Sistema Internacional de Unidades tanto en el texto como en las tablas que suministren.
- El manuscrito debe ser enviado al correo electrónico de la Revista Agronomía Costarricense.
- Las tablas deben ser presentadas en Word y en Excel las figuras y gráficos en orden ascendente por números y letras según corresponda. Tanto las tablas como las figuras se deben presentar en páginas independientes impresas en buena calidad. Otras figuras y fotografías se deben presentar en formato eps, jpg o tiff con un mínimo de 240-300 dpi.

Los trabajos deben ser enviados o entregados por el autor o la autora principal a nuestra dirección electrónica:

rac.cia@ucr.ac.cr
Teléfono 2511 2080

ESTRUCTURA DEL MANUSCRITO

Título. Debe ser lo suficientemente claro de forma tal que oriente al lector sobre el contenido de la investigación y que no exceda de 15 palabras.

Autor (a). Escribir el nombre completo, con ambos apellidos separados por un guión como se muestra a continuación: Serrano-Velázquez. La instrucción aplica también para las personas coautoras. Deberán agregar al pie de página la afiliación institucional indicada con un número para cada una de las personas participantes en la investigación y sólo el correo electrónico institucional de la persona que el equipo investigador seleccione para correspondencia.

El documento presentado será evaluado dentro de la modalidad de artículo de investigación, nota técnica, revisiones de literatura sobre un tema específico, reseñas de libros y actualizaciones o análisis y comentarios sobre actividades agropecuarias específicas. La decisión final sobre la modalidad para publicación del manuscrito será con base en el criterio de las personas revisoras y recomendaciones de quienes integran el Consejo Editorial y Consejo Editorial Asesor Internacional.

Código ORCID. Sirve para identificar a la persona autora con un código único que le diferenciará de cualquier otra persona que publique. Dicho código es requerido para afiliar tanto a la persona que investiga como a las publicaciones que realice. Deberá registrar nombre completo, correo electrónico y una contraseña en el siguiente enlace: <http://orcid.org/>

El enlace señalado anteriormente generará automáticamente el código ORCID de la persona que publica. En el caso de que en una publicación participen varios (as) autores (as) deberá aparecer el

ORCID de cada una de las personas participantes en la publicación y no sólo la de la persona señalada como contacto para correspondencia. Ese código aparecerá al pie de la página para cada una de las personas participantes en la publicación.

Resumen estructurado. Este es un párrafo donde se debe señalar, en un máximo de 300 palabras, la introducción, el objetivo del trabajo, los materiales y métodos, los principales resultados y las conclusiones. Tratar de incluir cifras. Los términos “Introducción, Objetivo, Materiales y métodos, Resultados y Conclusión” deben ser destacados en negrita para diferenciar esos contenidos dentro del resumen.

Abstract. Debe ser exacto al resumen en español y debe incluir el título en inglés.

Palabras clave. Incluir hasta 5 palabras clave que le permitan a un usuario localizar en una plataforma digital la publicación.

Introducción. Debe incluir la justificación del trabajo, los antecedentes más relevantes sobre el tema y el objetivo concreto del trabajo.

Materiales y métodos. Se refiere a todos los materiales y métodos requeridos para el desarrollo de la investigación, con una detallada descripción de los mismos que le permitiera alcanzar resultados específicos del tema tratado. Si la persona autora requiere algún programa especializado debe presentar una descripción y conveniencia de su utilización para alcanzar los resultados.

Resultados y discusión (pueden venir juntos o separados). Su contenido se fundamenta en los resultados obtenidos a partir del objetivo planteado en la investigación. Independientemente de su complejidad, requieren ser expuestos de forma clara y sencilla. Los resultados pueden ser números, categorías o agrupaciones de los objetos o sujetos de estudio. La exposición de los resultados debe caracterizarse por la precisión y legitimidad de los hechos y cifras registradas, por lo que no se admiten resultados que se apoyen únicamente en calificativos como por ejemplo: mucho, poco, más, menos, bastante, pues podría conducir a una interpretación inexacta que debilita la investigación.

Agradecimientos. En esta sección sólo se incluye aquellas personas que hicieron un aporte muy significativo al trabajo.

Literatura citada. Debe redactar las referencias de acuerdo con el Manual “**Redacción de referencias bibliográficas: normas técnicas para ciencias agroalimentarias del IICA-CATIE**”. Disponible en <http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2016/b4013e.pdf>

Ejemplos:

Revista

Saborío, A; Sánchez, J. 2014. Evaluación de la condición corporal en un hato de vacas Jersey en pastoreo en la zona alta de Cartago. Variaciones durante el ciclo productivo. *Agronomía Costarricense* 38(1):55-65.

Libro

Garita, RA. 2014. La piña. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 568 p.

Capítulo de un libro

Molina, E; Alvarado, A. 2012. Manejo de la acidez y encalado de suelo. *In* Alvarado, A; Raigosa, J (eds.). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. San José, Costa Rica, ACCS. p. 159-177.

Tesis

Reyes, D. 2012. Compuestos GRAS para el control de patógenos poscosecha in vitro en mango (*Mangifera indica* L.), piña (*Ananas comosus* L.) y papaya (*Carica papaya* L.), y pruebas de eficacia in vivo en piña. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 92 p.

Referencias en Internet

Autor, año. Título del trabajo (en línea). Ciudad, país. Fecha de consulta y vínculo. Se debe verificar el tipo de publicación según corresponda libro, revista, etc., para redactar la cita.

DERECHOS DE AUTOR

El autor, la autora o los autores deben autorizar por escrito a la Revista Agronomía Costarricense el derecho de su primera publicación y mención que quedará registrada con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica y conserva todos sus derechos y además, podrán incluir su publicación en un repositorio institucional que especifique su publicación en primera instancia, en la Revista Agronomía Costarricense.

Una vez publicado el volumen del periodo respectivo, se puede acceder a la versión digital, lo que permite gestionar un autoarchivo del documento o documentos de interés, en el sitio seleccionado por la persona autora.

El autor o la autora principal, debe dar fe por escrito, que la información presentada es original y no ha sido publicada en ningún otro medio. Además, desde el momento que entrega la documentación, debe contar con la autorización escrita de la institución donde se realizó la investigación.

POLÍTICA DE DETECCIÓN DE PLAGIO

Mediante herramientas de Google y DupliChecker, la Revista Agronomía Costarricense es vigilante de las fuentes que se utilizan en la dinámica de investigación para determinar el uso de ideas originales sin la citación de la fuente o bien por la utilización de palabras de otros sin citarlos en el documento y en la lista de referencias bibliográficas.

De igual manera se incurre en plagio cuando se falsifican las palabras de otros para asumirlas como propias o bien cuando indica ser el autor o autora de una investigación cuando su propietario es otra persona. De ser detectado un plagio, se indicará por escrito al autor principal como se procederá.

POLÍTICA DE ACCESO ABIERTO

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente la investigación al público, con el propósito de fomentar un mayor intercambio de conocimiento global.

ARCHIVO

La revista cuenta con la preservación de sus archivos digitales, primeramente, los archivos se encuentran integrados en la base de datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, la cual cuenta con un sistemas de respaldo, cuyas Políticas y Normas se pueden encontrar en el enlace: <http://www.mag.go.cr/sg%20mag/Nomas%20y%20Políticas%20Generales%20de%20TI-2016.pdf>

Asimismo, se cuenta con el respaldo digital del repositorio Kérwá de la Universidad de Costa Rica, y el sistema de administración y publicación de revistas OJS. Además, semestralmente la revista envía un CD, con el volumen respectivo, al Sistema Nacional de Bibliotecas (SINABI); por lo que ahí se encuentra un respaldo de los manuscritos.

La revista también utiliza el sistema CLOCKSS para crear un archivo distribuido entre las bibliotecas participantes, lo que permite a dichas bibliotecas, crear archivos permanentes de la revista con fines de preservación y restauración. Se puede encontrar más información en el siguiente enlace: <http://thekeepers.org/>

CÓDIGO DE ÉTICA

DEBERES DEL O LA EDITORA

El o la editora, debe vigilar por publicaciones originales con mérito científico o técnico, con apoyo del Consejo Editorial. De esta manera, puede aceptar o rechazar un trabajo bajo los criterios expuestos en las normas de publicación de la revista y su contenido intelectual sin distinción de género, orientación sexual, ideología política o religiosa, nacionalidad u origen étnico de las personas. Los textos recibidos serán remitidos a especialistas nacionales e internacionales para su revisión por pares doble ciego. En todo el proceso, el editor o editora debe garantizar la confidencialidad a las partes, así que no puede revelar información acerca del contenido del manuscrito, tampoco los nombres de las personas que solicitan publicar o los nombres de quienes realizan la revisión y evaluación del documento.

DEBERES DE LAS PERSONAS QUE CONFORMAN EL CONSEJO EDITORIAL

Quienes conforman el Consejo Editorial, les corresponde contribuir con la asignación de personas revisoras nacionales e internacionales según la temática del documento recibido; también deben auxiliar en la revisión preliminar de manuscritos sobre materias afines a su profesión y apoyar con la actualización, mejora y evaluación periódica de la revista.

DEBERES DE LAS PERSONAS AUTORAS

Deben seguir los criterios expuestos en las normas de publicación de la Revista Agronomía Costarricense. Asimismo, deben documentar por escrito, que la información presentada es original,

que no ha sido publicada o considerada para su publicación en otro medio; además, debe incluir dentro de la documentación que presente, la autorización escrita de la institución donde se generó el documento. Quienes publiquen deben saber que la utilización de datos, información de otras personas autoras sin citarlas en el documento y en la lista de referencias bibliográficas, así como la adopción de ideas para asumirlas como propias, se podría presumir como plagio y de comprobarse, su texto no se tomaría en cuenta para la publicación. De esta forma deben citar completa y adecuadamente las fuentes bibliográficas de los textos que aportan en el trabajo presentado. Para la autoría, es preciso que se nombren como personas co-autoras, quienes contribuyan significativamente en el desarrollo del estudio. Deben citar en el texto todas las fuentes financieras en las que se apoyaron, al igual que cualquier conflicto económico o de intereses que podría influenciar en los resultados finales del manuscrito.

En los documentos presentados no deben aparecer los nombres de productos o casas comerciales (®), pues compromete su publicación. Por último, si quien publica identificara algún error en su artículo, deberá informarlo 15 días posteriores a la entrega del último documento que presentó para su publicación al correo rac.cia@ucr.ac.cr

DEBERES DE LAS PERSONAS REVISORAS

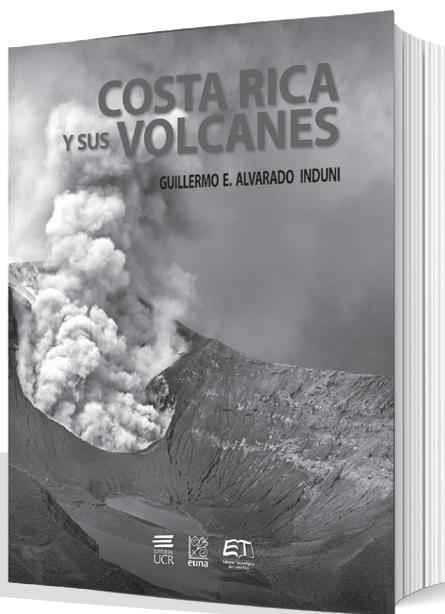
A toda persona especialista le compete notificar al editor o editora, cuando se le consulte, si le es posible revisar el documento que se le solicita evaluar. De aceptar deberá realizar su trabajo de manera objetiva, sus críticas han de tener argumentos sustentados en la ciencia y no ha de tener ningún conflicto de intereses con la información presentada o la autoría, aspectos que deberá indicar antes de aceptar y llevar a cabo la evaluación del documento.

Quienes contribuyen en la revisión de los documentos presentados para posible publicación han de comunicar al editor o editora, acerca de cualquier comportamiento no ético identificado en el manuscrito revisado, además de los aportes de información crítica y constructiva para el mejoramiento del texto, o bien, para el rechazo del mismo. De igual forma, conocen que el material que se les entrega para su evaluación debe ser tratado con absoluta confidencialidad, por lo cual no podrán revelar a terceras personas ningún dato o utilizar la información del documento para proyectos personales.

EDITORIAL UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Costa Rica y sus volcanes

Guillermo Alvarado Induni



1.a ed. 2021
21,83 cm x 28,42 cm
976 pp.
ISBN 978-9968-46-776-6

Se presenta un cuadro sinóptico y actualizado sobre los volcanes de Costa Rica, su formación y actividad eruptiva, historia, influencia socioeconómica y cultural, hasta llegar a un grado de conocimiento y desarrollo vulcanológico, que posiciona a Costa Rica a nivel internacional.


EDITORIAL
UCR

LIBRERÍA — UCR
Tels.: 2511 5858 • 2511 5859

Portal DE LA Investigación

Ciencia universitaria a su alcance

⌘ **Información**

- Noticias de ciencia y tecnología
- Proyectos de investigación
- Agenda de investigación
- Nuevas publicaciones

⌘ **Opinión**

- Vox populi
- Opinión
- Foro

⌘ **Plataforma de medios**

- Programa En la Academia
- Serie televisiva Girasol
- Revista Girasol digital
- Cápsula Girasol





Estimados suscriptores:

Las revistas académicas de la Universidad de Costa Rica difunden los más recientes avances en artes, filosofía, ciencias y tecnología. Nuestras revistas se caracterizan por su alta calidad y precios accesibles. Mejorar continuamente es nuestra tarea. Para nosotros es muy importante el apoyo de nuestros lectores.

Le invitamos a renovar su suscripción.

El pago para suscriptores nacionales se puede realizar mediante depósito bancario o transferencia electrónica de fondos en la Cuenta Maestra 100-01-080-000980-6 de la Universidad de Costa Rica (UCR) con el Banco Nacional y enviarnos copia del comprobante por fax al N° (506) 2511-5417 o al correo electrónico distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr. También puede cancelar en la Sección de Comercialización, ubicada frente a la Facultad de Artes.

Para el pago de suscripciones internacionales, por favor contacte su agencia suscriptora o escribanos al correo electrónico distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr

Horario de atención de 7:00 a. m. a 11:45 a. m. y de 1:00 p. m. a 3:45 p. m.

SUSCRIPCIÓN DE REVISTAS • JOURNAL SUBSCRIPTION FORM

Nombre / Name: _____

Dirección / Address: _____

Apartado / P.O. Box: _____ Teléfono / Telephone: _____ E-mail: _____

Suscripción anual / Annual subscription		Suscripción anual / Annual subscription		Suscripción anual / Annual subscription	
<input type="checkbox"/> AGRONOMÍA COSTARRICENSE	¢ 8160,00	<input type="checkbox"/> CIENCIAS SOCIALES	¢ 12 240,00	<input type="checkbox"/> LENGUAS MODERNAS	¢ 8 160,00
<input type="checkbox"/> ANUARIO DE ESTUDIOS CENTROAMERICANOS	¢ 4 080,00	<input type="checkbox"/> DIÁLOGOS	¢ 8 160,00	<input type="checkbox"/> MATEMÁTICA: TEORÍA Y APLICACIONES	¢ 8 160,00
<input type="checkbox"/> BIOLOGÍA TROPICAL	¢ 12 240,00	<input type="checkbox"/> FILOLOGÍA Y LINGÜÍSTICA	¢ 8 160,00		
<input type="checkbox"/> CIENCIAS ECONÓMICAS	¢ 8 160,00	<input type="checkbox"/> FILOSOFÍA	¢ 12 240,00		

Los precios incluyen el 2% de Impuesto al Valor Agregado

Precios internacionales / International prices

América Latina, Asia y África US\$ 20,40

Resto del mundo US\$ 71,40

Excepto Biología Tropical y Ciencias Sociales US\$ 102,00

Filosofía US\$ 91,80

Los precios incluyen el 2% de Impuesto al Valor Agregado

**FAVOR HACER SU PAGO A NOMBRE DE: • PLEASE MAKE CHECK PAYABLE:
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

www.editorial.ucr.ac.cr

Esta revista se terminó de imprimir en la
Sección de Impresión del SIEDIN, en diciembre 2022.

Universidad de Costa Rica
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

Revista semestral de Ciencias Agrícolas de la
Universidad de Costa Rica,
El Colegio de Ingenieros Agrónomos,
y el Ministerio de Agricultura y Ganadería

DIRECTOR

Nevio Bonilla Morales
Ministerio de Agricultura y Ganadería
San José, Costa Rica.

EDITORA

Silvia Elena Arce Quesada
Escuela de Economía Agrícola y Agronegocios
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

ASISTENTE EDITORIAL

Rosibel Serrano Gómez
Centro de Investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

PORTADA

En relación con el artículo “Retorno potencial
de nutrientes vía hojarasca foliar en sistemas
silvopastoriles en el norte de Colombia” de
Martínez-Atencia *et al.*



Los miembros del Consejo Editorial y el Consejo Editorial
Asesor Internacional realizan un arbitraje permanente de los
trabajos publicados en la Revista Agronomía Costarricense.

CONSEJO EDITORIAL

Floria Bertsch Hernández
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
Elizabeth Arnáez Serrano
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
Fernando Mojica Betancur
Colegio de Ingenieros Agrónomos. Costa Rica.
Primo Luis Chavarría
Colegio de Ingenieros Agrónomos. Costa Rica.
Jorge Alberto Elizondo Salazar
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
Mario Villatoro Sánchez
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

CONSEJO EDITORIAL ASESOR INTERNACIONAL

Aixa Ofelia Rivero Guerra
European Centre for Applied Statistics S. L., Spain
Alcido Elenor Wander
Embrapa Rice and Beans, Brasil
André Mendes Jorge
Universidade Estadual Paulista – UNESP, Brasil
Beatriz Irene Eibl
Universidad Nacional de Misiones, Argentina
Danilo Pezo
Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE), Perú
Francisco Paulo Chaimsohn
Instituto Agronômico do Paraná, Brasil
Guadalupe Valdovinos Ponce
Colegio de Postgraduados, México
Gustavo J. Lascano
Clemson University, USA
Héctor Horacio Murcia Cabra
Universidad de Santo Tomás (USTA), Colombia
Héctor Mario Andrade Montemayor
Universidad Autónoma de Querétaro, México
Hugo Antonio Tobías Vásquez
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala
Jorge Etchevers Barra
Colegio de Posgraduados, México
Jorge Hernán Chiriboga Pareja
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Brasil
Laura Berta Reyes Sánchez
Universidad Nacional Autónoma de México, México
Martha Nascimento Castro
Faculdade Araguaia, Brasil
Mónica Matilde Barbazán Pacheco
Universidad de la República, Uruguay
Olegario Muñiz Ugarte
Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura (MINAG), Cuba
Patrice Cannavo
Agocampus Ouest, Francia
Renato de Mello Prado
Universidade Estadual Paulista–UNESP, Brasil
Rogelio Nogales Vargas-Machuca
Estación Experimental del Zaidín, España
Raúl E. Jaramillo Velastegui
International Plant Nutrition Institute, Ecuador

Revista Agronomía Costarricense / Centro de Investigaciones Agronómicas.

Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Teléfono 2511 2080, fax 2234 1627. Correo electrónico: rac.cia@ucr.ac.cr

Contents

Scientific papers

- 1- Potential return of nutrients by leaf litter in silvopastoral systems in Northern Colombia.
*Judith Martínez-Atencia, Nelson Osorio-Vega, Juan León-Peláez, Yasmín Cajas-Girón,
José Contreras-Santos and Emel Berrío-Guzman* 9-24
- 2- Evaluation of a biological nematicide and a root biostimulant on *Meloidogyne
exigua* in coffee in Naranjo, Costa Rica.
Andrea Quirós-Castro and Walter Peraza-Padilla 25-36
- 3- Morphophysiological and productive behavior of hydroponic sweet pepper in greenhouse
with different fertigation management strategies.
Freddy Soto-Bravo and Josué Isaac Monge-Palma 37-57
- 4- Evaluation of pre-emergent herbicides for weed control in sweet potato.
Franklin Herrera-Murillo and Grettel Picado-Arroyo 59-71
- 5- Agronomic behavior grafts of watermelon in Puerto Cayo in Ecuador.
*Julio Gabriel-Ortega, Jackson Medranda-Barre, Washington Narváez-Campana,
Fernando Ayón-Villao and Alfredo Castro-Landín* 73-86

Technical notes

- 6- Diagnosis of the use of antibiotics in tomato producing regions in Costa Rica.
Mónica Blanco-Meneses, Oscar Castro-Zúñiga and Anny Calderón-Abarca 87-99
- 7- Effect of agricultural tractor axle load balancing on tillage efficiency and the soil physical
and mechanical properties of a vertisol.
Karolina Villagra-Mendoza, Daniela Brenes-Cano and Natalia Gómez-Calderón 111-121
- 8- Maize productivity (Diamantes 8843) under different planting densities and potassium doses.
*Cesar Urbina-Briceño, Jorge Claudio Vargas-Rojas, Edgar V. Vega-Villalobos,
Alfredo Alvarado-Hernández, Gilberto Cabalceta-Aguilar and Gabriel Garbanzo-León* 123-134

Recent publications

- 9- Soils of Central America.
Alfredo Alvarado-Hernández 135