

SIEMBRA

Facultad de Ciencias Agrícolas

Universidad Central del Ecuador / Año 2020



Volumen 7, Número 2 / ISSN Impresa: 1390-8928 / ISSN Electrónica 2477-8850





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

Rector: Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda, Ph.D.
Vicerrector Académico y de Posgrado: Dra. María Augusta Espín, Ph.D.
Vicerrector de Investigación, Doctorados e Innovación: Dra. María Mercedes Gavilánez, Ph.D.
Vicerrector Administrativo y Financiero: Econ. Marco Posso Zumárraga.



FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Decano: Antonio Gaybor Secaira, M.Sc.
Vicedecano: Carlos M. Nieto Cabrera, Ph.D.

SIEMBRA

Volumen 7-Año 2020 / ISSN Impresa: 1390-8928 / ISSN Electrónica 2477-8850

Director Editorial

Xavier Lastra Bravo, Ph.D., Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Comité Editorial

Víctor Hugo Abril, Ph.D., ESPE-Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador

https://www.researchgate.net/profile/Victor_Hugo_Abril_Porras

Matías Alejandro Álamo, M.Sc., Universidad Nacional del Sur, Argentina,

Guido Fernando Botta, Ph.D., Universidad de Buenos Aires, Argentina

<https://orcid.org/0000-0002-6302-921X>

Roberto Bustos Cara, Ph.D., Universidad Nacional del Sur, Argentina

<https://orcid.org/0000-0001-9205-8792>

Enrique Cabanilla Vásquez, Ph.D., Universidad Central del Ecuador, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-2853-291X>

Patricio Salvador Castro Quezada, Ph.D., Universidad de Cuenca, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-2366-2256>

Galo Mario Caviedes Cepeda, Ph.D., Universidad San Francisco de Quito, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-0450-4017>

Patricia Ercolani, Ph.D., Universidad Nacional del Sur, Argentina

<https://ri.conicet.gov.ar/author/SI52578>

José Espinosa Marroquín, Ph.D., Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Emilio Galdeano Gómez, Ph.D., Universidad de Almería, España

<https://orcid.org/0000-0001-5414-4331>

Edison Molina Velásquez, Ph.D., Universidad Central del Ecuador, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-7702-5079>

Juan Ignacio Pulido Fernandez, Ph.D. Universidad de Jaén, España

<http://orcid.org/0000-0002-9019-726X>

José Ochoa Ochoa, Ph.D., Universidad Central del Ecuador, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-8037-6483>

Miguel Seguí Llinás, Ph.D., Universitat de les Illes Balears, España

<https://orcid.org/0000-0002-6182-4420>

Erica Schenkel, Ph.D., Universidad Nacional del Sur, Argentina

<https://orcid.org/0000-0002-5456-2119>

Alfredo Tolón Becerra, Ph.D., Universidad de Almería, España

<https://orcid.org/0000-0002-7420-3340>

José Fernando Vera Rebollo, Ph.D., Universidad de Alicante, España

<https://orcid.org/0000-0002-0576-0151>

Equipo técnico - Editorial Universitaria

Diseño y diagramación: Ing. Estefanía Alejandra Zumárraga Salgado

Corrector de pruebas: Jaime Marcelo Acuña Cifuentes

Fotografía: ROBINSKI

Suscripción, canje, donación y correspondencia

Universidad Central del Ecuador
Facultad de Ciencias Agrícolas,
Jerónimo Leiton y Av. La Gasca s/n.
Ciudadela Universitaria.
Código Postal 170521
Quito / Ecuador
Telf: +593 2 2556 885
Email: siembra.fag@uce.edu.ec

Siembra es el órgano de difusión científica de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador y publica con periodicidad semestral los resultados de investigaciones científicas y tecnológicas en el ámbito de las ciencias agronómicas y el turismo, así como temas relacionados con desarrollo rural, el espacio turístico y las ciencias pecuarias. Se reciben artículos inéditos ya sean originales o de revisión, así como reseñas bibliográficas y artículos de opinión. Los artículos publicados en *Siembra* son el resultado de un exhaustivo proceso de selección, el cual incluye al Comité Editorial en primera instancia y el arbitraje por pares (doble ciego), realizado por especialistas nacionales e internacionales.

CONTENIDO

Germán Santacruz de León, Eugenio Eliseo Santacruz de León <i>Evaluación del desempeño del riego por aspersión en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México</i>	1-13
Juan Carlos Caballero-Salinas, Sindy Guadalupe Ovando-Salinas, Erasmo Núñez-Ramos, Fabián Aguilar-Cruz <i>Sustratos alternativos para la producción de plántulas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.) en Chiapas</i>	14-21
Ricardo Montesdeoca Párraga, Karen Piloso Chávez, Taimy Hernández Sariago, Ileana Lemoine Yanes, Miriam Camejo Pupo, Gustavo Lorente González, Isnel Benítez Cortés, María García Garay <i>Evaluación de la calidad y la eficiencia tecnológica en la producción de queso semiduro Gouda</i>	22-31
Ángel Guillermo Félix Mendoza, Miriam Paola Ganchozo Lucas <i>Herramientas de planificación participativas para el desarrollo turístico comunitario. Caso de estudio.</i>	32-46
Rocío Noemí Guamán Guamán, Teodoro Xavier Desiderio Vera, Ángel Fabián Villavicencio Abril, Santiago Miguel Ulloa Cortázar, Edison Javier Romero Salguero <i>Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) utilizando cuatro híbridos</i>	47-56
Pedro Manuel Villa, Lina Sarmiento, Fermín Rada, Alice Cristina Rodrigues, Nelson Márquez, Wilmer Espinosa <i>Partition of biomass and nitrogen in a potato crop under three nitrogen fertilization treatments</i>	57-68
Iván Vinicio Jácome-Negrete¹, Henry Paúl Monar-Barragán^{2*} <i>Aves del sendero Cóndor Machay (cantón Rumiñahui, Pichincha-Ecuador): Evaluación de especies con valor para el aviturismo local</i>	69-92
Carlos Ernesto Aguilar Jiménez^{1*}, Alfredo Tolón Becerra², Franklin B. Martínez Aguilar³, José Manuel Febles González⁴, Héctor Vásquez Solís⁵, Juan Carlos López Hernández⁶. <i>Caracterización del banco de semillas de cuatro agroecosistemas de la Frailesca, Chiapas, México</i>	93-107

Evaluación del desempeño del riego por aspersión en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México

Assessment of irrigation sprinkler performance in banana growing lots in Chiapas, México

Germán Santacruz de León^{1*}, Eugenio Eliseo Santacruz de León²

¹ Programa “Agua y Sociedad”, El Colegio de San Luis, A.C., México.

 <http://orcid.org/0000-0001-5231-6355>

² Universidad Autónoma Chapingo, México.

 <http://orcid.org/0000-0002-3386-9533>

✉ Autor para correspondencia: german.santacruz@colsan.edu.mx

Resumen

Los objetivos de este trabajo fueron determinar las condiciones edáficas y estimar las necesidades hídricas del cultivo del banano (*Musa acuminata*, var. enano gigante) en la región del Soconusco, Chiapas, México; así como evaluar dos sistemas de riego por aspersión para ese cultivo. Para lograr esto se seleccionaron cuatro lotes de cinco hectáreas cada uno, y se colectaron una muestra de suelo por lote, y dos muestras de agua de riego. A las muestras de suelo y agua se les determinaron pH, textura (en suelo), cationes y aniones con métodos estandarizados. Se estimó la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite, y la evapotranspiración real por el método de Blaney-Criddle con lo que se obtuvieron los valores mensuales de requerimiento de riego. Además, se obtuvieron los Coeficientes de Uniformidad de Christiansen (CUc), de Uniformidad de Distribución (UD) y la Eficiencia de Aplicación (Ea) bajo condiciones normales de operación. Los resultados muestran que, en general, las condiciones edáficas (suelos franco y franco limosos) para el cultivo de banana son favorables, así mismo, la calidad del agua (CIS1) es adecuada y puede ser usada en cualquier tipo de suelo. La lámina de riego fue de 1.418,9 mm anuales. Los valores de CUc y UD para riego sobre el dosel fueron de 47,7 y 26,1, respectivamente, para el riego subfoliar los rangos fueron de 54,4-67,3 y 44,6-54,4, respectivamente, lo que permite concluir que las dos modalidades de riego no están dentro de los intervalos establecidos como aceptables.

Palabras clave: evaluación hidráulica, evaluación agronómica, riego por aspersión, banano, Chiapas.

Abstract

The aims of this work were identifying the edaphic conditions and estimate the water needs of Dwarf Giant Banana crop (*Musa acuminata* ‘Enano Gigante’) in the Soconusco region, Chiapas, México; as well as to assess two different irrigation sprinkler systems. To achieve this, four lots of five hectares each were selected. And, one soil sample per lot and two irrigation water samples were collected. The pH, texture (of soil), cations, and anions in soils and water samples were analyzed using standardized methods. The potential evapotranspiration was estimated by the Thornthwaite method and the real evapotranspiration by the Blaney-Criddle method, to establish the monthly values of irrigation requirements. Besides, the Christiansen Uniformity coefficient (CUc), Distribution Uniformity (UD), and the Applied efficiency (Ea) were obtained under normal operating conditions. The results showed that, in general, the edaphic conditions (Clay loam and Silty loam) for banana

cultivation were suitable. At the same, the water quality (CIS1) is suitable and can be used in any type of soil. The annual depth irrigation was 1,118.9 mm. The CUC and UC values for dosel irrigation were 47.7 and 26.1, respectively, and for subfoliar irrigation the ranges were 54.4-67.3 and 44.6-54.4, respectively. As conclusion, the two irrigation sprinkler systems are not within the established ranges as suitable.

Keywords: water assessment, agronomic evaluation, irrigation sprinkler, banana, Chiapas.

1. Introducción

Los objetivos de este trabajo fueron determinar las condiciones edáficas y estimar las necesidades hídricas del banano (*Musa aaa* cv. gran enano) en la región del Soconusco, Chiapas, así como evaluar dos sistemas de riego por aspersión para ese cultivo. Dicha zona es una de las principales productoras de banano en México, con aproximadamente 12.000 hectáreas bajo riego.

La producción agrícola requiere del conocimiento de las condiciones edáficas (Barrera *et al.*, 2020) y de las necesidades hídricas del cultivo en cuestión. En la región del Soconusco se tienen recomendaciones generales para el banano (Garrido-Ramírez *et al.*, 2011), pero existen pocos trabajos específicos en los que se aborden estas condiciones.

En diversas zonas productoras de banano se han efectuado estudios de las características físicas y químicas del suelo. De los mismos se desprende que el banano requiere suelos con texturas franco y franco arenoso, con pH de 5 a 7 (Araújo *et al.*, 2018; Cigales & Pérez, 2011; Crane & Balerdi, 1998; Rodríguez & Guerrero, 2002; Sattler & Marcelino, 1983; Soto, 1991). La calidad del agua de riego puede impactar en los niveles de producción del banano, su mala calidad puede provocar reducciones en la infiltración, así como la presencia de sales (Araújo *et al.*, 2018). Por otra parte, se ha estimado, con diferentes métodos, las necesidades hídricas del cultivo, los valores encontrados van desde 2,5 mm día⁻¹ hasta 8 mm día⁻¹ (Araújo *et al.*, 2018; Bassoi *et al.*, 2004; Cigales & Pérez, 2011; Liu *et al.*, 2009; Salazar-Morera, 2019; Shah *et al.*, 2017). En general, para cubrir esa demanda de agua se requiere de la aplicación de riego.

En el Soconusco, desde los años 1990 se emplean métodos presurizados. En sus inicios fueron de aspersión sobre el dosel del cultivo, los cuales utilizan una red de tuberías permanentes de policloruro de vi-

nilo (PVC), mediante aspersores con gastos que van desde los 2,77 lps a 27,7 lps y que trabajan a presiones de 3,5 a 6,5 kg cm⁻², con un diámetro de humedecimiento de 60 m a 120 m y con intensidades de aplicación de 10,0 mm h⁻¹ a 15,0 mm h⁻¹. Esos métodos se han sustituido por el de aspersión subfoliar, con aspersores con ángulo bajo de 12° y boquillas de 2,4 mm, con un diámetro de mojado que va de 6,0 m a 15,0 m, son permanentes y se colocan sobre elevadores cuya altura va de 40 cm a 80 cm sobre el nivel del suelo.

Los métodos de riego por aspersión para el banano en el Soconusco no son sometidos a evaluación hidráulica, de manera que han sido instalados y operados inadecuadamente, lo que puede provocar desperdicios de agua y energía, causar daño al cultivo y, como consecuencia, una reducción en los ingresos del agricultor.

La evaluación de un sistema de riego, permite determinar, a partir de parámetros cuantitativos, problemas en algún elemento del mismo y determinar la forma en que se está aplicando el riego (Martínez, 1991, Mansour *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019). La uniformidad de aplicación es el parámetro más importante en la evaluación de un sistema de riego, el cual depende del tipo de aspersor, de las condiciones de operación, así como del espaciamiento entre regantes y aspersores (Dieter *et al.*, 2014; Mohamed *et al.*, 2019; Tamagi *et al.*, 2018). En la bibliografía especializada existen pocos reportes sobre evaluación de sistemas de riego por aspersión para el cultivo del banano bajo condiciones normales de operación; se cuenta con estudios en Ecuador (Caicedo *et al.*, 2015), en Cuba (Rodríguez *et al.*, 2007).

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en una finca platanera de veinte hectáreas, ubicada en el municipio de Suchiate, Soconusco, Chiapas (Figura 1). Esta superficie se dividió en cuatro lotes de cinco hectáreas cada uno.



Figura 1. Localización del Soconusco, Chiapas. (Fuente: ECOSUR, 1999).

Considerando que el sistema radical del banano tiene su mayor actividad dentro de los primeros 60 cm de profundidad del suelo, se colectaron muestras para las profundidades 0-30 cm y 30-60 cm, es decir, dos muestras por lote, observando las técnicas estandarizadas (Chapman *et al.*, 1973; Del Valle, 1992; Pulido y Del Valle, 1985).

Las determinaciones físico-químicas del suelo se realizaron en el Laboratorio de Agua y Suelo del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, considerando las técnicas descritas en Aguilera & Martínez (1986), Del Valle (1992) Pulido & Del Valle (1985). La textura se determinó con el hidrómetro de Bouyoucos. La capacidad de campo con el método de la olla de presión y el punto de marchitamiento permanente con el método de la membrana de presión a 15,45 kg cm⁻². El pH se determinó con el método del potenciómetro y la conductividad eléctrica se estableció con el puente de Wheastone. La densidad aparente se determinó por el método de campo utilizando plástico, y para obtener la velocidad de infiltración se realizaron tres pruebas de infiltración con el método de doble cilindro. El modelo matemático para correlacionar los

valores de infiltración y estimar la velocidad de infiltración acumulada que se empleó fue el desarrollado por Kostiakov-Lewis (Aguilera & Martínez, 1986).

Las dos muestras de agua colectadas se analizaron en el Laboratorio de Agua y Suelo del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo. Se determinó la conductividad eléctrica, pH, cationes y aniones, las técnicas utilizadas se describen en Del Valle (1992) y en Pulido & Del Valle (1985). Los problemas de calidad del agua de riego son salinidad, infiltración del agua, toxicidad de iones específicos, entre otros (Ayers & Wescot, 1987). Palacios & Aceves (1970) han conjuntado ocho índices, los cuales dan un mejor detalle de la calidad del agua en comparación con los índices que sólo toman en cuenta la relación de absorción de sodio (RAS) y la conductividad eléctrica (CE). Para llevar a cabo la clasificación, con respecto a su uso para riego se siguieron los criterios propuestos por Aceves (2011), así como Palacios & Aceves (1970).

En la práctica de la agricultura de riego se distinguen dos grupos principales de métodos para estimar el uso de agua por los cultivos en su ciclo

de desarrollo: a) los métodos basados en la medición directa del uso de agua total en condiciones de campo como resultado de la determinación de todos los componentes del balance hídrico en la capa de suelo o en lisímetros y, b) los indirectos, basados en la determinación por medios experimentales de la interrelación entre la evapotranspiración de los cultivos y las condiciones climáticas, meteorológicas y agrícolas expresadas en forma de distintos índices y coeficientes (Aidarov *et al.*, 1985; Allen *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2009; Tijerina, 1999). En los segundos se emplea un coeficiente de cultivo (kc) que representa el uso de agua (en porcentaje del ciclo total) en función del desarrollo del cultivo en cuestión.

En tal sentido, aquí se procedió a estimar las necesidades hídricas del cultivo mediante métodos indirectos, considerando que la siembra del cultivo se realiza en enero. Se emplearon las variables meteorológicas de la estación López Rayón, la cual se ubica a 14° 37' 30" de latitud norte y 92° 11' 20" de longitud oeste y a una altura sobre el nivel del mar de 7,0 m. En esa estación sólo se registran valores de evaporación, precipitación y temperatura, por lo que se emplea el método de Thornthwaite y el método de Blaney-Criddle modificado por Phelan, considerando que este método está recomendado para áreas en las que sólo se tienen datos de temperatura del aire y para periodos de un mes o mayores (Allen *et al.*, 2006). Para estimar la evapotranspiración se usó el coeficiente de cultivo (kc) (Araújo *et al.*, 2018; Da Silva *et al.*, 2009; Doorenbos & Pruitt; 1980; Mansour *et al.*, 2019).

Por otro lado, la evaluación hidráulica se fundamenta principalmente en la determinación de la uniformidad de aplicación del agua, la cual puede ser afectada por el espaciamiento de aspersores, el tipo y operación del mismo, tamaño y tipo de boquilla, velocidad y dirección del viento. Existe una gran variedad de ecuaciones que permiten, a partir de mediciones en campo, estimar la uniformidad de aplicación, en este trabajo se determinó el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUc), el Coeficiente de Uniformidad de Distribución (CUD) (Dieter *et al.*, 2014; Mansour *et al.*, 2019; Mohamed *et al.*, 2019). Adicionalmente se determinaron dos parámetros: uno que cuantifica la cantidad de agua emitida por el aspersor y que no llega al suelo, y el otro conocido como eficiencia de aplicación intrínseca del sistema, que mide la relación existente entre la lámina media captada

por los pluviómetros y la lámina media aplicada (Martínez, 1991).

Se efectuaron dos pruebas para el riego por aspersión sobre el dosel: una en presencia del cultivo y la otra en ausencia de éste. Se realizaron dos pruebas para el riego por aspersión subfoliar en presencia de cultivo, variando la separación entre aspersores y entre líneas regantes.

Para el riego por aspersión sobre el dosel se colocaron dos líneas transversales de pluviómetros. El número de pluviómetros por línea fue de 24 con una separación entre uno y otro de 4,0 metros. El aspersor analizado tiene un diámetro de boquilla de 26,7 mm, con una presión de operación de 4,3 kg cm⁻² y con un tiempo de prueba de dos horas.

En el caso del riego por aspersión subfoliar, cuyos aspersores tienen un arreglo triangular con una separación entre regantes (Sr) de 11,0 m y una separación entre aspersores (Sa) de 11,25 m, se usaron 35 pluviómetros con una separación lineal de tres metros entre uno y otro. El aspersor analizado tiene un diámetro de boquilla de 2,4 mm, con una presión de operación de 3,2 kg cm⁻² y con un tiempo de prueba de dos horas, la altura del elevador fue de 40 cm. En este caso se consideraron cinco aspersores. Los resultados de estas pruebas se compararon con la reportada para diferentes regiones en las que se emplea el riego por aspersión y en las que, de manera particular, se utiliza para el riego del banano.

3. Resultados y discusión

El banano se cultiva en una gran variedad de suelos, pero eso no significa que todos sean aptos para su cultivo, ya que el suelo debe cumplir, además de su función de apoyo y proveedor de espacio vital, con determinados requisitos de carácter físico y químico indispensables para un crecimiento y desarrollo normal de la planta (Simmonds, 1973). En diversas investigaciones se ha demostrado que las texturas más recomendables para obtener una buena cosecha económica de banano son las franco-arenosas muy finas y finas hasta franco-arcillosas (Crane & Balerdi, 1998; Eid & Maklad, 2019; Rodríguez & Guerrero, 2002; Sattler & Marcelino, 1983; Soto, 1991). La clasificación textural aquí encontrada va desde francos hasta arcillosas, de manera que sólo los lotes 1, 2 y 3 cumplen con este requisito (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación textural del suelo con cultivo de banano

Localización	Profundidad (cm)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clasificación textural
Lote 1	0-30	36,76	26,52	36,72	Franco
	30-60	34,76	32,52	32,72	Franco-arcilloso
Lote 2	0-30	35,48	28,52	36,00	Franco
	30-60	18,76	40,52	40,72	Arcillo-limoso
Lote 3	0-30	19,12	36,52	44,36	Franco-arcillo-limoso
	30-60	18,76	50,52	30,72	Arcilloso
Lote 4	0-30	12,76	45,52	44,72	Arcillo-limoso
	30-60	10,76	52,52	36,72	Arcillosos

La densidad aparente del suelo de todos los lotes estudiados queda comprendida dentro del intervalo recomendado para el cultivo del banano, va de $1,15 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ (referencias bibliográficas). Por otro lado, puede verse que la mayor capacidad de almacenamiento (cm) corresponde a los primeros

30 cm del lote 4 (Tabla 2), el cual tiene una clasificación textural arcillo-limosa, sin embargo, esa condición textural permite inferir que ese perfil retiene con mayor fuerza al agua, además debe recordarse que esta textura no es recomendable para el cultivo del banano.

Tabla 2. Densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitamiento permanente y capacidad de almacenamiento en un suelo con cultivo de banano

Localización	Profundidad (cm)	Da (g cm^{-3})	C.C. (%)	P.M.P. (%)	Capacidad de almacenamiento (cm)
Lote 1	0-30	1,33	29,31	12,82	6,6
	30-60	1,30	29,42	15,27	5,5
Lote 2	0-30	1,40	33,30	16,63	7,0
	30-60	1,35	39,41	21,05	7,4
Lote 3	0-30	1,31	35,98	17,54	7,2
	30-60	1,27	39,11	24,54	5,5
Lote 4	0-30	1,25	42,48	21,78	7,8
	30-60	1,15	41,77	25,75	5,5

Conocer los valores de infiltración básica es fundamental en el diseño y operación de los sistemas de riego. En este caso los resultados indican que el suelo tiene un grado de permeabilidad media, lo que puede provocar problemas de drenaje, sobre todo en el lote 4 (Tabla

3), un suelo presenta un grado medio de permeabilidad al agua cuando la infiltración básica de éste se encuentra entre 3,8 cm h⁻¹ y 7,4 cm h⁻¹, los valores encontrados en una plantación de banana en Costa Rica están entre 0,5 cm h⁻¹ y 3,0 cm h⁻¹ (Salazar-Morera, 2019).

Tabla 3. Infiltración básica en un suelo con cultivo de banana

Localización	Ib (cm h ⁻¹)
Lote 1	6,4
Lote 2	5,58
Lote 4	4,27

El pH del suelo estudiado es adecuado para el cultivo comercial del banana (Tabla 4), sólo el lote 2 rebasa los valores guía que van de 5 a 7 (Álvarez, 1981; Crane & Balerdi, 1998; Doorenbos & Kassam, 1980; Rodríguez & Guerrero, 2002; Sattler & Marcelino, 1983). En este caso se debe tener cuidado con la lámina de riego aplicada y sobre todo con la calidad del agua, además se debe tener precaución con el tipo y la cantidad de fertilizantes aplicados.

En lo que respecta a la conductividad eléctrica (CE) del suelo, se ha mostrado que el banana es muy

sensible a la salinidad, necesitando valores inferiores a 1 dS m⁻¹ para lograr un buen crecimiento (Crane & Balerdi, 1998; Doorenbos & Kassam, 1980) y se recomienda su cultivo en suelos con valores de CE inferiores a 2 dSm⁻¹ y en ningún caso superiores a 6 dS m⁻¹. Los lotes 1 y 3, no presentan problemas, sin embargo, los lotes 2 y 4, sobre todo en su porción de 30-60 cm, pueden presentar problemas con respecto a este parámetro, debe tenerse cuidado con la lámina de riego aplicada y sobre todo con la calidad del agua.

Tabla 4. Valores de pH y C.E. en un suelo con cultivo de banana

Localización	Profundidad (cm)	pH	C.E. (dS m ⁻¹)
Lote 1	0-30	7,08	0,190
	30-60	7,67	0,330
Lote 2	0-30	7,8	0,430
	30-60	8,0	0,860
Lote 3	0-30	7,5	0,280
	30-60	7,54	0,350
Lote 4	0-30	7,72	0,500
	30-60	7,26	0,800

La fuente de agua es de origen superficial y corresponde a una derivación en la margen derecha del río Suchiate. Los parámetros de calidad del agua (Tabla 5) permiten clasificarla como C1-S1, es decir, bajo peligro de salinidad y bajo peligro de sodio. Así, se puede decir que es adecuada para su uso en el riego del cultivo del banano. En el caso del muestreo dos, la relación de absorción de sodio (RAS) fue de 0,58. La salinidad potencial (SP) fue de 0,415 meq L⁻¹, para el caso del muestreo 2, lo que la clasifica como un agua de buena calidad para riego. El carbonato de sodio residual (CSR) presenta un valor de

0,0 meq L⁻¹. La salinidad efectiva (SE) es de 0,45 meq L⁻¹. El contenido de cloruros es de 0,39 meq L⁻¹. En Canarias se encontró que el agua de riego en plataneras presentó CE del orden de 0,470 dS m⁻¹, valor considerado como normal para el cultivo del banano, en Brasil se obtuvieron valores de 1,12 a 1,25 dS m⁻¹ (Araújo *et al.*, 2018; Vargas-Contreras & Rodríguez- Rodríguez, 2000). De manera que se puede decir que el agua de riego es de buena calidad y puede usarse en cualquier tipo de suelo con poca probabilidad de que se desarrolle salinidad y un bajo peligro de alcalinidad.

Tabla 5. Calidad química del agua en el río Suchiate

Muestreo	T (°C)	pH	C.E. (dS m ⁻¹)	Cationes (meq L ⁻¹)			Aniones (meq L ⁻¹)			
				Ca	Mg	Na	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄
1	30	7,86	0,069	0,29	0,41	2,0	1,3	0,4	0,90	0,09
2	28	6,82	0,140	0,4	0,5	0,39	0,90	0,00	0,39	0,05

En relación con la evapotranspiración potencial (ETP), el mes de mayo presenta el máximo valor con

206 mm (Tabla 6), que es superior a los calculados por varios métodos en otras regiones del mundo.

Tabla 6. Cálculo de la evapotranspiración potencial del banano (gran enano) por el método de Thornthwaite. Soconusco, Chiapas.

Mes	Duración (días)	T (°C)	$\left[\frac{T}{5}\right]^{1.514}$	a	ETP (cm)	Duración del fotoperiodo	ETP (ajustado) (cm)
Enero	31	27,3	13,06	4,4	14,67	0,97	14,23
Febrero	28	27,4	13,14	4,4	14,90	0,91	13,56
Marzo	31	27,9	13,50	4,4	16,14	1,03	16,62
Abril	30	28,9	14,24	4,4	18,85	1,04	19,60
Mayo	31	28,8	14,17	4,4	18,56	1,11	20,60
Junio	30	28,6	14,02	4,4	18,00	1,08	19,44
Julio	31	28,4	13,87	4,4	17,45	1,12	19,54
Agosto	31	28,1	13,65	4,4	16,66	1,08	17,99
Septiembre	30	27,9	13,5	4,4	16,14	1,02	16,46
Octubre	31	28,6	14,02	4,4	18,00	1,01	18,18
Noviembre	30	28,7	14,10	4,4	18,28	0,95	17,37
Diciembre	31	28,2	13,72	4,4	16,92	0,97	16,41
Suma	365		164,99		204,57		210

Los valores estimados de evapotranspiración real (ETR), permiten observar que ésta alcanza los valores máximos en el mes de octubre con 262,4 mm

(Tabla 7). Los meses de agosto a octubre son el período en el que la planta presenta una mayor actividad fotosintética.

Tabla 7. Cálculo de la evapotranspiración real del banano (gran enano) por el método de Blaney-Criddle modificado por Phelan. Soconusco, Chiapas.

Mes	T (°C)	$\frac{(T+17,8)}{21,8}$	P (%)	f (cm)	kt	f x kt	kc	ETR (cm)	ETR' (cm)	ETR (acumulado) (cm)
Enero	27,3	2,07	7,94	16,43	1,08	17,74	0,4	7,10	8,52	8,52
Febrero	27,4	2,07	7,37	15,28	1,09	16,66	0,4	6,66	8,00	16,52
Marzo	27,9	2,10	8,44	17,69	1,10	19,46	0,45	8,76	10,52	27,03
Abril	28,9	2,14	8,45	18,10	1,14	20,64	0,50	10,32	12,39	39,42
Mayo	28,8	2,14	8,98	19,20	1,14	21,88	0,60	13,13	15,76	55,19
Junio	28,6	2,13	8,80	18,73	1,13	21,17	0,70	14,82	17,79	72,98
Julio	28,4	2,12	9,03	19,14	1,12	21,43	0,85	18,22	21,87	94,85
Agosto	28,1	2,11	8,83	18,59	1,11	20,64	1,0	20,64	24,78	119,63
Septiembre	27,9	2,10	8,27	17,34	1,11	19,24	1,10	21,17	25,42	145,04
Octubre	28,6	2,13	8,26	17,58	1,13	19,87	1,10	21,85	26,24	171,28
Noviembre	28,7	2,13	7,75	16,53	1,13	18,68	0,90	16,81	20,19	191,46
Diciembre	28,2	2,11	7,88	16,63	1,12	18,62	0,80	14,90	17,89	209,35
Suma				211,23				174,37	209,35	

El máximo requerimiento de riego se presenta en el mes de noviembre con un valor de 5,87 mm día⁻¹ y el mínimo se presenta en el mes de mayo con un valor de 2,03 mm día⁻¹. Bajo las condiciones analizadas, el cultivo del banano requiere de riego en todos los meses del año (Tabla 8). Por lo tanto, en una plantación con una densidad de siembra de 1.800 plantas ha⁻¹, los requerimientos hídricos mensuales son alrededor de 1.350 m³ ha⁻¹. En El Salvador se estima que un nivel de precipitación de 150 a 180 mm por mes es

suficiente para cubrir los requerimientos de agua de la planta, sin embargo, se considera conveniente proveer mediante riego esta lámina de agua en la época seca (Rodríguez & Guerrero, 2002). En Nicaragua la falta de riego en la mayoría de las unidades de producción provoca dos estaciones bien marcadas en la producción de banano (IICA & JICA, 2004). En Honduras se encontró que el racimo de banano (variedad gran enano) aumentaba de peso cuando se empleaban láminas de riego por arriba de los 66 mm semanales (Arscott

et al., 1965) y en Venezuela se estimó que con 8,5 mm día⁻¹ se tienen rendimientos aceptables (Wagner & Haddad, 1985). En la Florida (USA), se estimó que

el cultivo del banano requiere de 102 a 105 mm de agua por mes para su desarrollo normal y producción de frutos (Crane & Balardi, 1998).

Tabla 8. Cálculo del requerimiento de riego mensual del banano (gran enano). Región del Soconusco, Chiapas.

Mes	ETR* (cm)	ETR (acumulado) (cm)	Precipitación pluvial (mm)	Precipitación pluvial efectiva (mm) ¹	Requerimiento de riego mensual (mm)	Requerimiento de riego acumulado (mm)
Enero	8,52	8,52	0,0	0,00	85,20	85,2
Febrero	8,00	16,52	2,7	2,565	77,43	162,63
Marzo	10,52	27,03	11,28	10,716	94,44	257,06
Abril	12,39	39,42	33,94	31,790	92,09	349,16
Mayo	15,76	55,19	126,7	94,68	62,96	412,12
Junio	17,79	72,98	179,82	101,99	75,89	488,01
Julio	21,87	94,85	206,1	103,3	115,44	603,45
Agosto	24,78	119,63	172,4	101,62	146,15	749,60
Septiembre	25,42	145,04	253,2	105,66	148,49	898,09
Octubre	26,24	171,28	124,9	93,71	168,67	1.066,76
Noviembre	20,19	191,46	27,93	25,55	*176,30	1.243,06
Diciembre	17,89	209,35	3,2	3,040	175,83	1.418,90
<i>Suma</i>	<i>209,35</i>				<i>1.418,90</i>	

Diversos estudios demuestran que la falta de agua en el periodo de floración limita el desarrollo de las hojas y el número de frutos, del mismo modo en el periodo de formación del racimo, afecta el tamaño de los frutos y su calidad comercial se reduce (Doorenbos & Kassam, 1980). Eso permite ver la importancia del riego en el banano y, por lo tanto, asegurar que el agua aplicada llegue al suelo y a las plantas. De aquí la importancia de someter a una constante evaluación hidráulica a los diferentes métodos de riego.

En relación con la evaluación hidráulica del riego por aspersión sobre el dosel, puede verse que la uniformidad de aplicación de la lámina de riego se reduce en un 66,8% en presencia del cultivo. Los CU

obtenidos en presencia de cultivo fueron de 41,73% y el CUc resultó ser de 71,36 en ausencia de cultivo (Tabla 9). En riego por aspersión para otros cultivos, como el algodón, se encontraron valores de uniformidad de distribución que van de 70% a 73% y de CUc que van de 70,12% a 90,06% (Buendía *et al.*, 2004; Dieter *et al.*, 2014). El valor de CUc establecido como mínimo para cultivos comerciales de alta rentabilidad debe ser mayor a 80% (ASCE, 1978; Christiansen 1942; Puppo & Currie, 2001; Tarjuelo, 1999; Tarjuelo *et al.*, 1999). La pérdida de agua es considerable tanto en presencia como en ausencia de cultivo, esto genera una baja eficiencia de aplicación en la lámina de riego, esta última resultó mayor en presencia de cultivo.

Tabla 9. Evaluación hidráulica del riego por aspersión sobre el dosel

Parámetro (%)	Con cultivo	Sin cultivo
CUC	47,73	71,36
U _d	26,11	50,81
Pa	40,02	43,48
Ea	59,97	56,51

Los resultados de las pruebas para el riego por aspersión subfoliar muestran que, a medida que se aumenta la separación entre líneas regantes y entre aspersores, la uniformidad de aplicación se reduce en forma sensible (Tabla 10). En ninguna de las tres separaciones entre regantes y aspersores analizadas, tanto en presencia como en ausencia del cultivo, se cumple con los valores límites establecidos para una evaluación.

En una plantación de banano en Ecuador se encontraron valores de CUC y UD mayores a 95%

y 93%, respectivamente, aunque en esa investigación se señala que ello no garantiza que la lámina aplicada esté humedeciendo adecuadamente la profundidad requerida por el cultivo y, por tanto, esté bien regada (Caicedo *et al.*, 2015). En Cuba se determinaron CUC de 71% para un determinado tipo de aspersor con separaciones que van de 6,75 m entre laterales y 7 m entre aspersores en una disposición triangular (Rodríguez *et al.*, 2007). En una plantación en Colombia se determinaron valores de CUC que van desde 35% a 70 % (Guzmán, 2010).

Tabla 10. Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar

Parámetro (%)	Con cultivo		Sin cultivo Sa= 11,25 m Sr= 11,25 m
	Prueba 1 Sa= 11,25 m Sr= 11,00 m	Prueba 2 Sa= 12,5 m Sr= 11,25 m	
CUC	67,35	54,45	60,1
U _d	54,43	44,66	44,72
Pa	45,57	58,14	60,91
Ea	54,42	41,85	39,08

En evaluaciones de sistemas de riego en palma aceitera utilizando aspersores giratorios, se encontraron eficiencias muy bajas, con coeficientes de uniformidad entre 55% y 65%, uniformidad de distribución entre 40% y 50% y eficiencia de aplicación entre 30% y 40% (González, 2000), valores similares se encontraron para el mismo cultivo en Argentina (Barrios *et al.*, 2003).

Al comparar los resultados para las dos modalidades de riego por aspersión, se observa que la unifor-

midad de aplicación mediante el riego por aspersión subfoliar es mucho mayor que en el riego por aspersión sobre el follaje, en presencia del cultivo. Por lo que, si se desea emplear el sistema de riego por aspersión para el cultivo del banano, a pesar de los resultados obtenidos, este debe ser el de aspersión subfoliar. Es recomendable reducir la separación entre aspersores y líneas regantes, aunque esto impactaría en los costos de inversión.

Por otro lado, los resultados permiten inferir que es necesario tener presente que la uniformidad

de aplicación en lotes comerciales (no en lotes experimentales) depende de cómo se diseñó e instaló el sistema de riego, de las condiciones bajo las cuales opera y del manejo (lavado de equipos y eliminación de la obstrucción de las boquillas de los aspersores) que se le dé al sistema.

Conclusiones

En general, las condiciones edáficas cumplen con los requerimientos del cultivo del banano, se requiere poner adecuada atención a las de los lotes 2 y 4 que presentan suelos arcillosos.

La calidad del agua de riego, clasificada como C1S1 y con niveles de sodio (RAS) permisibles,

cumple con los valores óptimos recomendados para su uso en el riego del cultivo del banano.

En la zona estudiada, el banano (variedad gran enano) presenta altas tasas de evapotranspiración mensual, del orden de los 26 cm y requiere de riego durante los doce meses del año. El requerimiento de riego promedio anual es de 1.418,9 mm anuales.

La evaluación hidráulica demostró la baja eficiencia de aplicación de los sistemas de riego por aspersión evaluados. De una lámina de riego de 100 mm, sólo en el mejor de los casos, 54 mm llegan al suelo, ello para la menor separación entre aspersores y regantes, en presencia de cultivo. Así se concluye que, en caso de optar por el riego por aspersión para el banano, el de aspersión subfoliar es el que mejores resultados presenta.

Referencias

- Aceves-Navarro E. (2011). *El ensalitramiento de los suelos bajo riego*. Colegio de Postgraduados. México: Mundi Prensa.
- Aguilera, M., & Martínez, R. (1986). *Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera* (3ra. ed.). Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Aidarov, P., Golovánov, I., & Mamáev, M. (1985). *El riego*. Moscú: Ed. Mir.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO.
- Álvarez, F. (1981). *Cultivo de la platanera*. Madrid, España: MAE
- Araújo, J. J. D., Mendonca, V., Pereira, M. F. S., & Souza, M. D. F. (2018). Agronomic characteristics of the pacovan organic banana in irrigation systems in the Açurim valley. *Revista Caatinga*, 31(2), 370-378. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n213rc>
- Arscott, G., Bhangoo, S., & Karon, L. (1965). Irrigation investigation of the Giant Cavendish banana. I. Consumption of water applied to banana plantings in the upper, Aguan Valley, Honduras as influenced by temperature and humidity. *Tropical Agriculture*, 42, 139-144.
- ASCE - American Society of Civil Engineers. (1978). Describing irrigation efficiency and uniformity. On-farm Irrigation Committee of the Irrigation and Drainage Division of the ASCE. *Proceedings of the ASCE*, 104, IR1, 35-41.
- Ayers, R.S., & Wescot, D.W. (1987). *La calidad del agua en la agricultura*. Cuadernos de Riego y Drenaje No. 29. Roma: FAO.
- Barrera León, J., Barrezueta Unda, S., & García Batista, R. M. (2020). Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(1), 182-190.
- Barrios, R., Arteaga, A., Florentino, A., & Amaya, G. (2003). Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma aceitera. *UDO Agrícola*, 3(1), 39-46
- Bassoi, L. H., Teixeira, A. H. D. C., Lima Filho, J. M. P., Silva, E. E. G. D., Ramos, C. M. C., & Sedyama, G. C. (2004). Guidelines for irrigation scheduling of banana crop in São Francisco Valley, Brazil. II-Water consumption, crop coefficient, and physiological behavior. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(3), 464-467. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000300022>
- Buendía, J., Palacios, E., Chávez, J., & Rojas, B. (2004). Impacto del funcionamiento de los sis-

- temas de riego presurizados en la productividad de ocho cultivos, en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 38, 477-486
- Caicedo Camposano, O., Balmaseda Espinosa, C., & Proaño Saraguro, J. (2015). Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 38-43.
- Chapman, H. D., Pratt, P. F., Vanselow, A. P., Bradford, G. R., Whiting, L. D., & Contin, A. (1973). *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. México: Trillas.
- Christiansen, J. (1942). Hydraulics of sprinkling systems of irrigation. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 107, 221-239.
- Cigales, M., & Pérez, O. (2011). Variabilidad de suelos y requerimiento hídrico del cultivo de banano en una localidad del Pacífico de México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 15(3), 21-31.
- Crane, J. H., & Balerdi, C. F. (1998). *Los plátanos en Florida*. Gainesville: University of Florida.
- Da Silva, A. J. P., Coelho, E. F., Miranda, J. H. D., & Workman, S. R. (2009). Estimating water application efficiency for drip irrigation emitter patterns on banana. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(7), 730-737. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000700013>
- Del Valle, H. (1992). *Prácticas de relaciones agua-suelo-planta-atmósfera*. Chapingo, Texcoco, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Dieter, J., Sampaio, S. C., Vogel, G., Boas, M. A. V., Frigo, E. P., & Junior, A. M. (2014). Performance of lateral move type sprinkler irrigation system. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 12(3&4), 325-328. <https://doi.org/10.1234/4.2014.5406>
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1980). *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos* (No. 631.587 338.16). Roma: FAO.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. (1980). *Las necesidades de agua de los cultivos*. Roma: FAO.
- ECOSUR - El Colegio de la Frontera Sur (1999). *Agricultura integrada, ganadería y desarrollo rural de la región del Soconusco, Chiapas, México*. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. México: ECOSUR.
- Eid T., & Maklad, T. (2019). The effects of irrigation water amounts and spraying some amino acids on vegetative growth, fruit and yield of banana plants and water use efficiency under drip irrigation system in clay loam soils. 2(4), 1-32. <https://doi.org/10.21608/asajs.2019.52885>
- Garrido-Ramírez, E. R., Hernández-Gómez, E., & Noriega-Cantú, D. H. 2011. *Manual de producción de banano para la región del Soconusco. Estrategias para el manejo de la sigatoka negra*. Folleto para productores N° 10. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas.
- González, D. (2000). *Evaluación de tres sistemas de riego por aspersión en palma aceitera en las agropecuarias "El Zamuro" y "El Águila", estado Monagas*. Universidad de Oriente. Maturín, Monagas.
- Guzmán Gutiérrez, S. M. (2010). *Evaluación de la productividad del agua en el cultivo de banano (Musa Spp) para la región del Magdalena por medio de la variación de tres coeficientes de cultivo (kc)*. Universidad Nacional de Colombia.
- IICA & JICA, (2004). *Banano, cadena agroindustrial*. Nicaragua.
- Liu, H. J., Cohen, S., Tanny, J., Lemcoff, J. H., & Huang, G. (2008). Estimation of banana (*Musa sp.*) plant transpiration using a standard 20 cm pan in a greenhouse. *Irrigation and drainage systems*, 22(3-4), 311-323. <https://doi.org/10.1007/s10795-008-9058-2>
- Mansour, H. A., Abd El-Hady, M., Eldardiry, E. I., & Aziz, A. M. (2019). Wheat crop yield and water use as influenced by sprinkler irrigation uniformity. *Plant Archives*, 19(2), 2296-2303.
- Martínez, R. (1991). *Riego localizado: diseño y evaluación* (1ra. ed.). Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Mohamed, A. Z., Peters, R. T., Zhu, X., & Sarwar, A. (2019). Adjusting irrigation uniformity

- coefficients for unimportant variability on a small scale. *Agricultural Water Management*, 213, 1078-1083. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.017>
- Palacios, O., & Aceves, E. (1970). *Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola*. Chapingo: Colegio de Postgraduados-Escuela Nacional de Agricultura.
- Pulido, R., & Del Valle, H. (1985). *Instructivo para el análisis de suelos y aguas para riego*. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Puppo, F., & Currie, H. (2001). Evaluación a través de coeficiente de variación de la lámina de aplicación del riego por aspersión en equipo de avance frontal. Obtenido de: <http://www.unne.edu.ar/cyt/2001/5-Agrarias/A-002.pdf>
- Rodríguez, M., & Guerrero, M. (2002). *Guía técnica del banano*. San Salvador, El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.
- Rodríguez, M., Rey, R., Torralba, V., Puig, O., Acevedo, R. (2007). Riego por aspersión de baja intensidad en el cultivo del banano con el empleo del miniaspersor Mamkad 2255 “pruebas de campo”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(2), 73-77.
- Salazar-Morera, R. (2019). *Diseño de un sistema de riego por aspersión aplicado al modelo productivo de Agrícola Industrial Sukia SA*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Sattler, R., & Marcelino, L. (1983). *Manual técnico de producción de plátano*. Panamá.
- Shah, I., Suryanarayana T., & Parekh F. (2017). Determination of crop water requirement and irrigation scheduling for banana. *International Journal for Scientific Research & Development*, 4(11), 327-330.
- Simmonds, N. W. (1973). *Los plátanos*. Barcelona, España: Blume.
- Soto, M. (1991). *Bananos: cultivo y comercialización* (3ra. ed.). San José, Costa Rica: Ed. LILSA.
- Tamagi, J. T., Uribe-Opazo, M. A., Vilas Boas, M. A., Johann, J. A., & Guedes, L. P. (2018). Spatial variability of the water depth applied by fixed sprinkler irrigation systems. *Engenharia Agrícola*, 38(2), 188-196. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n2p188-196/2018>
- Tarjuelo, M. (1999). *El riego por aspersión y su tecnología*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Tarjuelo, M., Montero, J., Carrión, A., Honrubia, T., & Calvo, A. (1999). Irrigation uniformity with medium size sprinklers: influence of wind and other factors on water distribution. *Transactions of the ASAE*, 42, 677-689.
- Tijerina, L. (1999). Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra*, 17 (3), 237-245.
- Vargas-Contreras, G., & Rodríguez-Rodríguez, A. (2000). Influencia de las aguas de riego en los procesos de salinización y sodificación de suelos en cultivos de bananos y tomates (I. Canarias). *Edafología*, 7(3), 129-13.
- Wagner, M., & Haddad, O. (1985). Influencia de diferentes frecuencias de riego en el comportamiento de tres clones de musáceas. *Agricultura Tropical*, 35 (4-6), 91-103.
- Zhang, Y., Guo, J., Sun, B., Fang, H., Zhu, D., & Wang, H. (2019). Modeling and Dynamic-Simulating the Water Distribution of a Fixed Spray-Plate Sprinkler on a Lateral-Move Sprinkler Irrigation System. *Water*, 11(11), 2296. <https://doi.org/10.3390/w11112296>

Sustratos alternativos para la producción de plántulas de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.) en Chiapas

Alternative substrates for the production of tomato seedlings (Physalis ixocarpa Brot.) in Chiapas

Juan Carlos Caballero-Salinas^{1*}, Sindy Guadalupe Ovando-Salinas², Erasmo Núñez-Ramos³, Fabián Aguilar-Cruz⁴

¹ Centro Académico Regional Chiapas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

 <https://orcid.org/0000-0002-3290-2274>

² Ingeniera en Ciencias Agrarias. México.

 <https://orcid.org/0000-0002-8523-6965>

³ Centro Académico Regional Chiapas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

 <https://orcid.org/0000-0002-7239-1309>

⁴ Centro Académico Regional Chiapas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

 <https://orcid.org/0000-0001-8083-5507>

✉ Autor para correspondencia: : jccs.uaaan@gmail.com

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de distintos sustratos alternativos en la emergencia y crecimiento de *Physalis ixocarpa* Brot. obtenidos en cepellón, bajo condiciones de malla sombra. La investigación se llevó a cabo en el municipio de Cintalapa, Chiapas. Los sustratos empleados fueron T1 cosmopeat usado como testigo, T2 humus de lombriz, T3 aserrín de *Pinus oocarpa* y T4 composta. Los tratamientos se establecieron bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, sembrándose 50 semillas por cada repetición en bandejas de unicol. Las variables de estudio fueron sometidas a un análisis de comparación de medias ($p \leq 0,05$), con el paquete estadístico MENU[®] versión 5.1. Los tratamientos con mayor porcentaje de emergencia fueron aquellos donde se empleó cosmopeat, lombricomposta y aserrín. De acuerdo con los parámetros morfológicos, el testigo presentó los valores máximos en la mayoría de las variables evaluadas. No obstante, de los sustratos alternativos el humus de lombriz obtuvo resultados por encima de la media general en ocho de las nueve variables y en cuatro fue estadísticamente igual al cosmopeat (capacidad de emergencia, número de hojas, peso fresco y seco de la plúmula), por lo que puede ser considerado como un sustrato alternativo para la producción de plántulas de tomate. En cuanto a los otros dos sustratos es importante considerar el efecto de la porosidad en la composta y la cantidad de macro y micronutrientes en el aserrín para obtener mejores resultados en investigaciones futuras.

Palabras clave: emergencia, plántulas de cepellón, parámetros morfológicos, sustratos alternativos, tomate verde.

Abstract

The present project aimed to evaluate the effect of different alternative substrates during the emergence and growth of *Physalis ixocarpa* Brot. obtained in root trays, under shadow mesh conditions. The research took place in Cintalapa, Chiapas. The substrates employed were T1 cosmopeat as master sample, T2 earthworm humus, T3 sawdust of *Pinus Oocarpa* and T4 compost. The treatments were established with a completely random

design with four repetitions, sowing 50 seeds for each repetition in unicol trays. The variables of this study were analyzed by median comparison ($p \leq 0.05$), with statistics software MENU® version 5.1. The treatments with a higher percentage of emergence were those where cosmopeat, earthworm compost and sawdust were used. According to the morphological parameters, the control was the one that presented the maximum values in most of the evaluated variables. Nevertheless, from the alternative substrates, the earthworm humus was above the general median in 8 of the 9 studied variables and in four cases was statistically equal to cosmopeat, thus making it possible to be considered as an alternative substrate for tomato plants production. Regarding the other two substrata, it is important to consider porosity of the compost and the amount of macro and micronutrients in sawdust to obtain better results in future research.

Keywords: emergency, plants in rootball, morphological parameters, alternative substrates, green tomato.

1. Introducción

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) conocido comúnmente como miltomate, tomate verde, tomate de hoja, tomate milpero, es una solanácea originaria de México (García-Osuna *et al.*, 2015). Es un cultivo hortícola de gran importancia económica (Ponce-Valerio *et al.*, 2011), cuyo uso más difundido es el alimenticio; se cultiva en 30 de los 32 estados de la república mexicana. En el 2018, la superficie cultivada fue de 41.318 ha y el rendimiento promedio 18,9 t ha⁻¹ (SIAP, 2019), lo que ubica a este cultivo entre las principales cinco hortalizas del país. De la superficie sembrada, 80% es cultivada bajo sistema de riego, principalmente en los estados de Sinaloa, Zacatecas, Puebla, Sonora y Michoacán. En Chiapas, en el 2018, la producción fue de 15.944 t en 697 ha.

El cultivo de tomate verde se ha incrementado principalmente por dos razones: la primera, debido a que es una hortaliza que no requiere demasiados cuidados técnicos (Peña-Lomelí *et al.*, 2014) y segundo, al alto consumo per cápita al año (4,6 kg) (Ponce-Valerio *et al.*, 2011). Empero, el rendimiento promedio nacional es bajo en relación con el potencial productivo estimado de 40 t ha⁻¹ (Peña & Santiago, 1999). Además, posee grandes perspectivas en el mercado, incluso puede ser un sustituto del tomate (*Solanum lycopersicon* L.), debido a que se cotiza a un precio equivalente y en ocasiones superior a éste (SNIIM, 2012). Por otra parte, tiene la ventaja de que su ciclo de producción es relativamente corto (80 días), dado que su fruto se consume cuando aún se encuentra fisiológicamente inmaduro (Cruz-Álvarez *et al.*, 2012).

Para su producción destacan dos métodos de cultivo: siembra directa y el uso de semilleros que

permiten la obtención de plántulas, las cuales posteriormente se trasplantan al terreno definitivo. Los semilleros pueden ser establecidos directamente en el suelo o en recipientes con algún sustrato. En este sentido, Abad & Noguera (2000) señalan que un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, de material mineral u orgánico, puro o mezclado colocado en un contenedor, que posibilita el soporte detención y crecimiento del sistema radicular de una planta.

Las características de los sustratos se han modificado para obtener mejores resultados en la producción de plantas en contenedores, debido a que las plántulas con buen vigor se adaptan más rápidamente al terreno definitivo, sufren menor estrés y, como consecuencia, presentan mejor desarrollo durante su ciclo productivo (Dufault, 1998). Por lo tanto, la elección de un sustrato es trascendental, ya que proporciona las condiciones apropiadas al cultivo para el crecimiento de sus raíces (Ocampo *et al.*, 2005).

Uno de los sustratos más utilizados para la producción de plántulas a nivel mundial es la turba de musgo, sus características físicas, químicas y biológicas permiten una excelente germinación y crecimiento de las plántulas, pero su costo elevado y explotación no sostenible han comenzado a restringir su uso (Fernández *et al.*, 2006). En México, el principal sustrato para la germinación de plántulas de tomate verde es el cosmopeat, una turba importada de alto costo económico (García *et al.*, 2001), que en ocasiones no está al alcance de muchos campesinos. Por lo dicho anteriormente, es importante identificar y evaluar diferentes sustratos que presenten buenas características para su uso en contenedores, de fácil

disponibilidad y de menor costo (Magdaleno-Villar *et al.*, 2006).

Diversos investigadores (Pérez-Camacho *et al.*, 2008; Ponce-Valerio *et al.*, 2011) indican que los estudios que han analizado el uso de sustratos alternativos para la germinación y crecimiento del tomate verde han sido escasos. Por tal motivo, el objetivo es evaluar el efecto de diferentes sustratos (aserrín, cosmopeat, humus de lombriz y composta) en la emergencia y crecimiento de plántulas de tomate de cáscara, con la finalidad de obtener sustratos alternativos con menor costo y disponibles para los productores de la región de Cintalapa, Chiapas. La hipótesis que guía el presente artículo es que por lo menos alguno de los sustratos evaluados presente parámetros similares al sustrato comercial.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

La investigación se realizó en el municipio de Cintalapa, Chiapas, sus coordenadas geográficas son 16° 39' de latitud Norte y 93° 44' longitud Oeste a una altitud de 540 msnm (Figura 1). La temperatura mínima es de 18 y la máxima 28 °C con una precipitación pluvial que fluctúa entre los 300 y 900 mm. Limita al norte con el estado de Veracruz, al este con los municipios de Mezcalapa, Ocozocoautla de Espinosa y Jiquipilas, al sur con Arriaga y al oeste con Belisario Domínguez. El clima preponderante es semicálido subhúmedo, los cultivos más importantes son maíz, sorgo y, en menor medida, el cacahuate, además de actividades hortícolas como tomate y sandía.

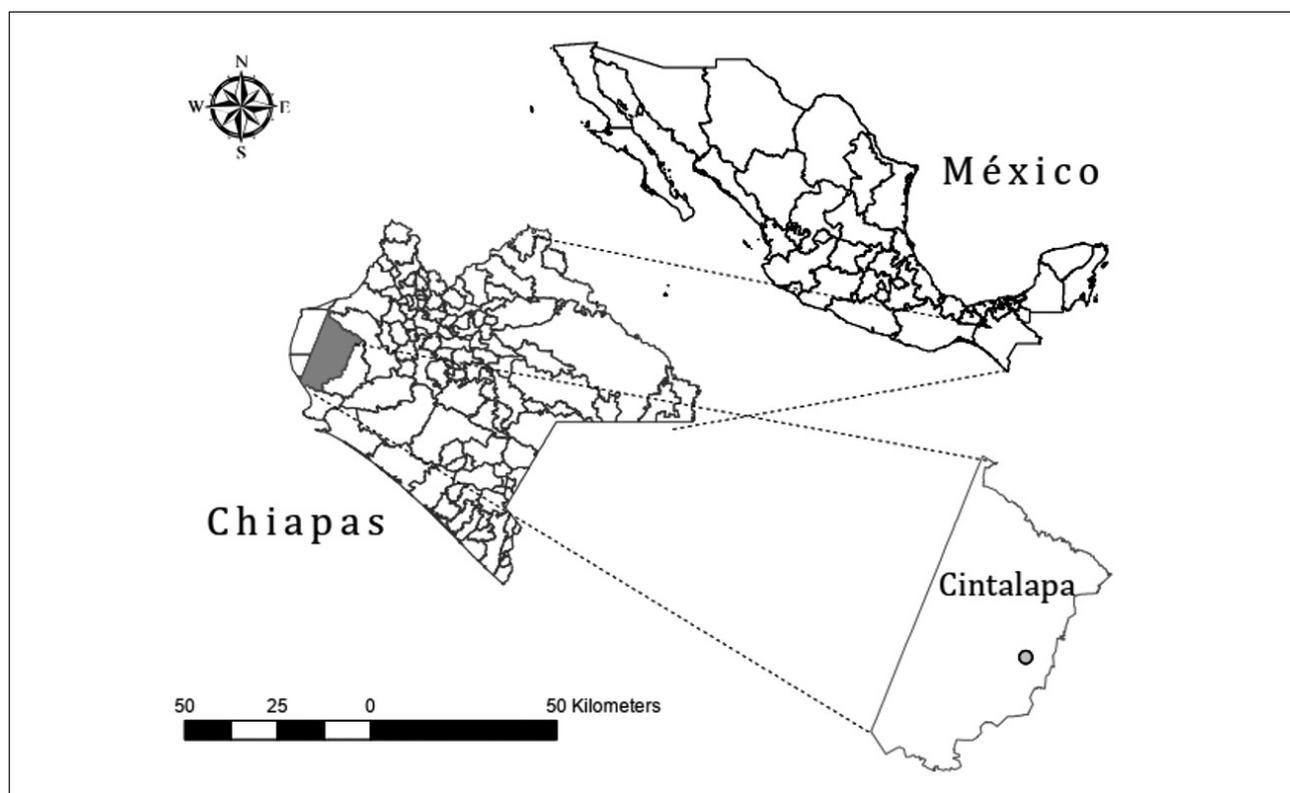


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

2.2. Materiales utilizados

Se utilizó semilla de tomate verde denominada “Gran Esmeralda” de la marca Harris Moran®. Los tres sustratos alternativos utilizados fueron: aserrín de pino, composta, humus sólido de lombriz y el producto comercial de marca cosmopeat®. Los sus-

tratos alternos evaluados son materiales comunes de fácil adquisición y transportación al sitio donde se desarrolló la investigación. Los contenedores utilizados fueron cuatro charolas de unicel para almácigos de 200 cavidades, las cuales fueron subdivididas en cuatro, es decir, cada sección quedó conformada de 50 cavidades. El enmallado se construyó con pos-

tes de madera y malla antiáfidos blanca (40 x 40 hp) cubriendo un área de 2,30 m x 1,30 m x 3 m, en esta se colocaron las charolas a un metro de altura.

2.3. Descripción de tratamientos y variables evaluadas

El experimento se inició el 17 de mayo del 2016, se evaluaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones en las cuales se sembraron 50 semillas en cada charola:

- Tratamiento 1 (T1): Cosmopeat (testigo): sustrato elaborado con peat moss extraído de bancos ubicados en la provincia de New Brunswinck, Canadá, compuesto por fibra fina, vermiculita, agentes humectantes y nutrientes.
- Tratamiento 2 (T2): Humus de lombriz (lombricomposta): sustrato procedente de la transformación de estiércol de vaca precompostado en abono orgánico realizada por la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida* S.).
- Tratamiento 3 (T3): Aserrín: obtenido del proceso de aserrado de *Pinus oocarpa*, con un diámetro aproximado de la partícula entre 1-10 mm y contenido de humedad alto.
- Tratamiento 4 (T4): Composta: se realizó a partir de una mezcla de estiércol de vaca, melaza, aserrín, pasto, ceniza y agua, todos materiales locales.

Para la toma de datos, de cada tratamiento se seleccionó 10 plantas al azar por evento de repetición. Para la variable Capacidad de emergencia (CE)

se realizó conteo de plántulas emergidas a los 04, 07, 10 y 14 días después de la siembra. La variable Longitud de plúmula (LP) se estimó con una regla graduada en cm y el Diámetro de tallo (DT) se evaluó con un vernier, los días 07, 14, 21 y 28. Por su parte, a los 28 días se estimó el Número de hojas (NH), Longitud de radícula (LR) para esta variable se tomó en cuenta solo la raíz principal. El Peso fresco de plúmula (PFP) y Peso fresco de la raíz (PFR), se cuantificó con una balanza analítica de precisión modelo VE-204[®]. Posteriormente, se secó al sol durante una semana, las 10 plantas muestreadas para obtener los valores de Peso seco de la plúmula (PSP) y Peso seco de la raíz (PSR).

Las variables que resultaron significativas al $p \leq 0,05$, se procedió a realizar una prueba de comparación de medias utilizando la Diferencia Mínima Significativa (DMS $p \leq 0,05$). El análisis de datos se realizó mediante el paquete estadístico MENU[®] versión 5.1 de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

3. Resultados

En los resultados obtenidos se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos para todas las variables de estudio, como se aprecia en la Tabla 1.

La Tabla 1 ilustra que en las variables CE, LP, LR, NH, PFP, PSP, PFR y PSR el cosmopeat fue estadísticamente superior y solamente en el DT el humus de lombriz obtuvo los mejores resultados. Por otra parte, el aserrín fue el sustrato que cuantificó los menores valores en ocho variables evaluadas.

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza

FV	GL	CE	LP	LR	NH	DT	PFP	PSP	PFR	PSR
TRATS	3	1.154,91*	548,61*	55,21*	18,32*	0,042*	5,67*	0,045*	0,233*	0,0023*
ERROR	12	7,41	04,17	0,63	0,34	0,0002	0,07	0,001	0,007	0,00004
C.V.		3,25	13,54	11,69	12,34	5,84	21,22	30,39	34,83	23,27
X		83,75	15,08	6,82	5,03	0,26	2,49	0,13	0,25	0,028
X _≥		95,00 (T1)	28,56 (T1)	10,22 (T1)	7,00 (T1)	0,36 (T2)	5,26 (T1)	0,22 (T1)	0,56 (T1)	0,058 (T1)
X _≤		59,00 (T4)	1,47 (T3)	1,71 (T3)	3,00 (T3)	0,14 (T3)	0,02 (T3)	0,001 (T3)	0,019 (T3)	0,005 (T3)

*= Significativo al 0,05, CE = Capacidad de emergencia (promedio), LP = Longitud de plúmula (día 14), LR: Longitud de radícula, NH: Número de hojas, DT: Diámetro de tallo (día 14), PFP: Peso fresco de plúmula, PSP: Peso seco de plúmula, PFR: Peso fresco de raíz, PSR: Peso seco de raíz.

Por ser CE una variable importante para seleccionar el tipo de sustrato a utilizar, en la Figura 2 se presenta el comportamiento de la emergencia del tomate de cáscara en los diferentes sustratos eva-

luados durante un periodo de 14 días. En las cuatro mediciones el T1 presentó el mayor porcentaje de emergencia con el 95%, seguido del T2 solamente con el uno por ciento menos.

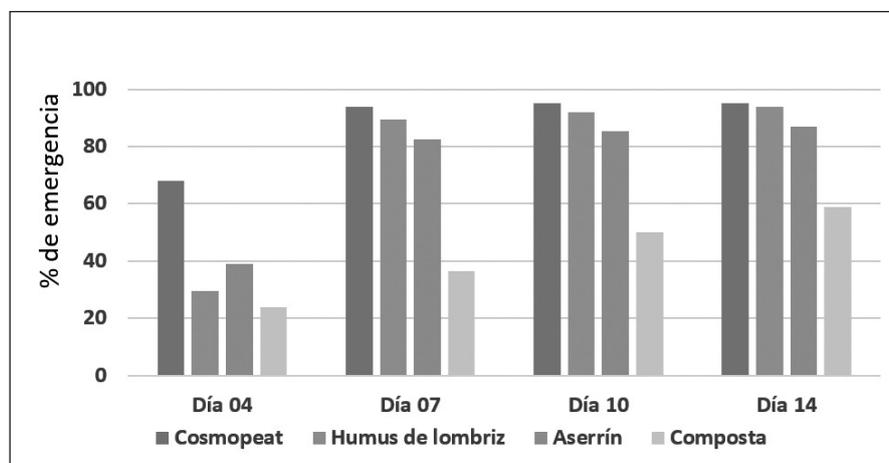


Figura 2. Porcentaje de emergencia del tomate de cáscara.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la comparación de medias de las variables de estudio. La CE fluctuó entre 59 y 95%. El T1 presentó el mayor porcentaje de emergencia (95%), seguido del T2 (94%), el T4 fue el sustrato que mostró el porcentaje más bajo; se observa que los primeros tres tratamientos fueron superiores a la media general. Para la LP los valores muestran que T1 fue el que tuvo una mejor altura con 28,56 cm, seguido del T2 con 19,87 cm, y el menor T3 con 1,47 cm. En la variable LR se observó que el valor máximo lo obtuvo el T1 con 10,22 cm y el mínimo el T3 (1,71 cm). Con respecto a las variables NH, los tratamientos T1 y T2 fueron estadísti-

camente iguales presentando los valores máximos. La única variable donde el T1 no presentó el valor máximo fue en DT, ya que T2 reveló el mayor diámetro.

Los valores del PFP y PSP oscilaron de 0,02 a 2,49 g y 0,001 a 0,22 g, respectivamente, en ambas variables el valor más alto lo obtuvo T1 seguido por el T2, los cuales fueron estadísticamente iguales. Por otra parte, las medias de PFR fueron de 0,019 a 0,56 g, presentando el T1 y T2, valores de 0,56 y 0,32 g, respectivamente, ambos por encima de la media general, para la variable PSR se cuantificaron resultados similares al PFR.

Tabla 2. Comparación de medias para las variables evaluadas

TRATS	CE (%)	LP (cm)	LR (cm)	NH (h)	DT (mm)	PFP (g)	PSP (g)	PFR (g)	PSR (g)
T1	95,00 ^a	28,56 ^a	10,22 ^a	7,00 ^a	0,33 ^b	2,49 ^a	0,22 ^a	0,56 ^a	0,058 ^a
T2	94,00 ^a	19,87 ^b	8,73 ^b	5,75 ^{ab}	0,36 ^a	2,15 ^a	0,21 ^a	0,32 ^b	0,032 ^b
T3	87,00 ^b	1,47 ^d	1,71 ^d	4,40 ^d	0,14 ^d	0,02 ^c	0,001 ^c	0,019 ^c	0,0005 ^d
T4	59,00 ^c	10,44 ^c	6,65 ^c	3,00 ^{bc}	0,23 ^c	0,60 ^b	0,109 ^b	0,113 ^c	0,022 ^c

CE = Capacidad de emergencia, LP = Longitud de plúmula, LR: Longitud de radícula, NH: Número de hojas, DT: Diámetro de tallo, PFP: Peso fresco de plúmula, PSP: Peso seco de plúmula, PFR: Peso fresco de raíz, PSR: Peso seco de raíz, h: hojas. Valores medios con la misma letra son estadísticamente iguales.

Como se aprecia en los resultados obtenidos el cosmopeat mostró la mayoría de los valores promedios máximos en las variables evaluadas, y el sustrato tipo humus de lombriz estuvo por arriba de la media general en ocho de las nueve variables evaluadas; además, en cuatro fue estadísticamente igual al valor máximo (CE, NH, PFP y PSP). Por otra parte, el tratamiento que presentó los menores valores en las variables CE, LP, LR, DT, PFP, PSP, PFR y PSR fue el aserrín de *Pinus oocarpa*, mientras que la composta en ninguna variable evaluada presentó resultados por encima del promedio general de cada variable de estudio.

4. Discusión

Una de las principales variables analizadas en el estudio fue la CE. Como se muestra en la Tabla 2, los sustratos con mayor porcentaje de emergencia los presentó el cosmopeat, humus de lombriz y el aserrín. Estos resultados probablemente se deban al número de espacios porosos que estos sustratos presentan, como señala Cabrera (1999) esta característica física es considerada una de las más importantes para la emergencia. Por otra parte, el mayor porcentaje de emergencia que presentó el cosmopeat (95%) se le atribuye a sus características físico-químicas, en las que destacan su retención de humedad, porosidad total y reducida conductividad eléctrica (Ortega-Martínez, 2010). No obstante, el humus de lombriz mostró valores estadísticamente iguales al cosmopeat (94%). El sustrato a base de aserrín manifestó un porcentaje de germinación de 87%, incluso en los primeros cuatro días fue el segundo sustrato con mayor porcentaje de germinación (Figura 2).

El mínimo porcentaje de germinación que mostro la composta podría estar relacionado con la baja porosidad de ésta, que influyó en la capacidad de intercambio gaseoso, disminuyendo el contenido de oxígeno que las semillas requieren para germinar (Ortega-Martínez, 2010), lo cual es argumentado por Willumsen (1997), quien menciona que cuando existe una inadecuada aireación se origina la producción de niveles tóxicos de amonio e impide una germinación y emergencia normal. Este problema también pudo presentar repercusiones en las demás variables evaluadas, debido a que la compactación causa acortamiento y engrosamiento de las raíces e incluso cambia su morfología (Zobel, 1995).

Los hallazgos de este estudio son consistentes con los de Favaro *et al.* (2002), quienes realizaron

una mezcla de aserrín (75%) y perlita (25%), obteniendo un 85,5% de emergencia, también confirman lo ya encontrado por Ortega-Martínez *et al.* (2010) quienes muestran datos de emergencia en un 90% con la turba y lombricomposta y 80% con aserrín.

Las plántulas con mayor altura se obtuvieron donde se utilizó como sustrato el cosmopeat y humus de lombriz. Este hecho pudo haber ocurrido porque en estos sustratos hubo mayor disponibilidad de nutrientes y mayor intercambio gaseoso, factores que favorecieron el crecimiento de las plántulas. Resultados similares fueron reportados por Andrade-Rodríguez *et al.* (2005) que muestran que el crecimiento de las plántulas fue mayor en el sustrato a base de turba (cosmopeat), seguido por las plantas desarrolladas en el tratamiento donde se usó vermicomposta.

La altura mínima se mostró en las plántulas sembradas con aserrín, datos que coinciden con los de Favaro *et al.* (2002), quienes señalan que las plántulas donde se usó sustrato de aserrín presentaron diferencias en el tamaño comparado con el sustrato comercial utilizado como testigo; agregan que esto pudo ocurrir por dos factores: por un lado, debido a la escasez en la oferta de nutrientes y, por otro, a la menor capacidad de retención de agua. Por tal motivo, se sugiere proporcionarles el contenido inicial de macro y micronutrientes a las plántulas, con lo que podría conseguirse un mejor crecimiento, además de aplicar un proceso de compostaje al aserrín. Lo anterior se evidenció en el trabajo de Ortega-Martínez (2010); en éste, el aserrín fue uno de los sustratos donde las plántulas de tomate presentaron mayor crecimiento, al cual se le aplicó previamente un proceso de compostaje.

En las variables longitud de raíz, número de hojas y diámetro de tallo, nuevamente sobresalieron el cosmopeat y humus de lombriz, debido al aporte nutricional que brindaron estos sustratos, lo cual permitió un mejor desarrollo en estos parámetros morfológicos. Se observó una asociación entre estas variables, ya que cuando la longitud de raíz fue más larga, se presentó un mayor número de hojas, altura y diámetro de tallo. Estos parámetros son importantes, debido a que muestran un estado vigoroso de una plántula, que se refleja en mayor fortaleza y resistencia cuando es trasplantada en campo. El crecimiento de la raíz fue similar a los resultados obtenidos por Andrade-Rodríguez *et al.* (2005) que señalan que el crecimiento de la raíz de las plántulas fue mayor cuando utilizaron turba y vermicomposta.

En el número de hojas no se registraron diferencias estadísticas en los sustratos cosmopeat y lombricomposta, datos similares a los hallazgos obtenidos en el estudio de Ortega-Martínez (2010) donde ambos sustratos presentaron los valores medios más altos. Esto indica que las plantas desarrollaron mayor número de hojas porque tuvieron una cantidad superior de nutrientes disponibles (Andrade-Rodríguez *et al.*, 2005). Por su parte, Verde & Álvarez (1994) señalan que el trasplante debe realizarse con posterioridad a la emisión de la cuarta hoja (25 días), para este experimento, tanto en el sustrato testigo, lombricomposta y aserrín, sobrepasaron este parámetro antes de los 28 días.

Los mayores valores de las variables longitud de plúmula, longitud de la raíz, número de hojas y diámetro de tallo se ven reflejados en una mayor acumulación de materia, que se traduce en peso fresco y seco. En este estudio se observó que las plántulas desarrolladas en sustratos cosmopeat y lombricomposta fueron las que produjeron mayor cantidad de materia fresca y seca, ya sea en la raíz o plúmula, coincidiendo con lo reportado por Ortega-Martínez *et al.* (2010), lo que puede atribuirse a que en estos

sustratos hubo mayor cantidad de nitrógeno, mismo que fue usado para el mayor crecimiento de las plántulas (Andrade-Rodríguez *et al.*, 2005).

5. Conclusiones

El análisis general de las variables evaluadas indicó que los mejores sustratos para la producción de plántulas de tomate fueron cosmopeat y humus de lombriz, debido a que en estos sustratos se presentaron los valores máximos de porcentaje de emergencia, longitud de plúmula, número de hojas, diámetro de tallo, que se reflejó en un mayor peso fresco y seco. Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis propuesta en este trabajo. Los resultados de crecimiento de las plántulas de tomate de cáscara obtenidos en estos dos sustratos probablemente se debieron al aporte nutrimental que ellos poseen. Por lo anterior, la utilización de la lombricomposta como sustrato alternativo puede reemplazar de manera parcial o de forma total al sustrato comercial, para disminuir los costos de producción en que incurren los productores de la región en la producción de plántulas.

Referencias

- Abad, M., & Noguera, P. (2000). Los sustratos en los cultivos sin suelo. En *Manual del cultivo sin suelo* (pp. 137-183). Universidad de Almería. Madrid: Mundi Prensa.
- Andrade-Rodríguez, M., Ayala-Hernández, J.J., Arce, J., Acosta-Durán, C.M., Alia-Tejagal, I., López-Martínez, V., & Villegas-Torres, O. (2005). Sustratos para la producción de plántulas de tomate de cáscara en Morelos. *Investigación Agropecuaria*, 4, 9-16.
- Cabrera, I. (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo-Serie Horticultura*, 5, 5-11.
- Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M., Rodríguez-Pérez, J.E., Colinas-León, M., & Moreno-Pérez, E. (2012). Conservación poscosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Serie Horticultura*, 18(3), 333-344. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.11.105>
- Dufault, R. (1998). Vegetable transplant nutrition. *HortTechnology*, 8(4), 515-523. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.8.4.515>
- Favaro, J.C., Buyatti, M. A., & Acosta, M.R. (2002). Evaluación de sustratos a base de serrín de salicáceas (*Salix* sp.) compostados para la producción de plantones. *Investigación agraria: Producción y protección vegetal*, 17(3), 367-373.
- Fernández, B.C., Urdanet, N., & Silva, W. (2006). Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23 (2), 188-196.
- García, G., Cabrera, R., Gavi, R., & Volke, V. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de

- Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisi* cultivadas en maceta. *Terra*, 19, 249-258.
- García-Osuna, H.T., Escobedo-Bocardo, L., Robledo-Torres, V. Benavides Mendoza, A., & Ramírez Godina, F. (2015). Germinación y micropropagación de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) tetraploide. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12, 2301-2311. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i12.763>
- Magdaleno-Villar, J., Castillo-González, A., Galvis-Spinola, A., Castro-Brindis, R., Ramírez-Pérez, F., Peña-Lomelí, A., & Becerra-López, P. (2006). Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo-Serie Horticultura*, 12, 153-158.
- Ocampo, M.J., Caballero, M.R., & Tornero, M.A. (2005). Los sustratos en cultivos hortícolas y ornamentales. En *Agricultura, ganadería, ambiente y desarrollo sustentable* (pp. 55-74). México: Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Ortega-Martínez, L., Sánchez-Olarte, J., Díaz-Ruiz, R., & Ocampo-Mendoza, J. (2010). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Ra Ximhai. Revista Científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible*, 6(3), 365-372.
- Peña, L., & Santiaguillo, H. (1999). *Variabilidad genética de tomate de cáscara en México*. Boletín N° 2 Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J., Sánchez, F., & Magaña-Lira, N. (2014). Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 381-391.
- Pérez-Camacho, I., Ayala-Garay, O., González-Hernández, V., Carrillo-Salazar, J., Peña-Lomelí, A., & García, G. (2008). Indicadores morfológicos y fisiológicos del deterioro de semillas de tomate de cáscara. *Agrociencia*, 42(8), 891-901.
- Ponce-Valerio, J., Peña-Lomelí, A., Sánchez, F., Rodríguez-Pérez, E., Mora-Aguilar, R., Magaña-Lira, N., & Castro-Brindis, R. (2011). Evaluación de podas en dos variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivado en campo. *Revista Chapingo-Serie Horticultura*, 17(3), 151-160.
- SIAP - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- SNIIM - Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados. (2012). Anuarios Estadísticos de Mercados Nacionales: frutas y hortalizas. Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados. Obtenido de: <http://www.economia-sniim.gob.mx>
- Verde, G., & Álvarez, M. (1994). *Fenología en el cultivar C-28 y la forma silvestre Nagcarlan en siembras fuera de épocas*. La Habana: BNC. IDIT.
- Willumsen, J. (1997). Improvement of the physical conditions in peat substrates during the germination of cabbage seeds in organic farming (refered). *Acta Horticulture*, 450, 183-190.
- Zobel, W. (1995). Genetic and environmental aspects of roots and seedling stress. *HortScience*, 30(6), 1189-1192.

Evaluación de la calidad y la eficiencia tecnológica en la producción de queso semiduro Gouda

Assessment of quality and technological efficiency in Gouda semi-hard cheese production

Ricardo Montesdeoca Párraga^{1*}, Karen Piloso Chávez², Taimy Hernández Sartego³, Ileana Lemoine Yanes⁴, Miriam Camejo Pupo⁵, Gustavo Lorente González⁶, Isnel Benítez Cortés⁷, María García Garay⁸

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Carrera de Agroindustria. Campus Politécnico El Limón, km 2.7 vía Calceta – Morro – El Limón Sector La Pastora, Calceta, Manabí, Ecuador.

 <https://orcid.org/0000-0001-6116-9975>

² Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Carrera de Agroindustria. Campus Politécnico El Limón, km 2.7 vía Calceta – Morro – El Limón Sector La Pastora, Calceta, Manabí, Ecuador.

 <https://orcid.org/0000-0002-6155-3552>

³ Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Carretera Circunvalación Norte km 5 ½, entre Camino Viejo a Nuevitas y Avenida Ignacio Agramonte, Camagüey, Cuba. taimy.hernandez@reduc.edu.cu

 <https://orcid.org/0000-0002-9638-2765>

⁴ Combinado lácteo Camagüey, Cuba, Camino Maraguán No.75 e/ Línea y Circunvalación, El Corajo, Camagüey.

 <https://orcid.org/0000-0002-8170-5744>

⁵ Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Carretera Circunvalación Norte km 5 ½, entre Camino Viejo a Nuevitas y Avenida Ignacio Agramonte, Camagüey, Cuba.

 <https://orcid.org/0000-0001-6699-3656>

⁶ Centro de bioplantitas, Carretera de Morón km 9 ½, Ciego de Ávila, Cuba, Código, Postal: 69450.

<https://orcid.org/0000-0003-1008-4079>

⁷ Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Carretera Circunvalación Norte km 5 ½, entre Camino Viejo a Nuevitas y Avenida Ignacio Agramonte, Camagüey, Cuba.

 <https://orcid.org/0000-0003-2427-640X>

⁸ Fábrica de quesos Sibanicú, Carretera central km 644, Camagüey, Cuba.

 <https://orcid.org/0000-0002-9468-9050>

✉ Autor para correspondencia: ricardomontesdeoca1982@gmail.com

Resumen

Se evaluó la calidad e indicadores de eficiencia tecnológica de la producción del queso semiduro Gouda en la fábrica de quesos Sibanicú, para establecer las mejores condiciones operacionales que permitan una adecuada conservación. Se señalan las características químico-físicas de la leche, el suero y los quesos a la salida de prensa y al final de la maduración. Se determina el rendimiento, aprovechamiento de los componentes y las mermas como indicadores de eficiencia tecnológica. Se realiza una evaluación sensorial a los 20, 30 y 40 días

de maduración. La leche presenta una calidad químico-física aceptable debido a un contenido inferior a lo normado de sólidos no grasos. Los quesos cumplen con los parámetros tecnológicos establecidos, se alcanza la mayor calificación a los 30 días de maduración obteniéndose buenos rendimientos. Los índices de consumo resultan menores que los del queso Patagrás y las mermas son equivalentes a valores de referencia.

Palabras clave: rendimiento, maduración, leche, químico, físicos.

Abstract

The quality and indicators of technological efficiency in the production of semi-hard Gouda cheese in the Sibanicú Cheese Factory are evaluated, to establish the best operational conditions for its adequate conservation. The chemical-physical characteristics of milk, whey and cheeses are determined at the press exit and at the end of ripening. Performance, component utilization and waste are determined as indicators of technological efficiency. A sensory evaluation is performed at 20, 30 and 40 days of maturation. Milk has an acceptable chemical-physical quality due to a lower than normal content of non-fatty solids. These cheeses meet the established technological parameters, the highest qualification is reached after 30 days of ripening, obtaining good yields. The consumption rates are lower than those of Pategras cheese and the losses are equivalent to reference values.

Keywords: yield, maturation, milk, chemical, physical.

1. Introducción

El queso es uno de los principales productos agrícolas del mundo. Además, es la modalidad más antigua de transformación industrial de la leche, la cual proporciona proteínas ricas en aminoácidos esenciales no sintetizables por el organismo (Suárez, 2010).

Cuba importa más de mil toneladas anuales de quesos y la mayor parte corresponde al queso semiduro Gouda, ya que este cumple con los requerimientos necesarios para ser consumido de forma natural y, al mismo tiempo, para la elaboración de disímiles platos en el sector de la restauración. Su utilización es elevada no solo por sus características organolépticas, sino también por su gran capacidad de conservación (Early, 2002). En Cuba actualmente existen proyecciones encaminadas a la producción de este tipo de queso, capaces de sustituir las importaciones del mismo, por lo que constituye un reto para la industria láctea cubana lograr un queso de este tipo con buena calidad y eficiencia tecnológica.

En la obtención de un queso de calidad, los parámetros químico-físicos juegan un papel vital en el proceso de fabricación, entre ellos se encuentran: densidad, grasa, sólidos no grasos, proteínas, acidez y pH. Estos parámetros influyen tanto en la calidad sensorial del producto final como en la eficiencia tecnológica del proceso, ya que los componentes

que pasan al queso dependen de las propiedades de la leche y de los métodos de elaboración empleados (Suárez, 2010; De Marchi *et al.*, 2007).

La humedad del queso depende de varios parámetros tecnológicos y, al mismo tiempo, ella repercute en diferentes atributos sensoriales, como son la firmeza, el sabor, olor, color y brillo de la masa. Por ejemplo, con el aumento de la humedad mejora la consistencia del queso, el sabor y el olor se acentúan y la maduración se acelera (Suárez, 2010).

La eficiencia tecnológica puede ser evaluada mediante diferentes parámetros como el rendimiento, el aprovechamiento de los componentes y las mermas en diferentes etapas del proceso. Uno de los factores más importantes para las industrias productoras de queso y que influye decisivamente en la viabilidad económica es el rendimiento quesero (Escobar *et al.*, 2014). Para obtener un buen rendimiento en la fabricación de quesos es recomendable estandarizar la leche, estableciendo una relación adecuada grasa/proteína que permita elaborar un queso cuya composición cumpla con los patrones o estándares establecidos, a fin de lograr el uso más económico de los componentes de la leche, en armonía con la aceptación de los consumidores (Peña & Quintanilla, 1991).

Aunque la tecnología de fabricación de queso Gouda está establecida, la misma debe adaptarse a las características de cada industria en particular,

teniendo en cuenta diferentes condiciones operacionales como los parámetros físico-químicos de la leche y tiempos de maduración, entre otros, que inciden de forma directa en la preservación y calidad del producto final.

Camagüey es una región de Cuba altamente productora de leche. La fábrica de quesos Sibanicú, perteneciente a la misma, acopia como promedio 16.000 litros de leche diaria en período seco y hasta 30.000 litros en primavera (Emplac, 2018). El principal destino de esa leche es la producción de varios tipos de queso y se prevé la producción de queso Gouda semiduro como uno de sus productos comercializables.

Por tales motivos, el presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la calidad y el rendimiento del queso semiduro Gouda elaborado en la fábrica de quesos Sibanicú.

2. Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en la fábrica de quesos Sibanicú, donde se desarrollaron 10 producciones industriales y la mayoría de las determinaciones químico-físicas, y en la planta piloto de la Universidad de Camagüey, donde se realizaron las determinaciones de proteínas.

2.1. Producciones de queso

El proceso tecnológico se efectuó a escala industrial teniendo en cuenta el procedimiento descrito en Tetra Pak Processing Systems AB (2003). Se realizó la estandarización grasa-proteína considerando el porcentaje de proteínas de la leche y el porcentaje de grasa en extracto seco (GES) requerido para este tipo de queso. Para ello se calculó el porcentaje de grasa al que se debía estandarizar la leche mediante la ecuación [1].

$$G = \frac{G_{ext} Pr K}{100} \quad [1]$$

donde:

- Pr: proteína en la leche determinada por el método Kjeldahl (%) en un equipo modelo GL-44.
- K: constante en función de la grasa en extracto seco en el queso (2,09-2,15).

- G_{ext}: grasa en extracto seco a obtener en el queso (mínimo 48%).

2.2. Determinaciones químico-físicas

Durante el proceso tecnológico se realizaron las siguientes determinaciones físico-químicas con las réplicas establecidas en las normas referidas:

- Leche cruda: proteínas según procedimiento descrito en Panreac Química S.A. (1999) y el contenido de nitrógeno obtenido se multiplicó por el factor de conversión para la leche (6,38), grasa (NC-ISO2446, 2003), sólidos no grasos (NRIAL 170, 2000), acidez (NC 71, 2000) y densidad (NC 119, 2006).
- Leche estandarizada: grasa con la utilización de una centrífuga Gerber modelo Gerbe 03037 (NC-ISO2446, 2003), sólidos no grasos (NRIAL 170, 2000), acidez (NC 71, 2000), densidad (NC 119, 2006) y pH un pHmetro modelo PHS-3C (NC 78-11-03, 1983).
- Suero: grasa con la utilización de una centrífuga Gerber modelo Gerbe 03037 (NC-ISO2446, 2003).
- Queso: grasa con la utilización de una centrífuga Gerber modelo Gerbe 03037 (NC 78-18, 1984), humedad en un equipo marca Want 120 g / 10 mg (NC 78-17, 1984), pH en un pHmetro modelo PHS-3C (NC 78-16, 1984).

A partir de los datos de humedad y grasa determinados en queso se calcularon el porcentaje de humedad en queso desgrasado HQD (%) y el porcentaje de grasa extracto seco GES (%) según ecuaciones [2] y [3]:

$$HQD = \frac{100H_Q}{100 - G_Q} \quad [2]$$

$$GES = \frac{100G_Q}{100 - H_Q} \quad [3]$$

donde:

- HQ: humedad en el queso (%)

- GQ: grasa del queso (%).

2.3. Evaluación de la eficiencia tecnológica

La eficiencia tecnológica fue evaluada mediante el rendimiento, el aprovechamiento de los componentes y las mermas en diferentes etapas del proceso. Se determinaron los rendimientos bruto (R_B) y ajustado (R_A) en unidades porcentuales empleando las ecuaciones [4] y [5]:

$$R_B = \left(\frac{M_Q}{M_L} \right) 100 \quad [4]$$

$$R_A = R_B \left(\frac{ST_Q - ST_S}{ST_A - ST_S} \right) \quad [5]$$

donde:

- M_Q : masa de queso (kg); M_L : masa de leche (kg);
- STQ: sólidos totales del queso (%);
- STs: sólidos totales del suero (%).

En el caso de los sólidos totales utilizados para el ajuste (ST_A), se tomó el valor del 52% a la salida de prensa y 55% para el producto terminado.

Se calculó el aprovechamiento de los componentes de la leche mediante los índices de consumo según ecuación [6]:

$$IC_{(x)} = \left(\frac{X_{L(x)}}{M_Q} \right) \quad [6]$$

donde:

- IC(X): índice de consumo de grasa o sólidos no grasos según corresponda (unidades);
- XL(x): grasa o sólidos no grasos de la leche según corresponda (kg).

Luego los resultados fueron comparados con los índices de consumos normados para el queso Patagrás (IC de grasa = 0.4076, IC de SNG = 1.0459), según lo establecido en la propia industria. Se escogió el Patagrás por clasificar dentro de la misma familia de quesos que el Gouda semiduro.

Se determinaron las mermas durante el proceso de salado y la merma total a la salida de la nevera de maduración (%) mediante las ecuaciones [7] y [8]:

$$MS = \left(\frac{M_{QSP} - M_{QSS}}{M_{QSP}} \right) 100 \quad [7]$$

$$MM = \left(\frac{M_{QSP} - M_{QSM}}{M_{QSP}} \right) 100 \quad [8]$$

donde:

- M_{QSP} : masa de queso a la salida de prensa (kg);
- M_{QSS} : masa de queso a la salida de salmuera (kg);
- M_{QSM} : masa de queso a la salida de la nevera de maduración (30 días) (kg).

2.4. Evaluación sensorial

Se evaluó la calidad de los quesos elaborados luego de transcurridos 20, 30 y 40 días de maduración. Se tomaron como características fundamentales el sabor, textura, olor, color y brillo de la masa de acuerdo con lo establecido por Zamora (2006). Se empleó un panel compuesto por ocho jueces analistas que integran el equipo de laboratorio para la evaluación sensorial de los productos de la industria, los cuales son personas de experiencia entrenados con anterioridad en la evaluación de quesos. Se utilizó el método descriptivo escalar y acorde a lo establecido por Zamora (2006).

Se realizó un análisis de varianza para conocer si existían diferencias significativas entre los tres tiempos de maduración (20, 30 y 40 días) utilizando un coeficiente de confianza del 95%. Además, se efectuó una prueba Duncan para saber entre qué tiempos de maduración existían diferencias. Para el procesamiento estadístico de todos los resultados se utilizó el programa Statgraphics Centurión v. XV).

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de la leche

Las características físico-químicas de la leche cruda como promedio (desviación estándar) fueron: $3,04 \pm 0,3\%$ de proteínas, $3,4 \pm 0,2\%$ de grasa, $8,07 \pm 0,6\%$ de sólidos no grasos, $0,14 \pm 0,001\%$ de ácido láctico y $1,029 \pm 0,001$ g/L de densidad. Estos valores citados indican que las leches crudas

cumplen con las especificaciones de calidad según NC 448 (2006), excepto en cuanto a los sólidos no grasos (8,20% mínimo). Particular importancia tiene el cumplimiento de lo establecido con respecto a las proteínas (2,90% mínimo), ya que debido al tipo de estandarización que se realizó (estandarización grasa-proteína), la grasa a la cual se estandariza está en

función del porcentaje de proteínas que presenta la leche. A pesar del cumplimiento establecido en las normas cubanas, la calidad químico-física es inferior a la de leches reportadas en otras investigaciones relacionadas con la eficiencia tecnológica (Villegas *et al.*, 2017). En la Tabla 1 se presentan las características de la leche después de la estandarización.

Tabla 1. Características químico-físicas de la leche estandarizada

Parámetros	Media (D.E)	Valores de referencia
SNG (%)	8,09 (0,09)	8,20 mínimo ⁽¹⁾
Grasa (%)	2,98 (0,15)	3,0-3,10 ⁽²⁾
Acidez (% de ácido láctico)	0,14 (0,003)	0,13-0,17 ⁽¹⁾
Densidad (g/L)	1,0294 (0,0003)	1,029-1,033 ⁽¹⁾
pH	6,6 (0,04)	6,6-6,8 ⁽¹⁾

Media: valores medios de diez determinaciones

(D.E.): Desviación estándar.

⁽¹⁾ Fuente: NC 448 (2006)

⁽²⁾ Propuesta de acuerdo con la relación grasa/proteína establecida (Dilanian, 1980)

En esta se aprecia que el porcentaje de grasa se encuentra por debajo del que debía poseer la misma de acuerdo con el porcentaje de proteínas de la leche fresca y el de grasa en extracto seco a obtener en el

queso a la salida de prensas (48% mínimo) según lo descrito por Dilanian (1980), lo que se debe a que de las 10 estandarizaciones realizadas tres de ellas no se efectuaron con la eficiencia requerida (Figura 1).

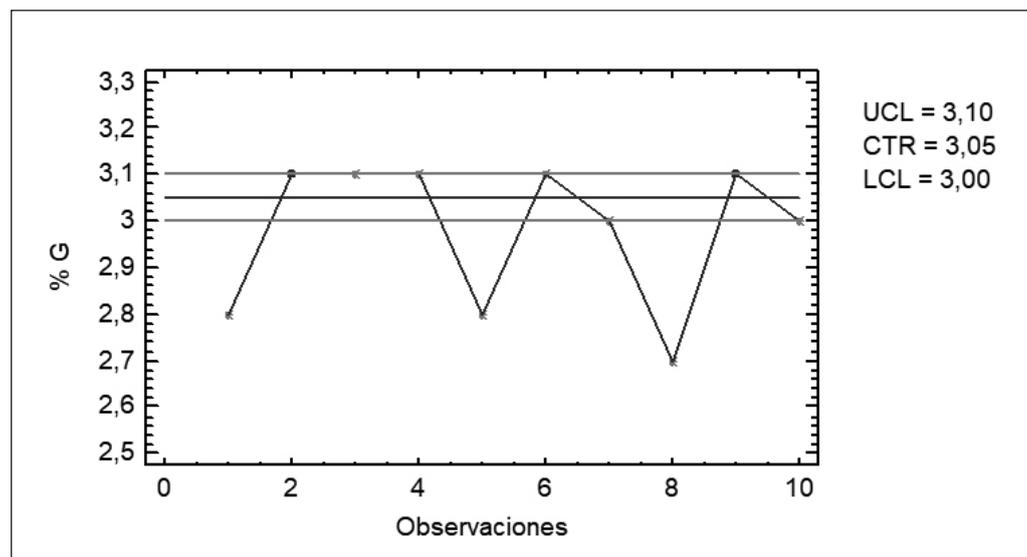


Figura 1. Grasa en la leche estandarizada.

La acidez y el pH se encuentran dentro de los valores normados, lo que evidencia un adecuado tratamiento y conservación de la leche desde su obtención en las vaquerías, mientras

que los SNG están por debajo de los valores establecidos, lo que se debe a la propia composición de la leche cruda y la no estandarización en cuanto a estos componentes.

3.2. Caracterización del suero

El porcentaje promedio de grasa en el suero fue 0,31% con 0,07 de desviación estándar y con 23,80% de coeficiente de variación, resultados que se encuentran por encima ($p \leq 0,05$) de los reportados por la FAO (1980) (0,3% máximo). Si se analiza el comportamiento individual por producciones en cuanto a grasa en la leche resultante de la estandarización (Figura 1) y grasa en el suero (Figura 2), se puede apreciar que justamente las producciones de mayores pérdidas de grasa en el suero coinciden con aquellas en las que la estandarización grasa-proteína no fue adecuada por un mal manejo de los operarios. No obstante, a pesar de que los valores de grasa en suero se encuentran por encima de lo reportado, la diferencia es solo de 0,01 para la media y 0,1 en los resultados individuales.

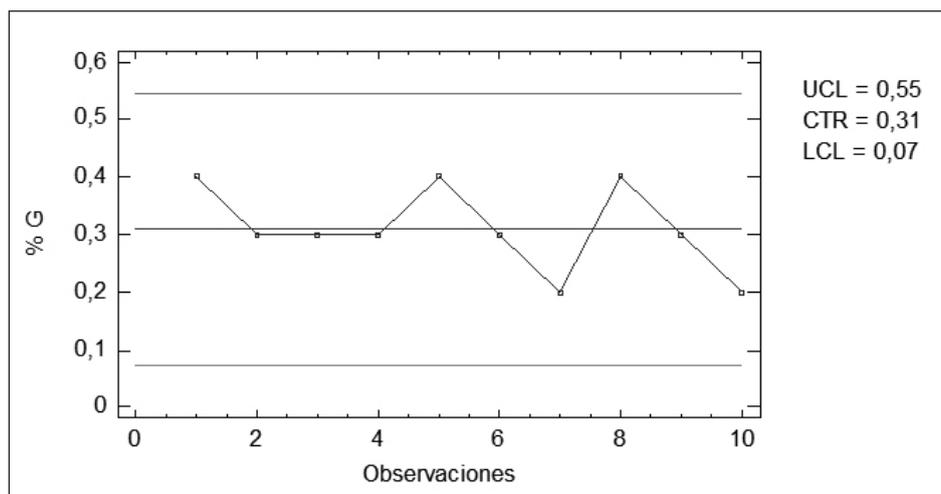


Figura 2. Grasa en el suero.

3.3. Caracterización del queso a la salida de prensa

En la Tabla 2 se muestran los valores promedios de los parámetros correspondientes a los quesos a la salida de la prensa. De manera general, los quesos presentaron condiciones favorables para el desarrollo de los cultivos adicionados y están en corresponden-

cia con los objetivos trazados en cuanto a la humedad y la grasa, parámetros que son de gran relevancia para lograr una adecuada conservación del queso, desde las primeras etapas de maduración. A pesar de ello, los valores más bajos de grasa (26%) se corresponden con los quesos que fueron elaborados a partir de las leches no estandarizadas adecuadamente.

Tabla 2. Características químico-físicas del queso a la salida de prensa

Características químico-físicas	Media (D.E)	Coefficiente de variación	Valores de referencia
pH	5,75 (0,26)	4,62	5,74 ⁽¹⁾
Humedad (%)	48,19 (1,29)	2,36	48 mínimo ⁽²⁾
Grasa (%)	26,6 (0,45)	1,72	27 ⁽²⁾
HQD (%)	65,65 (1,34)	2,04	75 máximo ⁽³⁾
GES (%)	51,32(0,89)	1,74	48 mínimo ⁽²⁾

Media: valores medios de 10 determinaciones

(D.E.): Desviación estándar.

⁽¹⁾ Valores reportados por Brito (1995).

⁽²⁾ Objetivos trazados para este queso.

⁽³⁾ Valores reportados en Tetra Pak Processing Systems AB (2003).

3.4. Rendimiento y aprovechamiento de los componentes y mermas

Los resultados relacionados con el rendimiento, aprovechamiento de los componentes y mermas se presentan en la Tabla 3. Se puede apreciar que el rendimiento se encontró dentro de los valores re-

portados en Suárez (2010). No obstante, las producciones en las que no se estandarizó adecuadamente fueron en las que se obtuvieron menor cantidad de queso por kilogramo de leche, por lo que se corrobora el hecho de que la estandarización grasa-proteína es uno de los aspectos fundamentales que influye en el rendimiento.

Tabla 3. Rendimiento, aprovechamiento de los componentes y mermas en la elaboración del queso

Parámetros	Media (DE)	Coefficiente de variación	Valores de Referencia
Ra (%)	9,3 (0,24)	2,80	9 -10 ⁽¹⁾
IC(G)	0,3655 (0,01)	5,31	0,4076 ⁽²⁾
IC(SNG)	0,9868 (0,03)	3,88	1,0459 ⁽²⁾
Merma en salmuera (%)	3,36 (0, 31)	9,21	4,5 ⁽³⁾
Merma en maduración (%)	9,25(0,24)	2,66	10 ⁽¹⁾

Media: Valores medios de diez producciones de queso.

(D.E.): Desviación estándar.

⁽¹⁾ Valores reportados por Solís (2010)

⁽²⁾ Valores normados para queso Patagrás

⁽³⁾ Valores reportados por González (2002).

A pesar de que los resultados se encuentran entre los valores generales reportados por Suárez (2010), los rendimientos en este estudio son menores a los reportados en investigaciones correspondientes a queseras de otros países (Villegas *et al.*, 2017; NC1609.64, 1997). No obstante, se plantea que el rendimiento depende de las normas legales que regulan la composición de las distintas variedades de queso (Suárez, 2010).

Los índices de consumo, tanto de la grasa como de los SNG, para el queso en estudio son estadísticamente menores ($p \leq 0,05$) a los valores establecidos para el queso Patagrás (Tabla 3). Estos resultados indican que los componentes de la leche, fundamentalmente las grasas y proteínas, fueron aprovechadas adecuadamente, lo que corrobora que las pérdidas de grasa en el suero no son tan elevadas. Estos componentes influyen de manera directa al confeccionar la ficha de costo de este queso y con los resultados obtenidos podemos asumir la posibilidad de un producto económicamente factible y competitivo para el mercado del

sector del turismo donde la demanda de quesos semiduros es muy elevada.

Las mermas de los quesos en el proceso de salado y la merma total a la salida de la nevera de maduración presentan un comportamiento bajo (significativamente menor para $p \leq 0,05$) (tabla 3) teniendo en cuenta lo reportado por otros autores. De acuerdo con lo descrito por González (2002) el queso pierde en el proceso de salado aproximadamente el 4,5% de su peso, ya que este proceso contribuye a la pérdida de suero. En la etapa de maduración las pérdidas pueden ser de hasta un 10% (queso Patagrás), debido a que en este proceso tienen lugar una serie de modificaciones en los componentes del queso, entre los que se encuentra la continua pérdida de suero.

3.5. Evaluación sensorial de los quesos

La Tabla 4 muestra las calificaciones promedio de los atributos de los quesos a partir de la evaluación realizada por los diferentes jueces. Las calificaciones de los quesos estuvieron influenciadas por los siguientes elementos.

Tabla 4. Evaluación sensorial del producto

Características	Media (D.E)	Coefficiente de variación (%)	Valores de referencia ⁽¹⁾	Calificación
20 días	18,8 (0,32)	1,73	18,0-18,9	Muy buena
30 días	19,8 (0,20)	1,04	19,0-20,0	Excelente
40 días	18,5 (0,78)	4,21	18,0-18,9	Muy buena

(D.E.): Desviación estándar.

⁽¹⁾ Fuente: Zamora (2006).

Los quesos a los 20 días de maduración presentaron características débiles de sabor, olor, color y brillo de la masa debido a que en este tiempo no han ocurrido todos los procesos que intervienen en la maduración para este tipo de queso. Estos procesos incluyen la formación de componentes volátiles como aminoácidos, ésteres y metilcetona mediante la hidrólisis de proteínas y grasas, además de la liberación de betacarotenos y las pérdidas de agua que provoca el aumento de la concentración de sales.

En cambio los quesos a los 30 días presentaron solamente defectos mecánicos generados generalmente durante el proceso de prensado, en el resto de las características evaluadas recibieron el máximo de las puntuaciones. Estas son condiciones ideales para que, desde las etapas tempranas, exista un adecuado proceso de conservación.

Sin embargo, a los 40 días los quesos evaluados presentaron amargor de forma ligera y mode-

rada, lo que se debe a que, durante la maduración de la cuajada, la parte externa del queso forma una capa semicerrada con un contenido inferior de humedad (corteza). Esta capa está constituida por una masa de queso que, al comienzo de la maduración, presenta la misma composición que la parte interna del queso. Debido a la influencia del gradiente de la sal en la salmuera, del oxígeno, de la deshidratación y de otras reacciones, la corteza adquiere sucesivamente una composición ligeramente distinta a la del interior del queso y a medida que transcurren los procesos madurativos tiende a presentar un sabor más amargo. Este sabor va migrando a la masa del queso por lo que es importante detener el proceso de maduración, o sea proceder al empaque y almacenamiento del producto en nevera de 4 a 6 °C. La prueba ANOVA realizada (Tabla 5) indica que existen diferencias significativas ($p = 0,0000$) entre los tres tiempos de maduración

Tabla 5. ANOVA de la evaluación sensorial

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Media cuadrática	Relación F	Valor P
Entre los grupos	9,25867	2	4,62933	18,25	0,0000
Dentro de los grupos	6,848	27	0,25363		
Total	16,1067	29			

De acuerdo con la prueba Duncan realizada (Tabla 6) no existen diferencias significativas entre los 20 y 40 días de maduración, mientras que a los 30 días sí, donde se alcanza una puntuación superior

a los otros dos períodos de maduración, demostrándose que los quesos a este tiempo de maduración presentaron una mayor calidad.

Tabla 6. Dúcan de la evaluación sensorial.

Nivel	Cuenta	Media	Grupos homogéneos
3	10	18,56	X
1	10	18,8	X
2	10	19,84	X

4. Conclusiones

La leche cruda presenta como promedio las siguientes características acidez: 0,14%, grasa: 3,4%, densidad: 1,029 g/L, SNG: 8,07%, proteínas: 3,03% y pH: 6,6; cumpliendo con las especificaciones químico-físicas establecidas en la NC-448 (2006), con excepción de los sólidos no grasos los cuales se encontraron por debajo de los valores normados.

El queso a la salida de prensa cumple con los parámetros tecnológicos propuestos para este proceso de fabricación: pH (5,7), HQD (65,6%) y GES (51,3%) los cuales garantizan la evolución exitosa del proceso de maduración.

En el proceso de elaboración de queso Gouda semiduro se obtuvieron buenos rendimientos (9,3%) y se aprovecharon adecuadamente los componentes de la leche utilizada, obteniendo índices de consumo IC(G)

= 0.365501 y IC(SNG) = 0.986804) inferiores a los del Patagrás, lo que corrobora la factibilidad de la estandarización mediante la relación grasa/proteína.

En la evaluación sensorial, la mayor calificación (*Excelente*) la obtuvieron los quesos a los 30 días de maduración, mientras que a los 20 y 40 días fue *Muy buena*.

Los resultados de este trabajo serán de gran beneficio a la fábrica de quesos Gouda ya que su introducción garantiza lograr la calidad requerida en el producto a comercializar.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la fábrica de quesos Sibanicú por su apoyo y contribución al desarrollo del trabajo y a la planta piloto de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Cuba.

Referencias

- Brito, C. (1982). *Fundamentos químicos y microbiológicos en elaboración de quesos*. Universidad Austral de Chile: Valdivia.
- De Marchi, M., Zotto, R., Cassandro, M., & Bittante, G. (2007). Milk coagulation ability of five dairy cattle breeds. *Journal of Dairy Science*, 90(8), 3986-3992.
- Dilanian, S. (1980). *Fundamentos de quesería*. Moscú: Industria Alimenticia y Ligera.
- Early, R. (2002). *Tecnología de los productos lácteos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Emplac - Empresa Productos Lácteos Camagüey. (2018). *Informes de acopio de leche*. Cuba: Empresa Productos Lácteos Camagüey.
- Escobar, D., Pelaggio, R., Grille, L., Colzada, E., Rampoldi, C., Carro, S., Delucchi, I., Viola, N., Nolla, J. P., Reinares, R., Chilbroste, P. y Piedrabuena, L. (2014). Efecto del perfil de caseínas, recuento de células somáticas y composición de la leche en el rendimiento del queso Dambo, *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay*, 9, 31-42.
- FAO - Food and Agriculture Organization. (1980). *Manual de fabricación de quesos*. Roma: FAO.
- González, M. (2002). *Tecnología para la elaboración de queso amarillo, cremas y mantequilla*. Universidad Tecnológica de Panamá.
- NC 119. (2006). *Leche. Determinación de densidad*. La Habana, Cuba: Comité Estatal de Normalización.
- NC 448. (2006). *Leche cruda. Especificaciones de calidad*. La Habana, Cuba: Comité Estatal de Normalización.

- NC 71. (2000). *Leche. Determinación de acidez*. La Habana, Cuba: Comité Estatal de Normalización.
- NC 78-11-03. (1983). *Leche. Método de ensayo. Determinación del índice de pH*. La Habana, Cuba: Comité Estatal de Normalización.
- NC 78-16. (1984). *Quesos. Determinación de pH*. La Habana, Cuba: Comité Estatal de Normalización.
- NC 78-17. (1984). *Quesos. Determinación de humedad*. La Habana, Cuba: Comité Estatal de Normalización.
- NC 78-18. (1984). *Leche y sus derivados. Quesos. Determinación del contenido de materia grasa*. La Habana, Cuba: Comité Estatal de Normalización.
- NC1609.64. (1997). *Quesos semiduros. Especificaciones de calidad*. La Habana, Cuba: Comité Estatal de Normalización.
- NC-ISO2446. (2003). *Leche. Determinación del contenido de materia grasa. Método de rutina*. La Habana, Cuba: Comité Estatal de Normalización.
- NRIAL 170. (2000). *Determinación del contenido de sólidos totales y sólidos no grasos de la leche mediante la fórmula de Richmond. Método de ensayo*. La Habana, Cuba: Comité Estatal de Normalización.
- Panreac Química S.A. (1999). *Métodos analíticos en alimentaria: aguas: métodos oficiales de análisis químicos y biológicos*. Panreac Química S.A.
- Peña, A. E., & Quintanilla, M.A. (1991). El rendimiento quesero. *Alimentaria*, 220, 39-42.
- Solís, M.A.D 2010. *Caracterización de la producción artesanal de queso ranchero de la zona del centro del estado de México*. Universidad Autónoma del estado de México.
- Suárez, V. (2010). *Manual de tecnología de quesos*. La Habana, Cuba.
- Tetra Pak Processing Systems AB. (2003). *Manual de industrias lácteas*. López Gómez, A., & Madrid Vicente, A. (traduc.), España.
- Villegas, N. R., Díaz, J. A., & Hernández, A. (2017). Evaluación de la eficiencia tecnológica en la elaboración artesanal de queso fresco de coagulación enzimática. *Tecnología Química*, 37(3), 1-12.
- Zamora, E. (2006). *Procedimiento analítico para el control de la calidad sensorial de productos de la industria láctea*. La Habana, Cuba: Minal.

Herramientas de planificación participativas para el desarrollo turístico comunitario. Caso de estudio.

Participatory planning tools for community tourism development. A case study

Ángel Guillermo Félix Mendoza^{1*}, Miriam Paola Ganchozo Lucas²

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, Calceta, Manabí, Ecuador.

 <https://orcid.org/0000-0003-1586-1068>

² Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, Calceta, Manabí, Ecuador.

 <https://orcid.org/0000-0002-5966-9871>

✉ Autor para correspondencia: guillofelix@gmail.com

Resumen

La planificación del turismo comunitario es una necesidad para el óptimo desarrollo local de las comunidades receptoras. La presente investigación tiene como objetivo estructurar una serie de programas y proyectos basados en la utilización de herramientas participativas de diagnóstico, que contribuyan a la planificación turística de la comunidad Piedra de Plata, en Manabí. Luego de varias reuniones con la comunidad, se lograron identificar diferentes factores que inciden en el desarrollo local, a través de la utilización de matrices de diagnóstico de factores internos (EFI) y de factores externos (EFE), dicha valoración se la obtuvo en función del nivel de relación existente entre estos factores. Se complementó el estudio con la actualización del inventario de recursos naturales mediante la utilización de la ficha automatizada de inventario de atractivos turísticos del Ministerio de Turismo del Ecuador (2017). Como resultado de la valoración y correlación de los factores internos y externos identificados, se definieron estrategias de desarrollo, las mismas que han sido transformadas en programas y proyectos para la comunidad, y que pasarán a formar parte de una propuesta comunitaria integrada que será elevada a las autoridades seccionales. En esta investigación se tomó en cuenta el potencial que posee el suelo agrícola del área de estudio; además que representa una oportunidad para la implementación de modalidades sostenibles como el agroturismo, unido a la demanda de uno de los chocolates más cotizados del mundo, cuya materia prima es extraída de esta zona, lo que influye en la posible generación de productos e infraestructura turística para la comunidad.

Palabras clave: planificación turística, agroturismo, turismo rural, diagnóstico turístico, turismo comunitario.

Abstract

Community based tourism planning is a necessity for an optimal local development of the receiving communities. The objective of this research is to structure a series of programs and projects based on participatory diagnostic tools that contribute to the tourist planning of the Piedra de Plata community in Manabí. Meetings were held with the community, in which they were able to identify factors that affect local development, through the use of diagnostic matrices of Internal Factors (EFI) and External Factors (EFE), final proposals were obtained depending on the level of relationship between these factors. The study was complemented by updating the inventory of natural resources, using the methodology of the Ministry of Tourism Ecuador (2017). As a result of the valuation and correlation of the internal and external factors identified, development strategies were defined, which have been transformed into programs and projects for the community. They will become part of an integrated community proposal that will be presented to the sectional authorities. This research takes into account the potential of the agricultural soil in the study area. In addition, it represents an opportunity for the

implementation of sustainable modalities such as agrotourism, which holds one of the most sought-after chocolates in the world, whose raw material is extracted from this area, which influences the possible generation of tourism products and infrastructure for the community.

Keywords: tourism planning, agritourism, rural tourism, tourist diagnosis, community tourism.

1. Introducción

De acuerdo con el informe “Panorama del turismo internacional, edición 2018”, emitido por la Organización Mundial de Turismo (OMT), durante el año 2017 se registró el mayor crecimiento en llegadas de turistas internacionales en siete años, desde 2010. Destinos que habían sido afectados por temas de seguridad en los últimos años se recuperaron, se fortaleció y restableció la demanda de viajes en los principales mercados emisores y emergentes. Esto provocó que el sector turístico contribuya con el 10% del PIB mundial, genere 1 de cada 10 empleos en el mundo y represente el 7% de las exportaciones mundiales con un aporte de 1,6 billones de dólares (OMT, 2018).

En el Ecuador, durante el año 2019 se registraron alrededor de dos millones de llegadas de extranjeros (MINTUR, 2020), esta información es reportada desde los puntos de migración de todo el país, lo cual no significa que represente el total de turistas internacionales, pero brinda un acercamiento; con esta referencia se puede contrastar el aporte del turismo al PIB durante el 2019, que fue de 5,18% (MINTUR, 2020), y nos otorga un panorama de lo que sucede con la actividad turística en el Ecuador, que contrasta con menos de la mitad de la contribución promedio del PIB mundial.

La actividad turística se basa principalmente en la naturaleza y en las manifestaciones culturales que la rodean; el aprovechamiento de los recursos naturales, en ciertos casos, se realiza sin una planificación eficiente. En la actualidad, debido a problemas ambientales y socioeconómicos, principalmente en zonas rurales, los organismos que rigen la actividad turística nacional, como el Ministerio de Turismo (MINTUR), se han visto en la necesidad de fomentar el desarrollo de nuevas alternativas turísticas, tales como el ecoturismo, el turismo rural y el turismo cultural (Félix & Doumet, 2016). Todas estas acciones deben estar debidamente planificadas; por esta razón, en el 2019, se presenta el Plan de Desarrollo Turístico Sostenible 2020-2030, el cual pretende formular lineamientos que desarrollen el sector turístico en el país, impulsando la implementación de un

modelo de gestión basado en políticas y estrategias de planificación territorial y turística; la diversificación de productos, el impulso a la innovación e inversión, y el desarrollo de recursos humanos; de tal forma que se mejore la competitividad internacional del país como destino turístico (MINTUR, 2019).

Tal como se plantea en los modelos de gestión del Plan Nacional del Buen Vivir, en el eje quinto, citado por Toctaguano (2019):

Lo constituye el impulso al turismo de naturaleza y especialmente comunitario, que se presentan, también como actividades alternativas que permiten aprovechar el valor paisajístico de la naturaleza, generando oportunidades educativas, lúdicas, además de trabajo y redistribución de la riqueza. Sin embargo, esta industria también necesita desarrollar capacidades, como la formación profesional en todos los campos de servicios turísticos y de naturaleza e inversión en los planes de manejo de los espacios naturales y generación de información de las oportunidades turísticas a nivel nacional e internacional. (p. 118)

El turismo comunitario en el Ecuador es un modelo de gestión local que se ha desarrollado por más de 30 años. Sin embargo, la realidad muestra que esta modalidad enfrenta grandes retos para su óptimo desarrollo (Cabanilla & Garrido, 2018). Los procesos de comercialización efectiva, tanto a nivel receptivo como a escala doméstica no son los más adecuados, junto a la poca inclusión de la comunidad en los métodos de planeación y formulación de estrategias. Esto ha provocado que de aproximadamente 231 emprendimientos que se han establecido en el país, tan solo 99 se encuentran activos hasta el 2016 (Cabanilla *et al.*, 2017). Sin embargo, existen ejemplos exitosos alrededor del país que sirven como modelo para otras comunidades que pretenden mejorar su calidad de vida y diversificar su economía, lo cual debe ser analizado por las instituciones locales, academia y organismos internacionales.

En la provincia de Manabí el turismo posee las condiciones especiales para su desarrollo, basadas en el uso de los recursos naturales y culturales, lastimo-

samente no han sido aprovechados de manera óptima (Chinga & Párraga, 2011). Existen varios proyectos de turismo alternativo como son: la Comuna de Agua Blanca, la Isla Corazón y Río Muchacho, emprendimientos que tienen buena reputación a nivel nacional relacionados al ecoturismo; pero cabe destacar que a pesar de la existencia de estos lugares, hace falta establecer nuevas estrategias que permitan mejorar el desarrollo rural, ejecutando y diseñando nuevos productos a nivel provincial (Félix, 2018). Según el mismo autor, en la provincia de Manabí se pueden visualizar varios problemas en sus comunidades relacionados a la escasa inversión en actividades alternativas, que disminuyan el mal manejo de los recursos naturales (malas prácticas agropecuarias) y el poco aprovechamiento de estos recursos mediante la actividad turística. Esto último sería un factor clave en el área de estudio, pues la carencia de una cultura ambiental y de conservación van ligadas a la falta de propuestas que generen cambios en los procesos productivos convencionales realizados en la zona.

La comunidad Piedra de Plata se encuentra ubicada en Manabí, Ecuador, a 18 km de la cabecera cantonal, Calceta, y a 48 km desde el cantón Pichincha. Esta comunidad cuenta con características naturales que pueden ser promovidas de manera eficiente mediante el turismo. Posee recursos como cascadas, ríos, producción agropecuaria tradicional, gastronomía típica, manifestaciones culturales y, lo más relevante, flora y fauna diversa; todos estos componentes, con un adecuado impulso, podrían representar una alternativa de desarrollo en dicha comunidad. Esto representa un antecedente importante para dar inicio a actividades no tradicionales en el sector y, de alguna manera, diversificar la economía local a través de recorridos turísticos con alto nivel de experiencia, específicamente enfocados en el agroturismo comunitario. A partir de esta información se podría plantear la siguiente pregunta: **¿De qué manera se puede incluir a la comunidad en la generación de proyectos y programas que contribuyan al desarrollo turístico del sector?**

La investigación ofrece una panorámica de la situación actual de la comunidad y sus recursos, acompañada de la identificación de los factores que la limitan o potencian, tanto internos como externos, entre ellos, la producción de cacao aparece como una gran oportunidad de desarrollo turístico. En la actualidad, muchas organizaciones nacionales e internacionales se encuentran en la búsqueda del mejoramiento de la cadena de valor del cacao y su proceso productivo, esto puede ser

aprovechado para el posicionamiento en nuevos mercados de las producciones locales de cacao nacional, las cuales, en conjunto con la excepcionalidad de su paisaje, pueden llegar a ser muy bien valoradas (Félix, 2018).

Con esta finalidad se desarrollaron talleres participativos, los mismos que dejaron experiencias importantes. Entre los aspectos a resaltar está el conocimiento de la realidad local por parte de la comunidad, la presencia de instituciones de educación superior con sus proyectos de investigación y extensión comunitaria, entre otras, que podrían ser de mucho beneficio para el sector. También dentro de la comunidad existen líderes comunitarios con una clara perspectiva de los problemas socioeconómicos de su alrededor. Todo esto facilitó la generación de espacios que promovieron el debate de ideas y propuestas en procura de su desarrollo.

Se realizó un planteamiento de proyectos y programas a implementar, los mismos que se alinean a las directrices de la planificación turística nacional, para lo cual es importante la generación de alianzas estratégicas y creación de proyectos de implementación que promuevan un cambio sustancial en el territorio, y los encaminen a la práctica de modalidades turísticas sustentables.

2. Revisión de literatura

El turismo es uno de los principales sectores económicos a nivel internacional. Así, desde hace años se viene trabajando en el desarrollo de nuevas formas de turismo, que se practican de forma sostenible, y tienen como finalidad mejorar el nivel socioeconómico de las comunidades locales a través del aprovechamiento de su potencial cultural, patrimonial y natural, buscando, al mismo tiempo, la conservación de los mismos (Orgaz-Agüera, 2013). Se observa que en los niveles locales se gestan oportunidades para el surgimiento de nuevos actores y nuevas actuaciones en términos de participación e involucramiento por parte de la sociedad civil en los procesos de desarrollo. Es así como, las comunidades indígenas, al igual que muchos otros grupos minoritarios, hasta hace muy poco olvidados, ahora son parte esencial de esta reinención por la que atraviesa la idea del desarrollo (Bringas & González, 2004). Sin duda, uno de los elementos recurrentes para potenciar el desarrollo de tales comunidades se refiere al aprovechamiento turístico de los recursos naturales y culturales inherentes a éstas.

El turismo se presenta como una alternativa al desarrollo local de pequeñas comunidades, no sin antes mejorar aspectos como la deficiente capacitación técnica y el escaso conocimiento sobre las necesidades del visitante (Félix *et al.*, 2019). Las nuevas alternativas turísticas sostenibles y, por ende, el involucramiento de la comunidad, constituyen una importante fuente de ingresos que incide positivamente en la dinamización socioeconómica y medioambiental del sector (Ibáñez, 2014; Secretaría de Turismo, 2004; Zamorano, 2007). La dinamización socioeconómica influye en la calidad de vida de la población dentro del territorio, se entiende entonces que, determinar la cadenas de valor de un destino turístico, representa un cambio en las estrategias de vida de dichos lugares (Llop, 2011). Esto es observable en aquellos destinos que se desarrollan bajo un modelo de pequeños y medianos emprendimientos, con fuerte capital social y cooperación de los miembros de la comunidad, quienes participan en la planificación y gestión de la oferta turística, ligada a la tendencia del nuevo turista que prefiere una actividad más individualizada, con un alto grado de interés por la tranquilidad, de contacto con la naturaleza y la cultura, dejando atrás aquellas vacaciones pasivas por eventos más participativos (Yumisaca *et al.* 2020, p. 10).

A finales de la década de 1980, emergieron en varios lugares del mundo comunidades de pueblos originarios y campesinos que se involucraron directamente en la planificación, operatividad y beneficios de emprendimientos turísticos, se los conceptualizó de diversas formas: turismo indígena, étnico, turismo rural comunitario o ecoturismo comunitario. Se visualizaban como una estrategia de apoyo a la conservación de las áreas naturales, especialmente de aquellas protegidas (Cabanilla & Garrido, 2018). En Ecuador, el turismo comunitario apareció como una gran oportunidad de desarrollo y fue incluido como política pública en la Ley de Turismo del 2002. Según Vieira Rodríguez *et al.* (2012), el turismo interno genera empleo, evita la migración de personas y divisas, dinamiza actividades industriales y artesanales, vincula comunidades y permite tener ingresos significativos; es por ello importante adaptar herramientas que faciliten las actividades de planificación turística. Para esto es necesario establecer estrategias que den paso a la buena planificación y que dichas estrategias partan desde compromisos entre organismos públicos y privados (Lima *et al.*, 2012).

Por otra parte, Cabanilla (2018) manifiesta que el turismo comunitario constituye una opción de desarrollo, pero en Ecuador dicho concepto se en-

cuentra en construcción, debido al desconocimiento de varias pautas para su desarrollo. El auge de esta actividad se ve directamente relacionado a los intereses de organizaciones no gubernamentales extranjeras que desarrollaron proyectos en varias provincias del país como Napo, Pastaza, Bolívar, Manabí, entre otras. Es necesario tener claro que el fin de esta modalidad turística comunitaria, es el garantizar la distribución local de los beneficios. Según investigaciones de Sarango & Cabanilla (2016), existen parámetros que son necesarios para la planificación estratégica, basados en la aplicación de una herramienta con enfoque participativo, como es el FODA, lo que luego permite desplegar varias estrategias y acciones, mismas que han sido tomadas como referencias en varios trabajos, tales como la sistematización del levantamiento de los elementos del sistema turístico, el análisis de la expectativa de la población turística frente al posible desarrollo del turismo, y la evaluación FODA de los elementos estudiados. Por lo tanto, la investigación busca a través de metodologías participativas con la comunidad, identificar factores internos y externos que potencien el desarrollo del turismo en la comunidad, a través de la implementación de programas y proyectos que promuevan la búsqueda de financiamiento por parte de los líderes comunitarios y autoridades locales.

El desarrollo territorial resiliente en áreas rurales debe estar ligado directamente al patrimonio que poseen las comunidades y a que esto contribuya a un mejoramiento del nivel económico, permitiendo conservar el acervo patrimonial. Es necesario estudiar con herramientas viables el efecto del turismo en el ámbito comunitario y cultural (Del Espino, 2020). El turismo comunitario conlleva una coordinación y participación integral entre la planificación y desarrollo (Cabanilla & Garrido, 2018), por tal razón es de suma importancia definir las herramientas de planificación participativas en el área de estudio, para así lograr una gestión transversal, tomando en cuenta el campo de acción del turismo múltiple; debido a esto la planificación debe ser el eje de todo proceso y las herramientas deben contener un mecanismo de seguimiento participativo (Cardozo *et al.*, 2016).

La planificación turística ha sido definida, de manera general, como el proceso racional y ordenado para alcanzar el crecimiento del desarrollo turístico (Osorio García, 2006), lo que a su vez ayuda a prevenir problemas de gestión, permitiendo establecer una herramienta de desarrollo socioeconómico y social eficiente en comunidades rurales. Además, un plan estratégico ayuda a definir las estrategias a ser

utilizadas dentro de la comunidad, las cuales tienen como objetivo fundamental el avance económico de la zona, la preservación del medio ambiente y la introducción de mejoras socioeconómicas (Miranda, 2014). En el turismo las etapas de seguimiento y evaluación, mejoran la contribución y establecen lazos claros entre las iniciativas del pasado, presente, futuro y los resultados de desarrollo (Clark, 2009).

En los últimos años han aparecido nuevos instrumentos en la práctica de la ordenación del territorio y, más concretamente, en el ámbito de la planificación turística (López Palomeque, 2007). La responsabilidad social adquiere sumo interés al momento de planificar y trazar líneas hacia el camino de la sostenibilidad. Hay que ser sensibles y recordar que para las comunidades, sostenibilidad y desarrollo, implica directamente economía/dinero (De la Fuente, 2019, p. 7). También menciona que el desafío del cambio climático lleva a buscar otras opciones como es el turismo con sostenibilidad y dicha palabra deber estar ligada a la planificación bien estructurada, para que así se pueda mitigar el crecimiento, pues éste, sin una planificación estratégica a largo plazo, puede ser un agresor con el entorno de muchos destinos (De la Fuente, 2019, p.8).

El establecimiento de programas y proyectos, se presenta como una opción para ordenar la infor-

mación obtenida de los diagnósticos participativos, que contribuya, de cierta manera, a instituir un proceso de planificación en comunidades que estén iniciando sus pasos en la actividad turística, ya que esto facilitará la gestión de recursos por parte de los dirigentes comunitarios, quienes en función de las competencias de las instituciones y organismos presentes en el territorio, buscarán el financiamiento adecuado a través de un folder de ideas o proyectos.

3. Materiales y métodos

La comunidad Piedra de Plata se encuentra ubicada en Manabí, Ecuador, a 18 km de la cabecera cantonal, Calceta, y a 48 km desde el cantón Pichincha (Figura 1). El sustento económico de la comunidad se basa principalmente en la agricultura y ganadería, por lo que el turismo, en dicha zona, es una actividad casi desconocida, a pesar de contar con características propias de sus recursos naturales como cascadas, ríos, gastronomía típica, manifestaciones culturales y, lo más relevante, su flora y fauna, no existe un solo producto turístico que involucre actividades de agroturismo o de turismo rural. Lo que se busca a través de la implementación de los proyectos y programas como resultado del uso de las herramientas participativas es fomentar el desarrollo turístico del área de estudio.



Figura 1. Ubicación geográfica de la comunidad Piedra de Plata (Obtenido de Google maps)

La metodología que se utilizó en la investigación está enfocada en el objeto de estudio; es de carácter exploratoria y descriptiva, se basa en primera instancia en la recolección de datos cualitativos a través del trabajo de campo. Se utilizaron varias técnicas investigativas durante la realización de los talleres participativos con las comunidades, empezando con la estructuración de la investigación mediante la metodología investigación, acción y participación (IAP) (Martí, 2000), la cual ha contribuido a orientar la investigación mediante ciertos lineamientos que se presentan a continuación, los mismos que han sido incluidos en las matrices implementadas (Fred, 2003):

- a) En primer lugar, la detección de determinados síntomas (por ejemplo, déficits de infraestructuras, problemas de exclusión social, etc.).
- b) Luego le sigue la etapa de apertura a todos los puntos de vista existentes en torno a la problemática: se trata de elaborar un diagnóstico y recoger posibles propuestas que salgan de la propia praxis participativa y que puedan servir de base para su debate y negociación entre todos los sectores sociales implicados.
- c) Esta negociación es la que da lugar a una última etapa, de “cierre”, en la que las propuestas se concretan en líneas de actuación y en la que los sectores implicados asumen un papel protagonista en el desarrollo del proceso.
- d) La puesta en marcha de estas actuaciones abre un nuevo ciclo en el que se detectarán nuevos síntomas y problemáticas.

Los procesos de recolección de información permiten estructurar una serie de programas y proyectos, a partir del diagnóstico local participativo con la misma comunidad. Se realizó una revisión de literatura especializada, la cual sirvió para la estructuración de la introducción y marco teórico, seleccionando especialmente estudios de caso basados en metodologías, entornos y enfoques analíticos no convencionales de investigación (Buchanan & Bryman, 2018).

La presente investigación hace énfasis en la utilización de matrices sugeridas por Fred (2013), acerca de la administración estratégica y utilización de las matrices EFI y EFE, las que nacen a partir de la identificación de los factores internos y externos, esto complementará el diagnóstico, mediante la generación del inventario de recursos y la zonifica-

ción turística; también se realizó una definición de estrategias, proyectos y programas.

3.1. Fase I. Diagnóstico turístico situacional

El diagnóstico turístico situacional se basó en analizar las peculiaridades del entorno físico rural, a través del cual se determinaron aspectos hidrográficos, características de la población, análisis de los servicios básicos e infraestructura, aspectos económicos y socioculturales. Toda esta información fue recolectada *in situ* mediante la utilización del manual de diagnóstico de comunidades (Ricaurte, 2009). La determinación de los factores ambientales entre los que se destacaron inventariar los recursos naturales y culturales, la identificación de los factores internos y externos, mediante la realización de talleres participativos con la comunidad y los productores.

3.1.1. Talleres participativos

En esta etapa se llevaron a cabo cuatro talleres participativos con la comunidad, tomando como instrumentos base, manuales de diagnóstico turístico local (Ricaurte, 2009), se procedió a socializar las ideas de desarrollo turístico para el sector; con esta información y las tormentas de ideas de los participantes, se pudieron estructurar y valorar las matrices planteadas en los resultados de la presente investigación. Tema del taller: “Socialización de una propuesta para el desarrollo turístico de la comunidad Piedra de Plata, Manabí”.

Los talleres participativos se basaron en reuniones con la comunidad, específicamente con la Asociación de Cacaoteros Piedra de Plata. En la primera reunión de carácter comunicativo, se tocaron diversos temas relacionados con la producción del cacao. Usualmente se efectuó una reunión cada primer domingo de mes. ¿Por qué con ellos? Porque son ellos quienes tienen un conocimiento más amplio en cuanto a temas productivos relacionados al desarrollo, y a los problemas que impiden de cierta forma que éste se concrete. En esta reunión se llevó cabo el registro de los socios y se procedió después a la socialización, que consistió en dar a conocer la propuesta de investigación, el por qué se escogió el lugar, cuál es la importancia del turismo y qué beneficios puede dejar en las comunidades rurales.

Una vez que se dio a conocer la idea principal en la primera reunión, las tres reuniones posteriores fueron orientadas a la elaboración, valoración y análisis de las matrices, de forma participativa y secuencial, mediante la entrega de materiales para

llenar las matrices, entre otros: hojas impresas con las matrices, libretas y lapiceros a los socios. Se iban dando las directrices para la generación de ideas, mediante las cuales se pudieron obtener en primer lugar la matriz EFI para determinar cuáles son las fortalezas y debilidades de la comunidad haciendo énfasis en aspectos sociales, económicos y ambientales. Además, los factores internos claves -EFI-, surgieron de un análisis consensuado, los mismos que los investigadores iban puliendo de manera más técnica. Luego, en el siguiente taller se trabajó con la matriz EFE de factores externos como amenazas y oportunidades, los mismos que fueron trabajados de igual manera a los anteriores.

El número de personas que participaron, eventualmente, en los talleres participativos fue de 30 y estuvo conformado, principalmente, por los miembros de la Asociación de Cacaoteros de Piedra de Plata, el presidente de la comunidad y varios habitantes más. Cabe resaltar que quienes participaron fueron las personas que se encontraban más involucradas con la actividad productiva y que tenían un conocimiento más amplio sobre temas locales; también cabe mencionar que en la aplicación de varias herramientas de diagnóstico se involucraron un total de 120 personas.

3.1.2. Matriz EFI

Según Fred (2013), el primer paso consiste en enumerar los factores internos, incluyendo tanto fortalezas como debilidades; pueden ser de 10 a 20 factores, asignar un valor que vaya de 0,0 (sin importancia) a 1,0 (muy importante) a cada factor, la suma de todos los valores debe ser igual a 1,0 ó 100, asignar una clasificación de 1 a 4 a cada factor para indicar si dicho factor representa una debilidad mayor (clasificación de uno), una debilidad menor (clasificación de dos), una fortaleza menor (clasificación de tres) o una fortaleza mayor (clasificación de cuatro) y, por último, multiplicar el valor de cada factor por su clasificación para determinar un valor ponderado para cada variable.

Se suman los valores ponderados de cada variable para determinar el valor ponderado total de la comunidad. Los puntajes de valor muy por debajo de 2,5 caracterizan debilidades relevantes, mientras que los puntajes muy por arriba de 2,5 indican fortalezas importantes.

3.1.3. Matriz EFE

Según Fred (2013), es necesario enumerar los factores externos, incluyendo tanto oportunidades

como amenazas, pueden ser de 10 a 20 factores, asignar un valor que vaya de 0,0 (sin importancia) a 1,0 (muy importante) a cada factor, la suma de todos los valores debe ser igual a 1,0 ó 100, asignar una clasificación de uno a cuatro a cada factor externo clave para indicar con cuánta eficacia responden las estrategias actuales de la comunidad a dicho factor, donde cuatro corresponde a la respuesta es excelente, tres a la respuesta está por arriba del promedio, dos a la respuesta es de nivel promedio y uno a la respuesta es deficiente, multiplicar el valor de cada factor por su clasificación para determinar un valor ponderado y sumar los valores ponderados de cada variable para determinar el valor ponderado total de la empresa.

Los puntajes de valor muy por debajo de 2,5 caracterizan a las amenazas como más importantes, mientras que los puntajes muy por arriba de 2,5 indican que las oportunidades tienen mayor incidencia.

3.1.4. Inventario de recursos

Según el MINTUR (2017), la clasificación de las categorías de atractivos en esta metodología se la hace en dos grupos: sitios naturales y manifestaciones culturales. Ambas categorías se agrupan en tipos y subtipos.

En la categoría de sitios naturales se reconocen los tipos: montañas, planicies, desiertos, ambientes lacustres, ríos, bosques, aguas subterráneas, fenómenos espeleológicos, costas o litorales, ambientes marinos, tierras insulares, sistema de áreas protegidas. En la categoría manifestaciones culturales se reconocen los tipos: históricos, etnográficos, realizaciones técnicas y científicas, realizaciones artísticas contemporáneas y acontecimientos programados.

En la categoría se definen los atributos que tiene un elemento y motivan la visita turística dependiendo de su naturaleza, el tipo son los elementos de características similares en una categoría y el subtipo son los elementos que caracterizan los tipos. Posteriormente se da la evaluación de los atractivos, se evalúan un conjunto de atractivos, lo que significa establecer una relación de orden entre los elementos de ese conjunto, con base en la descripción contenida en los formularios de registro de la información. El proceso de evaluación conduce a la asignación de una jerarquía.

La descripción de los parámetros de evaluación: los atractivos deberán ser evaluados con base en tres parámetros: información consignada en los

formularios, estudio fotográfico (mínimo 5 tomas por atractivo) y un minucioso conocimiento de los evaluadores sobre las características particulares de los atractivos. La jerarquía se establece a partir de la suma de los valores asignados a cada factor, y en función de los puntos obtenidos se determina el rango jerárquico donde se ubica el atractivo. Los rangos son: 1 a 25 puntos: Jerarquía I; 26 a 50 puntos: Jerarquía II; 51 a 75 puntos: Jerarquía III; 76 a 100 puntos: Jerarquía IV.

3.2. Fase II. Diseño de estrategias

En primera instancia se partió del análisis de las matrices antes mencionadas, otorgando ponderaciones según la relación existente entre los aspectos externos e internos con una escala valorativa de 0, sin impacto, a 3, con mucho impacto, de esta manera se determinaron los cuadrantes estratégicos para así, en la fase estratégica, mantener la relación al momento de establecer los programas y proyectos que parten de este análisis; además, cabe mencionar que se tomó en cuenta el plan propuesto para el 2030 (MINTUR, 2019), el mismo que sirvió como herramienta de análisis muy oportuna, donde se intentó correlacionar las estrategias encontradas en esta investigación y los programas y proyectos de dicho plan, después se seleccionaron los más idóneos para el área de estudio.

En el desarrollo de esta fase se establecieron soluciones relacionadas a la problemática más relevante en el área de estudio y que contribuyan al objetivo de esta fase estratégica que es desarrollar el turismo en la comunidad de Piedra de Plata. Seguido de esto se diseñaron estrategias de acción relacionadas al análisis de la problemática; además, los puntos anteriores dieron paso a la formulación de objetivos estratégicos y principalmente a la estructuración de los programas y proyectos con su respectiva descripción y presupuesto.

4. Resultados

4.1. Generalidades

La población de la comunidad Piedra de Plata es de aproximadamente 600 habitantes, según datos basados en un proceso de registro realizado en el año 2010. Esta comunidad se encuentra ubicada a 18 km desde la cabecera cantonal, Calceta, cantón Bolívar y a 48 km desde el cantón Pichincha. Limita: al norte con el sitio El Achote, al sur con Cañales y El Ajo, al este con El Tarro y al oeste con El Guasmo.

Piedra de Plata se ubica al noroeste de las jurisdicciones del cantón Pichincha. Anteriormente estos territorios pertenecieron al cantón Bolívar, pero desde 1988, por fijaciones de límites y el establecimiento de ordenanzas por límites geográficos, estos territorios pasaron a ser de Pichincha; luego, en 2010, por decretos gubernamentales se crean las zonas, distritos y circuitos; es allí cuando los límites son reconocidos legalmente por el CONALI.

A nivel organizativo lo representa el comité de desarrollo Piedra de Plata, cuyo presidente es el señor Lupercio Loor Moreira, y el presidente de la comunidad, que es el señor Fernando Cantos. La comunidad Piedra de Plata y sus sectores aledaños, forman parte del “Circuito del cacao fino de aroma nacional”, de origen ancestral, y su principal fuente de ingresos se basa en la agricultura. Entre los productos que allí se cultivan están los cítricos con características únicas, razón por la cual los productos agrícolas como el cacao, mandarinas, naranjas, café y otros, tienen un sabor especial; esto por las características climáticas locales.

Por otro lado, a través de un convenio no gubernamental entre el Ing. Sergio Pachard y la organización de cacao de Piedra de Plata, se están logrando avances significativos para la comunidad en temas de cacao, poniendo énfasis en la elaboración de chocolate con un producto llamado TOAK para la exportación del mismo, y la construcción y equipamiento del centro de acopio del cacao para su debido proceso y posterior exportación.

El 80% de la comunidad cuenta con servicios básicos, tales como agua entubada, ya sea llevada por gravedad desde el río, vertientes o acequias, sin ningún tipo de tratamiento, o de pozo somero. En cuanto a energía eléctrica el 90% de la población cuenta con la misma y su redistribución energética se la da desde la parroquia Membrillo, que es el lugar más cercano con energía eléctrica y que se encuentra a 2 km de distancia. Por otro lado, hay que mencionar que en la comunidad no existe sistema de alcantarillado ni recolección de basura por lo que esta es quemada y los habitantes eliminan las excretas a través de pozo ciego y fosa séptica.

Las principales vías de acceso, Quiroga-Membrillo, están lastradas y en óptimas condiciones, pero es importante mencionar que la vía de comunicación desde Membrillo a Piedra de Plata se encuentra empedrada. Existen cooperativas de transporte público que brindan servicios diarios con horarios previamente es-

tablecidos; cabe mencionar que desde el cantón Bolívar se puede acceder en bus, camioneta o moto y desde el cantón Pichincha el acceso es por canoa y bus.

En la comunidad también existe señal de servicio telefónico celular y cuentan con un dispensario de salud público y con el centro de educación básica fiscal “Rosa Herlinda Zambrano G”, que funciona de lunes a viernes. En esas mismas aulas funciona el colegio a distancia, ext. 64 de Piedra de Plata IR-FEYAL, los días sábados. Piedra de Plata tiene una

iglesia construida con el esfuerzo de la comunidad y del padre Wenceslao Rijavec, que es muy representativa para los habitantes de la zona.

4.2. Análisis de factores internos (EFI) y externos (EFE)

Una vez analizadas las fortalezas y debilidades se procedieron a enlistar los factores internos más sobresalientes para proceder a dar la ponderación correspondiente, según la Tabla 1.

Tabla 1. Matriz valorada EFI

Debilidades	Ponderación	Clasificación	Resultados
Deficiente infraestructura básica.	0,09	2	0,18
Deficiencia de las vías de acceso.	0,08	2	0,16
Deficiente señalética turística y vial.	0,10	3	0,30
Ausencia de productos turísticos.	0,10	3	0,30
Infraestructura turística nula.	0,07	2	0,14
Inseguridad jurídica territorial.	0,08	1	0,08
Fortalezas	Ponderación	Clasificación	Resultados
Diversidad de flora y fauna.	0,10	4	0,40
Talento humano local.	0,07	2	0,14
Hospitalidad de los habitantes.	0,06	2	0,12
Rehabilitación vía Membrillo-Piedra de Plata.	0,08	2	0,16
Inclinación por actividades agroturísticas.	0,08	2	0,16
TOTAL	1		2,14

El resultado de la matriz EFI es de 2,14 lo que indica que las debilidades son mayores que las fortalezas, representando así el 1,16 las debilidades y el 0,98 las fortalezas, pero es importante mencionar que es relevante que el resultado pase de 2,5.

Después se realizó la matriz de factores externos EFE, para analizar cuáles son las oportunidades

y amenazas que pueden afectar a la comunidad según sus conocimientos, haciendo un análisis de los que tienen relación con el turismo y la problemática que puede impedir el desarrollo del mismo. Se procedió a enlistar los factores externos más sobresalientes para proceder a dar la ponderación correspondiente según la Tabla 2.

Tabla 2. Matriz valorada EFE

Oportunidades	Ponderación	Clasificación	Resultados
Construcción de anillo vial Pichincha Chone.	0,08	3	0,24
ESPAM	0,10	4	0,40
Implementación de nuevos proyectos de café y cacao.	0,08	3	0,24
Surgimiento de nuevas tendencias turísticas (agroturismo y ecoturismo).	0,08	2	0,16
MAGAP	0,06	2	0,12
Financiamientos de entidades públicas (CFN, Banco del Estado, MINTUR, BNF).	0,07	3	0,21
Alianzas estratégicas con empresas agropecuarias (centro de acopio).	0,06	1	0,06
Amenazas	Ponderación	Clasificación	Resultados
Caza y deforestación indiscriminada.	0,10	3	0,30
Contaminación de afluentes hidrográficos.	0,08	2	0,16
Crisis económica mundial.	0,08	1	0,08
Crisis financiera del país.	0,08	2	0,16
Migración.	0,06	1	0,06
Normativas tributarias.	0,07	2	0,14
TOTAL	1		2,33

El resultado de la matriz EFE es de 2,33 lo que indica que las oportunidades son mayores que las amenazas, representando así el 1,43 las oportunidades y el 0,90 las amenazas. Las oportunidades más sobresalientes son la existencia de la ESPAM-MFL y la implementación de nuevos proyectos de café y cacao. Estas oportunidades son factores claves indirectos para el desarrollo del turismo en la comunidad Piedra de Plata.

4.3. Inventario de recursos turísticos

La comunidad Piedra de Plata cuenta con recursos turísticos naturales, los cuales no han sido inventariados en investigaciones pasadas ni por iniciativa

de la comunidad, por lo que es necesario hacerlo y así determinar la potencialidad de los mismos y el estado de conservación en el que se encuentran. La clasificación de los atractivos consiste en identificar claramente la categoría, tipo y subtipo al cual pertenece el recurso/atractivo a inventariar, recopilación de información, evaluación y jerarquización; consiste en el análisis individual de cada atractivo con el fin de calificarlo en función de la información y las variables seleccionadas: calidad, apoyo y significado. Permite valorar los atractivos objetiva y subjetivamente. A continuación en la Tabla 3 se describe, de forma sintetizada, cada uno de los recursos inventariados.

Tabla 3. Inventario de recursos turísticos del sector

Provincia: Manabí		Cantón: Pichincha		Parroquia: Pichincha		Comunidad: Piedra de Plata	
DESCRIPCIÓN DEL RECURSO							JERARQUÍA
NOMBRE	CATEGORIA	SUBTIPO/ TIPO					
Talambuco	Sitio natural	Caída de agua/ Río				I	
El Perro	Sitio natural	Caída de agua/ Río				I	
Conguillo	Sitio natural	Remanso/ Río				I	
La Olla	Sitio natural	Cueva / Fenómeno etnológico				I	

4.4. Diseño de estrategias

En esta fase se llevó a cabo un análisis de los resultados de las fases anteriores para así determinar cuáles serían las estrategias a implementar y poste-

riormente relacionarlas con el PLANDETUR 2030 y así vincularlas al área de estudio (Tabla 4). Pero para lo mencionado se hará un análisis del problema en el área de estudio, el objetivo de la investigación y las posibles soluciones.

Tabla 4. Estrategias de desarrollo

PROGRAMA	PROYECTO
Desarrollo y consolidación de la normativa de turismo sostenible.	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de normativas para actividades turísticas en la comunidad.
Facilitación turística.	<ul style="list-style-type: none"> Plan de señalización vial rural y de recursos turísticos naturales.
Infraestructura turística.	<ul style="list-style-type: none"> Plan de equipamiento turístico en la comunidad (restaurante, centro de interpretación turística-ambiental y sendero interpretativo. Plan de dotación de servicios básicos de conectividad hacia el destino turístico Piedra de Plata.
Desarrollo de destinos turísticos.	<ul style="list-style-type: none"> Plan de encadenamiento de productos comunitarios dentro del cantón Bolívar. Plan para el fomento de consumo de productos ecológicos locales por parte de los visitantes en temporadas altas.
Desarrollo y fortalecimiento del turismo comunitario y patrimonio cultural para el turismo.	<ul style="list-style-type: none"> Plan de dotación de servicios básicos para los CTC y sus comunidades. Plan de profesionalización de gestores y personal técnico para el turismo comunitario. Plan de consolidación institucional y desarrollo organizativo del turismo comunitario. Plan de fortalecimiento de la comercialización del producto turístico comunitario.
Turismo de naturaleza y comunitario.	<ul style="list-style-type: none"> Plan de educación ambiental dentro de la comunidad Piedra de Plata.
Innovación de productos turísticos.	<ul style="list-style-type: none"> Plan de creación de productos agroturísticos innovadores en la comunidad Piedra de Plata.
Fortalecimiento del marketing turístico.	<ul style="list-style-type: none"> Plan de marketing turístico del Centro Turístico Comunitario Piedra de Plata.

5. Discusión

Teniendo en cuenta a la comunidad como el eje del desarrollo turístico, se encuentran varios enfoques de estudio. El primero orientado a teoría basada en la literatura producida en el país, donde se destaca el estudio propuesto por (Cabanilla & Garrido, 2018), como el más completo de todos, en el cual se demuestra una sólida compilación de experiencias, con un desarrollo cronológico que da las pautas para conocer los antecedentes del turismo comunitario en el Ecuador, según el cual el turismo conlleva una serie de actividades participativas en consenso con la comunidad, actividad que no se ha venido cumpliendo responsablemente, lo que ha provocado la extinción de más del 60% de los emprendimientos (Cabanilla *et al.*, 2017).

Por otra parte, en Manabí existe el potencial para el uso de los recursos naturales y culturales (Chinga & Párraga, 2011). Como claro ejemplo de esto se encuentra el emprendimiento turístico comunitario de Agua Blanca, en el cantón Puerto López, que por más de treinta años ha venido abriendo sus puertas al turismo, siendo uno de los pioneros en el país. Desafortunadamente, según Félix (2018) y Félix *et al.* (2019) por la falta de propuestas que generen cambios en los procesos productivos, asociativos en la zona, sumado a aspectos como la deficiente capacitación técnica, no se han podido sostener en el tiempo nuevas propuestas en sectores rurales con gran potencial.

Sobre los conceptos de planificación turística se encuentra una dicotomía de criterios: mientras que para Osorio García (2006) la planificación se basa en procesos ordenados para la consecución de objetivos, una conceptualización enfocada al ámbito empresarial, la cual deja muchas dudas, como por ejemplo, qué sucede en empresas o comunidades donde no existe proceso alguno; la definición de planificación basada en el ordenamiento del territorio se presenta como otra oportunidad desde un enfoque más espacial del territorio López Palomeque (2007). Para este estudio se plantea una estructura de las necesidades de planificación a través de un listado de proyectos y programas, que servirán como portafolio de ideas en la búsqueda de financiamiento por parte de la comunidad local en conjunto con la academia.

La aplicación de las matrices valoradas propuestas por Fred (2013) son de gran ayuda para la planificación estratégica y representan una alternativa importante para estudios cualitativos, se han complementado de manera significativa con la meto-

dología (IAP) (Martí, 2000), sirviendo especialmente para planificadores del turismo, quienes pueden hacer uso de ellas con base en criterios de ponderación observables, sensibles con el medio natural y adaptables a una gran variedad de espacios rurales, aunque pudieran contener sesgos propios del investigador, lo que puede influir en la seriedad del estudio, especialmente en los resultados de la investigación por lo que se recomienda, también, la aplicación de una ponderación con base en índices estadísticos: es otra alternativa que complementaría estos métodos de manera más precisa, transformándolos de datos cualitativos a cuantitativos y de manera organizada. Esto se presenta como una alternativa a la propuesta de utilización de DAFO en comunidades (Sarango & Cabanilla, 2016), aunque se usan los mismos principios al separar los componentes existe más comodidad para la valoración por parte del investigador.

Para el diagnóstico físico de la zona se utilizó la ficha de inventario (MINTUR, 2017), la cual presenta un sistema automatizado de evaluación y jerarquización de atractivos, la cual se adapta muy bien para los recursos naturales, pero no tanto para los recursos culturales, que deben ser tratados de manera diferente, por lo que la herramienta pierde fuerza y no permite la evaluación completa del territorio. Por otra parte, con el manual de diagnóstico local (Ricaurte, 2009), se puede complementar la recolección de datos generales de la comunidad, planteando varias opciones simples de llenar y llevar a la práctica.

La revisión de documentos oficiales, en este caso el PLANDETUR (2030), es indispensable al momento de generar estrategias en comunidades locales, pero deben adaptarse a dichas realidades, para hacer aterrizar correctamente los objetivos de la planificación nacional. Hay que verificar siempre la vigencia de los mismos, lo cual podría redundar en la aplicabilidad o no de los programas y proyectos identificados y comparados; también es necesaria la revisión de documentos oficiales como planes de desarrollo local y regional, que sirvan de complemento al proceso investigativo ya que estos últimos contribuyen a la estandarización de criterios y soporte teórico-práctico para el planteamiento de planes y programas definitivos a implementarse en una determinada comunidad.

6. Conclusiones

El turismo comunitario es una modalidad turística con historia en el Ecuador, actualmente la aca-

demia se encuentra participando como ente activo en los procesos de planificación en los diversos territorios turísticos del país, especialmente en comunidades rurales con pocas oportunidades de desarrollo. Esto se presenta como una gran oportunidad para los gobiernos locales, de afianzar las alianzas estratégicas en los territorios, promoviendo un recurso de enriquecimiento con varias vías: 1) Las comunidades a través de las actividades económicas que aquí puedan implementarse, 2) Los gobiernos descentralizados locales como organismos catalizadores de oportunidades de captación de recursos, 3) Las universidades quienes se ven favorecidas con escenarios reales de aprendizaje para sus estudiantes, la implementación de proyectos de vinculación con la comunidad e investigación, entre otras ventajas competitivas para todos los actores del desarrollo local de los destinos.

El resultado final de la investigación otorga a los líderes comunitarios un portafolio de programas y proyectos que contribuyen a una planificación estratégica para la comunidad Piedra de Plata. Esta información, producto del trabajo colaborativo, contiene ocho programas y trece proyectos de implementación comunitaria, los mismos que cuentan con una plantilla base, que resume los objetivos, actividades, resultados esperados, grupo de beneficiarios y posibles fuentes de financiamiento. Lo que servirá como herramienta de gestión para los líderes comunitarios, acompañada de una hoja de ruta de reuniones con las principales autoridades de las distintas entidades públicas y privadas.

La comunidad Piedra de Plata, según el diagnóstico turístico situacional, posee una producción agrícola muy variada con reconocimiento a nivel internacional. Por lo que el patrimonio cultural y agrario debería ser inventariado en posteriores investigaciones, como un recurso cultural de atracción, tanto para visitantes nacionales como internacionales. Por lo demás, se encuentran recursos naturales que no pasan la Jerarquía I, lo que significa que, por el momento, podrían llamar la atención de flujos turísticos locales o de turistas que por diferentes motivos se encuentren en el área. Aunque para esta última parte es necesario la estructuración de productos de preferencia con in-

clinaciones agroturísticas, debido a las características del entorno y además es necesaria la implementación de infraestructura o facilidades básicas que contribuyan al disfrute de los atractivos.

La utilización de la metodología (IAP) resultó de mucha ayuda, ya que contribuyó a ordenar las etapas de recolección de información en conjunto con la comunidad, a través de los talleres participativos. Estos talleres fueron desarrollados bajo un cronograma que facilitó la organización de las jornadas laborales de los comuneros, estos espacios facilitaron el debate de ideas, transformando a la población local en informantes de altísima calidad, lo que se plasma en los proyectos resultantes de este proceso.

La utilización de las matrices EFI y EFE resultan sumamente prácticas al momento de relacionar elementos cualitativos, en este caso los factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) de una comunidad. La valoración adecuada de éstas otorgarán ciertos coeficientes promedio, los mismos que al ser favorables, en el caso de la comunidad Piedra de Plata, orientan a la generación de estrategias favorables a la vinculación de la comunidad con el turismo; estos coeficientes facilitan la toma de decisiones al final del procedimiento. Los comuneros se sintieron muy cómodos en los talleres participativos, otorgando información de relevancia, colaborando con cada una de las etapas, desde la identificación de los factores, hasta la valoración de los mismos.

Se establecieron estrategias de acuerdo a la realidad turística de la comunidad Piedra de Plata, los lineamientos básicos y la determinación de acciones para el aprovechamiento del potencial existente, tomando en consideración los resultados de las matrices, resultado del trabajo participativo, apuntalando también criterios de desarrollo sostenible para la comunidad, involucrando diversos sectores estratégicos para el apoyo mancomunado, ratificando la importancia del estudio realizado, por lo que se proponen, adicionalmente, ocho programas y trece proyectos contrastados con la planificación turística nacional vigente y los resultados obtenidos de la investigación.

Referencias

Bringas, N. L., & González, I. I. (2004). El turismo alternativo: una opción para el desarrollo local en dos comunidades indígenas de Baja California. *Economía, Sociedad y Territorio*, IV(15), 551-590.

Buchanan, D., & Bryman, A. (Eds.) (2018). *Unconventional Methodology in Organization and Management Research*. Oxford: Oxford University Press.

- Cabanilla, E. (2018). Turismo comunitario en América Latina, un concepto en construcción. *Siembra*, 5(1), 121-131. <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1433>
- Cabanilla, E., & Garrido, C. (2018). *El turismo comunitario en el Ecuador: Evolución, problemática y desafíos* (1ª. ed.). Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- Cabanilla, E., Lastra Bravo, X. B., & Pazmiño, J. (2017). El turismo doméstico ¿Demanda potencial de los centros de turismo comunitario en Ecuador? *PASOS Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 15(3), 579-590. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2017.15.039>
- Cardozo, P., Fernandes, D., Soares, J., & Holm, C. (2016). Cooperación y participación en el proceso de planificación y desarrollo turístico. Un estudio de caso en comunidades étnico-rurales en el estado de Paraná - Brasil. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 25 (1), 88-109.
- Chinga, D., & Párraga, J. (2011). *Análisis de las operadoras turísticas de la provincia de Manabí y su incidencia en el turismo local. Período 2008-2010*. Universidad Técnica de Manabí.
- Clark, H. (2009). *Manual de planificación, seguimiento y evaluación de los resultados de desarrollo*. New York: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- De la Fuente, G. (2019): Turismo y paisaje: caminando hacia la sostenibilidad y responsabilidad social. *Revista Turydes: Turismo y Desarrollo*, 27. En línea. <https://www.eumed.net/rev/turydes/27/responsabilidad-sostenibilidad.html>.
- Del Espino, H. (2020). Patrimonio cultural como factor de desarrollo territorial resiliente en áreas rurales. El caso de Mértola (Portugal). *PASOS Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 18(1), 9-25. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2020.18.001>
- Félix, A. (2018). Turismo y cacao: alternativa de desarrollo para las comunidades campesinas. En UNITEC-ESPAM (Ed.), *Planificación turística en territorios campesinos* (1ª ed., p. 178). Bogotá: Corporación Universitaria Unitec.
- Félix, A., & Doumet, Y. (2016). *Teoría y práctica del turismo rural*. Quito-Ecuador: Abya Yala - ESPAM MFL.
- Félix, A., Zambrano, M., & Vera, T. (2019). Visitas a represas: percepción y necesidades para el turismo. *Turismo, Desarrollo Y Buen Vivir. Revista De Investigación De La Ciencia Turística - RICIT*, (13), 42-61.
- Fred, D. (2003). *Conceptos de administración estratégica, matriz EFE, EFI y MPC* (9ª ed.). México: Pearson Educación.
- Fred, D. (2013). *Administración estratégica. Matriz EFE, EFI y MPC* (14ª ed.). (En Línea). México: Pearson Educación
- Ibáñez, R. (2014). El turismo y sus organismos. *Revista Turydes: turismo y desarrollo*, 17. En línea. <http://www.eumed.net/rev/turydes/17/organismos.html>
- Lima, S., García Gómez, C., Gómez López, D., Eusebio, C. (2012). El turismo como una estrategia para el mundo en desarrollo: el programa UNWTO Volunteers. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 10(3), 303-314. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2012.10.037>
- Llop, C. (2011). La valorización y dinamización de los paisajes para el desarrollo económico local. En *Retos y perspectivas de la gestión del Paisaje de Canarias* (pp. 413-435). Bial de Canarias. Observatorio del Paisaje. <http://hdl.handle.net/2117/12802>
- López Palomeque, F. (2007). Planificación territorial del turismo y sostenibilidad: fundamentos, realidades y retos. *Turismo y Sociedad*, 8(8), 51-68.
- Martí, J. (2000). La investigación-acción participativa. Estructuras y fases. En T. Rodríguez, M. Montañez, & J. Martí (Eds.), *La investigación social participativa. Construyendo ciudadanía* (pp. 73-118). Barcelona-España: El viejo topo.
- MINTUR – Ministerio de Turismo del Ecuador. (2017). *Guía metodológica de inventario y generación de espacios turísticos*. Quito: MINTUR.
- MINTUR – Ministerio de Turismo del Ecuador. (2019). Plan Nacional de Turismo 2030. En *Plan Nacional de turismo 2030*. Quito: MINTUR.

- MINTUR – Ministerio de Turismo del Ecuador. (2020). Demanda turística: Portal de servicios. Obtenido de: <https://servicios.turismo.gob.ec/index.php/turismo-cifras/2018-09-19-17-01-51/movimientos-internacionales>
- Miranda, A. (2014). *Plan estratégico para el desarrollo turístico sostenible de la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. Escuela Politécnica del Chimborazo.
- OMT – Organización Mundial de Turismo. (2018). *Panorama OMT del turismo internacional, edición 2018*. Madrid: UNWTO. <https://doi.org/10.18111/9789284419890>
- Orgaz-Agüera, F. (2013). El turismo comunitario como herramienta para el desarrollo sostenible de destinos subdesarrollados. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, 38(2), 79-91. https://doi.org/10.5209/rev_noma.2013.v38.42908
- Osorio García, M. (2006). La planificación turística. Enfoques y modelos. *Quivera*, 8(1), 291-314.
- Ricaurte, C. (2009). *Manual para el diagnóstico turístico local. Guía para planificadores*. Guayaquil-Ecuador: ESPOL.
- Sarango, M., & Cabanilla Vásconez, E. (2016). Parámetros para la planificación estratégica del turismo en la parroquia de Tumbaco, cantón Quito. *Siembra*, 3(1), 167-178. <https://doi.org/10.29166/siembra.v3i1.287>
- Secretaría de Turismo. (2004). Turismo alternativo una nueva forma de hacer turismo. México: SECTUR.
- Toctaguano, K. (2019). Impacto económico del Tren Crucero en las comunidades por las que transita. Caso: Nizag y Palacio Real. *Siembra*, 6(1), 109–155. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i1.1711>
- Vieira Rodríguez, A., López-Guzmán, T., & Rodríguez García, J. (2012). Desarrollo socioeconómico endógeno-local y etnoturismo: el Marco de Jerez-Sherry (España). *Desenvolvimento Regional em debate: DRd*, 2(2), 45-62.
- Yumisaca, J., Bohórquez, E., Mendoza, E., & Gonzabay, J. (2020). Cadena de valor del destino Dos Mangas como herramienta para el análisis de la sostenibilidad de la oferta turística. Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(1), 1-15.
- Zamorano, F.M. (2007). *Turismo alternativo: servicios turísticos diferenciados* (2ª ed.). México: Trillas.

Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) utilizando cuatro híbridos

Evaluation of the development and yield of the corn crop (Zea mays L.) using four hybrids

Rocío Noemí Guamán Guamán^{1*}, Teodoro Xavier Desiderio Vera², Ángel Fabián Villavicencio Abril³, Santiago Miguel Ulloa Cortázar⁴, Edison Javier Romero Salguero⁵

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Sede Santo Domingo de los Tsáchilas, Vía Santo Domingo-Quevedo km 24, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador P.O.BOX: 171-5-231B.

 <https://orcid.org/0000-0002-1795-4068>

² Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Sede Santo Domingo de los Tsáchilas, Vía Santo Domingo-Quevedo km 24, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador P.O.BOX: 171-5-231B.

 <https://orcid.org/0000-0002-7040-1809>

³ Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Sede Santo Domingo de los Tsáchilas, Vía Santo Domingo-Quevedo km 24, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador P.O.BOX: 171-5-231B.

 <https://orcid.org/0000-0003-0058-271X>

⁴ Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Sede Santo Domingo de los Tsáchilas, Vía Santo Domingo-Quevedo km 24, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador P.O.BOX: 171-5-231B.

 <https://orcid.org/0000-0001-6403-6780>

⁵ Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Sede Santo Domingo de los Tsáchilas, Vía Santo Domingo-Quevedo km 24, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador P.O.BOX: 171-5-231B.

 <https://orcid.org/0000-0001-6403-6780>

✉ Autor para correspondencia: mguaman@espe.edu.ec

Resumen

El maíz es un cultivo de importancia económica a nivel mundial. Las características genotípicas y fenotípicas, son afectadas por las condiciones ambientales a las que se expone la planta. El objetivo de la investigación fue evaluar el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz, utilizando cuatro híbridos de maíz, durante el periodo noviembre-febrero 2016. El ensayo se desarrolló en la parroquia Luz de América, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. La fertilización y control de plagas del cultivo fue de forma similar en todos los tratamientos, los híbridos fueron: Trueno-NB-7443®, Iniap-H-551®, Pioneer-F30K73® y Gladiador-DOW-2B-688®, los cuales se ofertan como las mejores opciones de material genético en la zona. Se evaluaron las variables rendimiento por hectárea, longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca y peso de la mazorca, número de hojas, altura de la planta, altura de inserción a la mazorca, y mazorcas por planta. El híbrido mejor desarrollado fue Pioneer-F., al expresar altos rendimientos en cuanto a producción por hectárea; mientras Trueno-NB. e Iniap-H., ocupan rangos no significativos, Gladiador-DOW-2B-688®, es el menos potencializado. Se concluye que durante el periodo de tiempo evaluado, el híbrido que mejor se desarrolla y genera los mejores rendimientos, bajo las condiciones agroclimáticas que ofrece la zona de Luz de América, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, fue el híbrido Pioneer F30K73®, siendo una de las mejores opciones que tiene el agricultor, al momento de elegir un material genético para cultivar, dentro del periodo evaluado.

Palabras clave: desarrollo, híbridos, maíz, rendimiento.

Abstract

Corn is a crop of economic importance worldwide. The genotypic and phenotypic characteristics are affected by the environmental conditions where the plant is exposed. The objective of the research was to evaluate the development and performance of the corn crop, using four corn hybrids, during the period November 2015-February 2016. The trial was developed in the parish of Luz de América, province of Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. The fertilization and pest control of the crop was similar in all treatments, the hybrids were: Trueno-NB-7443®, Iniap-H-551®, Pioneer-F30K35® and Gladiador-DOW-2B-688® which are offered as the best

options of genetic material in the area, were evaluated the variables yield per hectare, length of the cob, diameter of the cob and weight of the cob, number of leaves, height of the plant, height of insertion to the cob, and cobs per plant. The best developed hybrid was Pioneer-F., expressing high yields in terms of production per hectare; while Trueno-NB., and Iniap-H., occupy non-significant ranges, Gladiador DOW 2B-688®, is the least potentialized. It is concluded that during the evaluated period of time, the hybrid that better develops and generates the best yields, under the agro-climatic conditions offered by the zone of Luz de America, province of Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, was the hybrid Pioneer F30K73®, being one of the best options that the farmer has, at the moment of choosing a genetic material to cultivate, within the evaluated period.

Keywords: development, hybrids, corn, yield.

1. Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el único cereal que puede ser utilizado como alimento ya sea para personas o animales, en cualquier etapa del desarrollo de la planta o producción (Sánchez, 2014). Es un cultivo de importancia económica a nivel mundial, debido a su utilidad como alimento para humanos y ganado, este cultivo es fuente de un gran número de productos industriales (FIRA, 2016). En el estudio realizado durante el año 2014, el maíz duro seco abarcó el 40% de la producción mundial de granos (Monteros & Salvador, 2014), mientras que en el año 2016 la producción mundial de maíz alcanzó 1.025,6 millones de toneladas, generando un rendimiento promedio de 5,69 toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), según Fideicomisos Instituidos en Relación (FIRA, 2016).

El maíz es un cultivo tradicional que ha llegado a alcanzar una gran importancia económica en varias zonas del Litoral y Sierra ecuatoriana (Segovia, 2006). La producción de maíz es cada vez mayor en los cultivos ecuatorianos, ya que las semillas híbridas de alto rendimiento permiten a los agricultores cosechar más, en una misma superficie (Monteros & Salvador, 2014). La producción de maíz se triplicó pasando de 0,42 a 1,4 millones de toneladas de maíz, producidas en el periodo 2000-2013, variación que fue generada por el cambio en la utilización de semilla criolla, a paquetes tecnológicos, los cuales incluyen semilla híbrida (Lusero, 2013), toda esta producción se obtuvo dentro de un promedio de 270 mil hectáreas cultivadas.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2016), la producción nacional de maíz duro es de 1'091.108 toneladas dentro de 341.254 hectáreas sembradas, generando un promedio de $3,2\ t\ ha^{-1}$, mientras que dentro de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas se produjeron 9.209 toneladas en un área de 3.096 hectáreas sembradas, alcanzando una producción promedio de $2,97\ t\ ha^{-1}$, durante el año 2016 (Baca, 2016).

A nivel nacional la producción de maíz se fracciona en aquellas que se generan de manera tecnificada por parte de los grandes productores (agricultura convencional) y de forma manual, conformada por los pequeños productores (agricultura tradicional), los cuales han alcanzado un rendimiento promedio de 7,1 y $4,8\ t\ ha^{-1}$ respectivamente (Monteros & Salvador, 2014). La desventaja por parte de los pequeños productores es que no cuentan en su gran mayoría con la información necesaria, que les proporcione características representativas del cultivo, así como adaptación a la zona, niveles de producción, resistencia a plagas y enfermedades, exigencias agroclimáticas, e incluso requerimientos nutricionales, considerando la calidad de los suelos de la zona, que son particularidades esenciales al momento de elegir el material genético que va a implantar en sus predios en busca de alcanzar una producción elite, y sencillamente se guían por la semilla que se encuentra en la casa comercial de su confianza.

En la actualidad los agricultores tienen la opción de emplear híbridos de maíz que cuentan con el aval de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (Agrocalidad) e Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), que distribuyen las semillas según la ubicación y las condiciones geográficas mediante estudios previos. Sin embargo, lugares considerados agrícolas como es el caso de la parroquia Luz de América, Santo Domingo de los Tsáchilas, no cuentan con estudios realizados por parte de las entidades competentes, que les sirvan de referencia y brinden opciones al momento de elegir un material de siembra que sea apropiado para obtener un aprovechamiento máximo. Los rendimientos de grano de maíz varían entre genotipos, por lo que se dificulta la selección de híbridos con mayor adaptación a las condiciones ambientales de una misma localidad (Aguilar *et al.*, 2015). La expresividad de las características genotípicas y fenotípicas son afectadas por las condiciones ambientales presentes en localidades distintas a la seleccionada para el presente estudio, siendo necesaria la evaluación de los híbridos

en áreas potenciales para la producción comercial de maíz (Ávila *et al.*, 2009).

Aguiluz (1998) menciona además que pese a décadas de investigación en el desarrollo de germoplasma mejorado de maíz, aún se obtienen bajos rendimientos, consecuencia directa de factores como los climáticos, poca fertilidad del suelo, manejo agronómico inadecuado o porque no se dispone del material genético más adecuado en la región. Esto debido a que cada híbrido tiene características propias de rendimiento y adaptación, que marcan su diferencia (Paratori, 1986).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el desarrollo y rendimiento de cuatro híbridos de maíz: Trueno NB-7443®, Iniap H-551®, Pioneer F30K73® y Gladiador DOW 2B-688®, con la finalidad de generar una referencia que pueda ser utilizada por los agricultores de la zona al momento de decidir qué material genético va a cultivar

en sus predios, en la zona de Luz de América, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, en busca de aportar a la expansión de la frontera agrícola del país.

2. Materiales y métodos

La presente investigación se realizó, en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas (UFA) ESPE, ubicada en el kilómetro 35 de la vía Santo Domingo-Quevedo de la parroquia Luz de América, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador; en las coordenadas UTM; (X) 0684203 m, (Y) 9945330 m (Figura 1), la ubicación ecológica fue: bosque húmedo tropical, precipitación 2.700 mm, 700 horas luz, humedad relativa 80-90%, temperatura 24,5°C, valores promedios respectivamente; suelo franco arenoso y altitud 224 m s.n.m., en el periodo de tiempo noviembre-febrero 2016, correspondiente al inicio de lluvias.

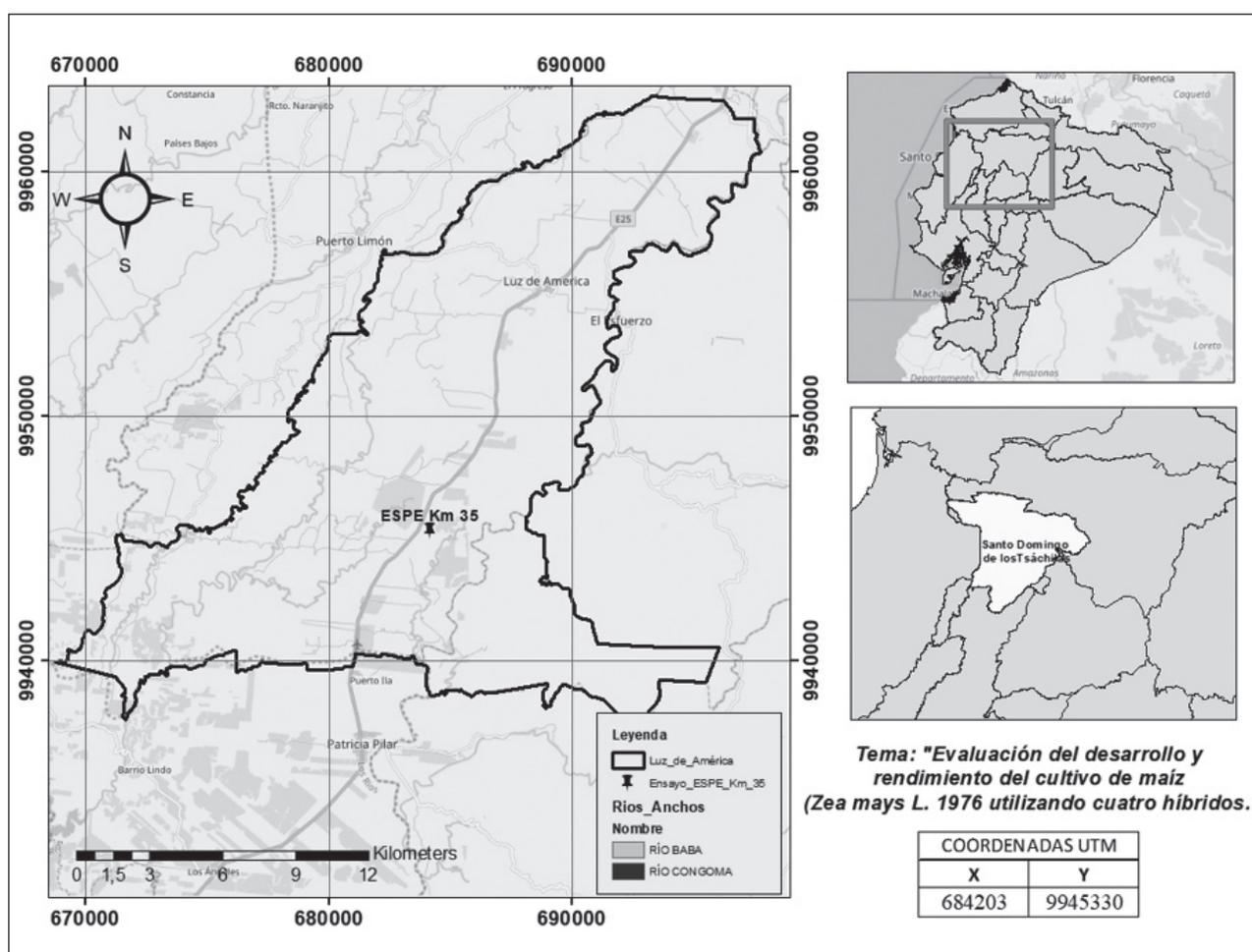


Figura 1. Ubicación del ensayo desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas (UFA) ESPE- Hacienda San Antonio, parroquia Luz de América, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

Se estableció el cultivo de forma manual en un terreno previamente preparado mecánicamente con el uso de la rastra de discos por dos ocasiones en direcciones contrarias, bajo un distanciamiento de siembra de 0,8 (entre hileras) y 0,20 m (entre plantas) con una densidad de 62.500 plantas por hectárea, simulando las distancias de una siembra mecanizada. La toma de datos del cultivo se realizó cada ocho días, y se concluyeron los resultados tomando en consideración la información de la estación meteorológica Puerto Ila que fue la más cercana al lugar de estudio.

Se trabajó con un diseño de bloques completos al azar, los tratamientos utilizados fueron los cuatro materiales genéticos, con igual número de repeticiones. El número de unidades experimentales fueron 16, mientras, que el número de las muestras analizadas en todo el estudio fueron 160 plantas, lo que corresponde al 10% del total de plantas establecidas en las parcelas, basándose en los protocolos de evaluación para el manejo de ensayos en el cultivo de maíz determinado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1999), las cuales se seleccionaron aleatoriamente y se identificaron bajo una numeración, para que las distintas tomas de datos sean sobre la misma planta evitando que exista una alteración en los resultados. Los materiales genéticos usados fueron los híbridos Trueno NB-7443®, Iniap H-551®, Pioneer F30K73® y Gladiador DOW 2B-688® los cuales se ofertan como las mejores opciones de material genético en la zona.

El manejo agronómico fue similar para todos los tratamientos, la fertilización se realizó tomando en consideración el requerimiento nutricional estándar del cultivo establecido por Mosaic (2005), que corresponde a nitrógeno (N) 176, fósforo (P) 32 y potasio (K) 152 kilogramos por hectárea (kg ha^{-1}), comparado con el contenido nutricional expresado en el análisis químico del suelo que fue de N (46,9), P (10,4) y K (70,2) kg ha^{-1} , el cual fue ejecutado con anterioridad en el sitio, en donde luego de los cálculos correspondientes, se aplicó las dosis de úrea **4,5 gramos por planta (g plta^{-1})** ($281,5 \text{ kg ha}^{-1}$), Murriato de potasio **0,7 g plta^{-1}** ($43,8 \text{ kg ha}^{-1}$) y Súper fosfato triple **2,9 g plta^{-1}** ($181,3 \text{ kg ha}^{-1}$), distribuido en tres aplicaciones uniformemente balanceadas, a los 15 días (presencia de 5 hojas, desarrollo vegetativo de maíz **estadio V5**), a los 25 días (**estadio V6**, comienza el periodo de rápida elongación) y a los 40 días (**estadio V10**, inicia la etapa reproductiva) de la germinación respectivamente, considerando que las plantas requieren de altas cantidades de nutrientes

para poder cumplir con las funciones fisiológicas (Ritchie *et al.*, 1993).

Se efectuó un control para el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) que fue la única plaga presente en el cultivo, con el uso de cipermetrina y clorpirifos utilizados en rotación, en la dosis de 1 ml por litro de agua (dos aplicaciones), la primera fue a los 21 días de germinadas las plantas, tiempo en el cual aparecieron los primeros gusanos cogolleros, la segunda a los 40 días, antes de llegar a la floración.

Las variables en estudio fueron medidas en las 160 plantas elegidas de manera aleatoria, siendo estas; (i) rendimiento por hectárea (pesando el grano seco producido por planta y expresado por hectáreas), (ii) longitud de la mazorca (se midió con ayuda de una cinta métrica desde la base hasta el ápice de la mazorca), (iii) diámetro de la mazorca (con ayuda de un calibrador se tomó el dato de la parte media de la mazorca), (iv) peso de la mazorca (en una balanza electrónica regulada en la unidad de medida en gramos), (v) número de hojas por planta, (vi) altura de la planta (se midió con ayuda de una cinta métrica desde la base de la planta hasta el ápice de la planta), (vii) altura de inserción de la mazorca (desde la base hasta la apertura en donde se originó la mazorca), (viii) número de mazorcas por planta, (ix) enfermedades (se evaluó de forma visual con ayuda de un especialista según las características físicas de cada enfermedad, planta por planta, y se cuantificaron las plantas afectadas de cada tratamiento expresándolo en porcentajes), (x) porcentaje de acame de la planta (luego de la floración se registró la cantidad de plantas viradas con una inclinación menor a un ángulo de 25 grados desde el nivel del suelo), (xi) tasa fotosintética (con ayuda de un medidor de clorofila, bajo la unidad de medida en grados Spad, la evaluación se realizó de la misma hoja, en tres puntos formando un triángulo, y realizando un valor promedio de las tres tomas), (xii) días a la floración (cuando las plantas de cada tratamiento alcanzaron un 75% del total de las plantas con aparición de la espiga floral, se anotó la fecha y se calcularon los días que habían transcurrido), y (xiii) días a la fructificación (cuando las plantas de cada tratamiento alcanzaron un 75% del total de las plantas con aparición de la mazorca, se anotó la fecha y se calcularon los días que habían transcurrido).

Los datos obtenidos fueron evaluados mediante el software para análisis estadístico InfoStat, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), y la separación de medias para confirmar su significancia se llevó a cabo mediante Tukey ($p < 0,05$).

3. Resultados y discusión

En la presente investigación, considerando los resultados en cuanto al rendimiento del cultivo expresado en orden descendente fue 7,15; 5,25; 4,65 y 4,50 t ha⁻¹, correspondiente a los materiales genéticos Pioneer F., Iniap H., Trueno N., y Gladiador D., respectivamente, alcanzando una diferencia altamente significativa en donde se obtuvo un valor de $p \leq 0,0001$ (Figura 2a). Se considera que el rendimiento del cultivo expresado depende de la adaptación de la planta en el ambiente y el desarrollo que la misma puede alcanzar en la zona plantada.

Cuando las plantas están bajo condiciones de estrés a causa de los entornos agroclimáticos del lugar en donde está establecida, esta acción de adaptabilidad repercute en la productividad y la calidad de los frutos (Garzón *et al.*, 2013). Por lo que se puede afirmar que Pioneer F. (7,15 t ha⁻¹) es el mejor adaptado a la zona, ya que el mismo híbrido sembrado en la zona de Balzar provincia del Guayas, en el año 2009 solo alcanzó 6,1 t ha⁻¹ (Andino, 2009), considerando el rendimiento por hectárea, mientras Gladiador D., (4,50 t ha⁻¹), tiende a ser el híbrido peor adaptado a la zona de Luz de América dentro de la investigación ejecutada, comparando el rendimiento obtenido por Zambrano (2016), que fue de 16,2 t ha⁻¹ en la zona de Mocache, provincia de Los Ríos. Por medio de estas comparaciones se afirma que la adaptabilidad de una planta depende de la zona agroclimática donde está plantada, lo que es corroborado por Wong & Gutiérrez del Río (2007); quienes mencionan que los híbridos comerciales poseen una mayor longitud y peso de la mazorca para obtener los

más altos rendimientos, estas características se conservan, siempre y cuando el sitio de siembra conserve las condiciones agronómicas requeridas por el híbrido; también observaron que el diámetro y la longitud de mazorca contribuyen a aumentar el número y tamaño de granos por mazorca por unidad de superficie y, por lo tanto, el rendimiento.

En las variables consideradas factores determinantes para el rendimiento, como longitud, diámetro y peso de la mazorca obtuvieron un valor de $p \leq 0,0001$ que origina una diferencia altamente significativa (Figura 2: b, c, d); donde Pioneer F., fue el mejor, al ubicarse en los rangos más altos generados con una longitud de 21,5 cm; diámetro 4,7 cm; y peso de la mazorca de 257,3 g, mientras que Gladiador D., ocupó el rango más bajo obteniendo las siguientes medidas de las mazorcas: longitud 16 cm; diámetro 4,3 cm y peso 159,7 g; sin embargo, los valores inferiores en la investigación en cuanto al diámetro de la mazorca fue para Trueno N., 4,1 cm.

Se considera que existió una correlación estadísticamente significativa entre diámetro, longitud y peso de la mazorca, como se puede apreciar en la Tabla 1, donde el coeficiente de correlación Pearson abarca desde 0,64 hasta 0,96, motivo por el cual el rendimiento generado por Pioneer F., y Gladiador D., fueron los rangos más elevados y bajos respectivamente en comparación con los demás híbridos evaluados, siendo el largo de la mazorca un parámetro de influencia directa en el rendimiento acompañado del diámetro y el llenado de la mazorca de maíz (Domínguez, 2005).

Tabla 1. Coeficiente de correlación (Pearson) de las medidas lineales entre las variables con diferencia significativa.

	Altura de la planta	Número de hojas	Altura de inserción a la mazorca	Longitud de la mazorca	Diámetro de la mazorca	Peso de la mazorca	Rendimiento del cultivo	Presencia de enfermedades
Altura de la planta	1							
Número de hojas	0,3	1						
Altura de inserción a la mazorca	0,76	0,12	1					
Longitud de la mazorca	0,54	0,29	0,62	1				
Diámetro de la mazorca	0,36	0,51	0,11	0,64	1			
Peso de la mazorca	0,55	0,35	0,56	0,96	0,71	1		
Rendimiento del cultivo	0,51	0,42	0,4	0,94	0,78	0,94	1	
Presencia de enfermedades	-0,75	0,23	-0,8	-0,43	0,08	-0,35	-0,26	1

Al evaluar la variable número de hojas se presentó una diferencia significativa ($p=0,025$), se puede observar que existe una relación, al comparar esta variable con la altura de la planta la cual generó una diferencia significativa ($p=0,038$) entre los híbridos de maíz, al expresarse un coeficiente de correlación de 0,3 (Tabla 1), donde Pioneer F., adquirió los valores de 11 hojas y 203 cm de altura promedio, considerados los valores más altos, siendo el número de hojas promedio 10, para los híbridos restantes, mientras su altura de planta fue: 177,5; 191,2 y 196,6 cm, valores correspondientes a Gladiador D., Trueno N., e Iniap H., respectivamente.

Considerando en la investigación como variable, la altura en la cual se presentó la inserción de las mazorcas de maíz en los híbridos evaluados (Figura 2f), los resultados adquiridos fueron similares entre Trueno N., y Pioneer F., siendo de 81,2 cm, considerándose el valor más elevado obtenido en la investigación. De manera contraria, los valores más bajos fueron de Iniap H., y Gladiador D., con 69,6 y 57,7 cm, respectivamente, obteniendo una diferencia significativa entre los híbridos evaluados ($p=0,0054$).

Las variables altura de la planta, número de hojas y altura de inserción de la mazorca, en mayor proporción fueron desarrolladas por el híbrido Pioneer F., quien expresa una relación entre ellas, como se visualiza en la tabla 1, al presentar los valores de 0,3 y 0,76 en el coeficiente de correlación, es decir, a medida que aumenta el tamaño de la planta, incrementa el número de hojas y por ende la altura de inserción de la mazorca será más alta; dando como resultado la producción de una mayor biomasa, tomando en consideración la altura de la planta y la cantidad de hojas presentes. Mediante estudios realizados se menciona que la eficiencia en el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz depende de la cantidad de biomasa que se distribuye hacia el grano (Paliwal *et al.*, 2001), la tasa de crecimiento del cultivo es considerado un índice específico que refleja la productividad del cultivo (Santos *et al.*, 2010), por lo que las plantas de maíz que alcanzan alturas más elevadas tienen rendimientos potenciales más altos, a pesar de ser esta una variable que depende de un número elevado de factores como el ambiente y la variedad de la semilla. Aquello es corroborado en nuestra investigación al observar las variables antes mencionadas y el rendimiento, tomando en cuenta que los híbridos utilizados tienen doble propósito, tanto para la industria como para consumo forrajero.

Al determinar el número de mazorcas por planta no se presentó diferencia estadística significativa ($p=0,108$), sin embargo, Gladiador D. consiguió el rango más alto, y el rango más bajo lo alcanzó Trueno N., con 1,4 y 1,1 mazorcas por planta promedio, respectivamente.

En la Figura 2g con un valor de $p=0,015$ se observa que se genera una diferencia significativa, el tratamiento más susceptible a enfermedades es Gladiador D., con un 63,3% de plantas afectadas por *Physoderma maydis*, *Curvularia lunata* y *Helminthosporium maydis*, lo que repercutió directamente en el rendimiento, variable donde presentó 4,50 t ha⁻¹ considerándose la producción más baja en el ensayo, resultado que es corroborado por el coeficiente de **correlación negativo (-0,26)** que se expone en la Tabla 1. Una de las características de este híbrido, es que tolera muy bien el estrés hídrico (ARIS, 2014), por lo que la humedad a la que se expone debe ser baja, por ello la presencia de enfermedades es muy reducida, mientras que la zona de Luz de América presentó una humedad relativa alta (86%), según la estación meteorológica de Puerto Ila durante la etapa de desarrollo vegetativo de las plantas, lo que genera que el cultivo sea susceptible a presentar enfermedades fúngicas, ya que éstas son influenciadas por las condiciones ambientales, como temperaturas moderadas y alta humedad (Sillon, 2012).

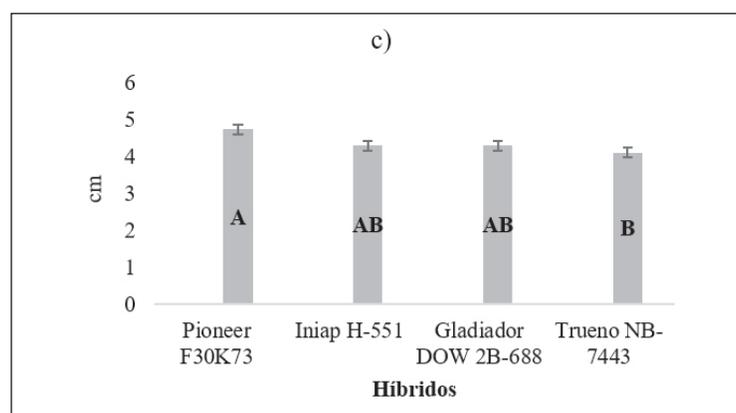
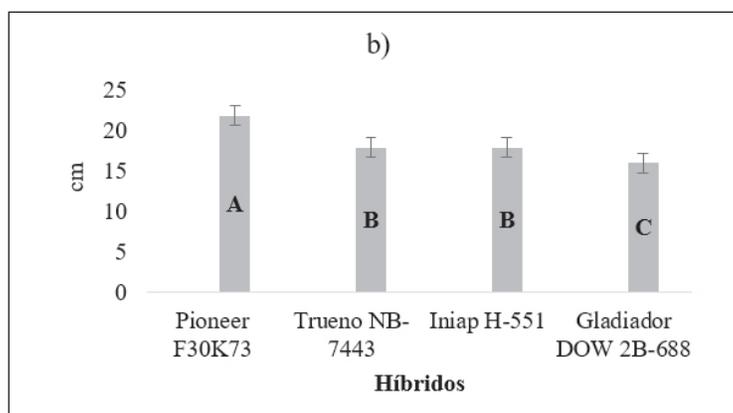
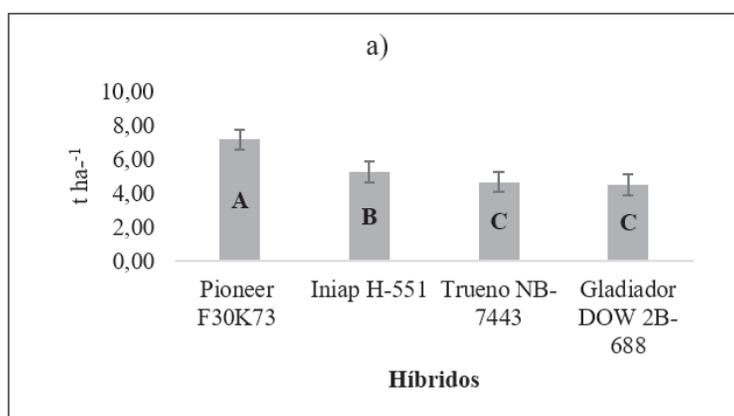
Por el contrario, Iniap H-551 obtuvo un 17,5% de afectación, siendo el híbrido mejor adaptado a la zona, mientras Trueno N., y Pioneer F., alcanzaron un 22,5 y 29,3% de afectación, respectivamente (Figura 2g). Las enfermedades se presentaron en todos los tratamientos, en distintas proporciones, debido a que no se usó funguicidas para que sea factible la evaluación de adaptabilidad de las plantas.

En cuanto a la tasa fotosintética, se concluye en la presente investigación que no se presentó diferencia estadística ($p=0,066$), entre los híbridos evaluados, debido a la aplicación del fertilizante nitrogenado, el cual influye directamente en la tasa fotosintética ya que fue aplicado de manera homogénea en todos los tratamientos, esto se determinó luego de usar el medidor de grados Spad, el cual sirve para detectar en el campo niveles críticos de nitrógeno en hojas de maíz específicamente de lo que depende la tasa fotosintética (Novoa, 2002). Sin embargo, Pioneer F., fue quien presentó mayor grado de asimilación de nitrógeno considerando la relación entre tamaño de la planta y número de hojas presentes en las plantas, lo que se encuentra reflejado en su rendimiento.

El rendimiento de los cultivos es dependiente al tamaño en el área foliar, el índice de área foliar y la duración de la misma, que es ocasionado por la presencia del mayor número de hojas por unidad de superficie (Olalde-Gutiérrez *et al.*, 2000), por ello las plantas que reciben la mayor proporción de energía radiante, tendrán una eficiencia fotosintética aumentada, aquellas plantas que se desarrollan más grandes y frondosas tienden a realizar sus procesos bioquímicos de manera correcta con rendimientos favorables (Arboleda, 2011).

Los resultados en cuanto al porcentaje de acame de la planta, días a la floración y días a la fructifica-

ción no presentaron diferencias estadísticas ($p=0,301, 0,817, 0,696$ respectivamente). Frente a este resultado se concluye que este efecto se presenta al estar todas las plantas expuestas a las mismas condiciones climáticas, aunque unas plantas se hayan desarrollado físicamente idénticas o no, al tamaño que corresponde a sus características genéticas, los días a la floración obtenida promedio por parte de todos los híbridos evaluados en la investigación fue de 57 días, con lo que se considera que todos los genotipos tienden a presentar un desarrollo precoz, al generar un promedio menor a los 60 días a la floración, considerado como el tiempo establecido para el trópico húmedo en cuanto a los híbridos (Tosquy *et al.*, 2005).



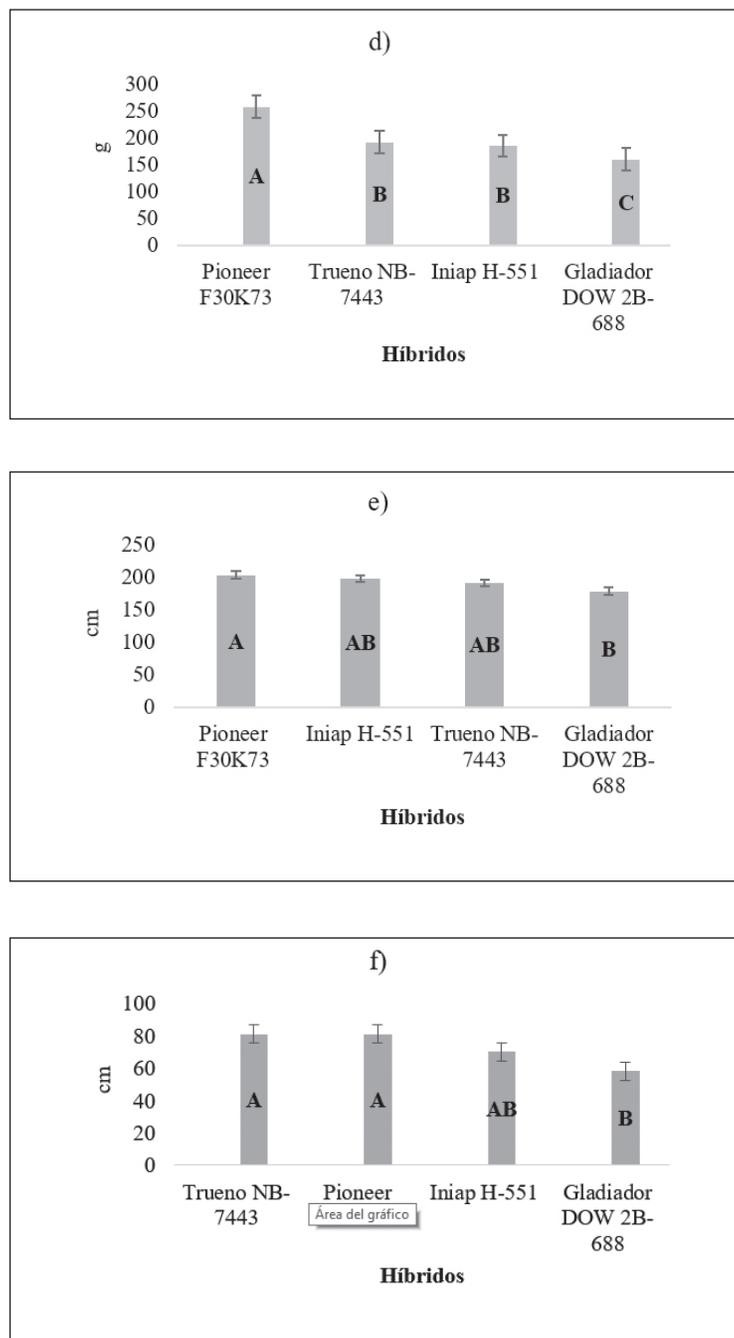


Figura 2. Variables estudiadas en la evaluación del desarrollo y rendimiento de maíz, utilizando cuatro híbridos en la parroquia Luz de América, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador: rendimiento del cultivo (a), longitud de la mazorca (b), diámetro de la mazorca (c), peso de la mazorca (d), altura de la mazorca (e) y altura de la inserción a la mazorca (f).

4. Conclusiones

Luego del análisis correspondiente de los resultados, se concluye que durante el periodo de tiempo evaluado, noviembre-febrero 2016, donde se presenta el inicio de las lluvias, el híbrido que mejor se desarrolla y genera los más altos rendimientos, bajo las condiciones agroclimáticas que ofrece la

zona de Luz de América, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, fue el híbrido Pioneer F30K73®, siendo una de las mejores opciones que tiene el agricultor al momento de elegir un material genético para cultivar, dentro del periodo evaluado.

Luego de realizar las correspondientes comparaciones se afirma que la adaptabilidad de una planta

depende de la zona agroclimática donde está establecida, ya que mediante su influencia se pueden o no expresar los rasgos fenotípicos y genotípicos que poseen los híbridos, lo que repercute directamente en el desarrollo de la planta y en el rendimiento productivo de la misma.

En cuanto al desarrollo de la planta, mediante nuestra investigación se concluye que los híbridos utilizados tienden a generar una producción que tiene relación directa con el tamaño de la planta, por tanto mientras más grande sea la planta de maíz, mayor producción se presentará, debido a que la eficiencia fotosintética de la planta es mayor, por ende sus procesos bioquímicos tienen rendimientos favorables.

Referencias

- Andino, B. (2009). *Evaluación de la producción de seis híbridos de maíz duro, con dos formulaciones de fertilización química en la zona de Balzar, provincia del Guayas*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Aguilar Carpio, C., Escalante Estrada, J. A. S. & Aguilar Mariscal, I. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Revista Terra Latinoamericana*, 33(1), 51-62.
- Aguiluz, A. (1998). Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en ambientes de Centroamérica, Panamá y el Caribe. *Agronomía Mesoamericana*, 9(1), 28-37.
- Arboleda, M. (2011). Efecto de la irradiancia en el crecimiento y desarrollo de *Aptenia cordifolia* (L.f.) Schwantes como cobertura ornamental, Venezuela. *Revista Bioagro*, 23(3), 175-184.
- ARIS (2014). Ficha técnica. Obtenido de: <https://s3.amazonaws.com/apprunn-acl/COM-PRU-01/ARQ88/application/FT-DOW-2B688.pdf>
- Ávila, M. E., Borges, O. L., & Bernáez, J. C. (2009). Caracterización biométrica del cultivo y perfil descriptivo de mazorcas del híbrido de maíz superdulce “delicia” (bt1), Venezuela. *Revista Bioagro*, 21(2), 143-147.
- Baca, L.A. (2016). *La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- CIMMYT - Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1999). *Manejo de los ensayos e informe de los datos para el programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT*. México D.F.: CIMMYT.
- Domínguez, R. (2005). Proyecto de investigación agronómica sobre el efecto del ácido giberélico activado en la producción de frutas y hortalizas. Madrid.
- FIRA - Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2016). *Panorama agroalimentario*. México: Dirección de investigación y evaluación económica sectorial. Maíz 2016.
- Garzón, D., Vélez, J. & Orduz, J. (2013). Efecto del déficit hídrico en el crecimiento y desarrollo de frutos de naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) en el piedemonte del Meta, Colombia. *Revista Acta Agronómica*. 62(2), 136-147.
- INEC - Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2016). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua, ESPAC-2016*. Quito: Unidad de Estadísticas Agropecuarias.
- Lusero Sumba, E. (2013). *Producción histórica de maíz duro seco*. Quito: Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- Monteros Guerrero, A., & Salvador Saráuz, S. (2014). *Rendimiento de maíz duro seco en verano*. Quito: Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- Mosaic, A. (2005). Soluciones de fertilización, comparación de requerimientos nutricionales de soja y maíz. Obtenido de: <https://www.agrositio.com.ar/noticia/53388-recomendaciones-para-el-cultivo-de-la-soja>
- Novoa, R. (2002). Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz, Chile. *Revista Agricultura Técnica*, 62(1), 166-171.
- Olalde-Gutiérrez, V.M., Escalante-Estrada, J.A., Sánchez-García, P., Tijerina-Chávez, L., Mas-

- tache-Lagunas A.A. & Carreño-Román, E. (2000). Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido, México. *Revista Terra*, 18(4), 313-323.
- Sánchez Ortega, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Re-
duca (Biología)*. Serie Botánica, 7(2), 151-171.
- Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., Violic, A. D., & Marathée, J. P. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*, Roma: FAO, Departamento de Agricultura, Grupo de Cultivos Alimentarios Extensivos Servicio de Cultivos y Pastos. Roma.
- Paratori, O. (1986). Producción de maíz y comportamiento de híbridos comerciales. *IPA La Platina*, 37, 44-48.
- Santos M., Segura, M., & Núñez, C.E. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63 (1), 5253-5266.
- Segovia, J. (2006). *Evaluación agronómica de tres híbridos de maíz (Zea mays l.) con cinco dosis de doble sulfato de potasio y magnesio, bajo el sistema de siembra directa en la zona de San Carlos, Quevedo*. Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Sillon, M. (2012). Programa de investigación en cultivos extensivos - Las principales enfermedades fúngicas del cultivo de maíz. Facultad de Ciencias Agrarias de Esperanza, Santa Fe. *Revista Horizonte A*, 7-12.
- Ritchie, S.W., Hanway, J.J., & Benson, G.O. (1993). *How a corn plant develops*. Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service, Ames.
- Tosquy, O.H., Palafox, C.A., Sierra, M.M., Zambada, M.A., Martínez, M.C. & Granados, R.G. (2005). Comportamiento agronómico de híbridos de maíz en dos municipios de Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 16(1), 7-12. <https://doi.org/10.15517/am.v16i1.5177>
- Wong, R., & Gutiérrez del Río, J. (2007). Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(2), 181-189.
- Zambrano, G. (2016). *Plan de semillas de maíz duro de alto rendimiento (MAGAP), costos de producción y rentabilidad en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Partition of biomass and nitrogen in a potato crop under three nitrogen fertilization treatments

Partición de biomasa y nitrógeno en el cultivo de papa bajo tres tratamientos de fertilización nitrogenada

Pedro Manuel Villa^{1*}, Lina Sarmiento², Fermín Rada³, Alice Cristina Rodrigues⁴, Nelson Márquez⁵, Wilmer Espinosa⁶

¹ Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Viçosa, 36570-900, Minas Gerais, Brasil. Fundación para la Conservación de la Biodiversidad (PROBIODIVERSA), Mérida, Venezuela. Universidad de Los Andes (ULA), Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), 5101, Mérida, Venezuela

 <https://orcid.org/0000-0003-4826-3187>

² Universidad de Los Andes (ULA), Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), 5101, Mérida, Venezuela.

³ Universidad de Los Andes (ULA), Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), 5101, Mérida, Venezuela

 <https://orcid.org/0000-0003-4486-2414>

⁴ Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Viçosa, 36570-900, Minas Gerais, Brasil.

 <https://orcid.org/0000-0001-5019-5297>

⁵ Universidad de Los Andes (ULA), Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), 5101, Mérida, Venezuela.

 <https://orcid.org/0000-0001-6403-6780>

⁶ Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela.

✉ Corresponding author: pedro.villa@ufv.br

Abstract

Potato yield is strongly dependent on nitrogen fertilization, thus understanding the crop ecophysiological response is essential to improve the management of the agro-ecological resources. However, studies on biomass and nitrogen partitioning under different nitrogen fertilization are still limited for potato cultivars of the tropical Andes of Venezuela. The aim of this study was to determine the effects of nitrogen fertilization on patterns of biomass and nitrogen partitioning during the main phenological stages of cultivar Granola in Mérida, State of Mérida, Venezuela. The fertilization treatments (partitioning) were: Control treatment (0-N), 133 kg N ha⁻¹ (133-N), and 400 kg N ha⁻¹ (400-N). Experimental plots were set up in a randomized blocks design with three replications. Biomass and nitrogen levels were measured for each organ of the plant during the main phenological stages of the crop. The tuber yield performance and the total biomass were strongly influenced by nitrogen availability and the assimilatory biomass. Total biomass production as well as biomass and nitrogen partitioning to each plant organ followed the sequence fertilization rates: 400-N > 133-N > 0-N. However, biomass and nitrogen partitioning to the roots and stolons was higher in the treatment with limited nitrogen levels. Proportional changes among aboveground and belowground biomass are adaptive responses to nitrogen deficit; which in turn, are determining factors in crop production.

Keywords: dry weight accumulation; nitrogen accumulation; *Solanum tuberosum*; tuber yield.

Resumen

El rendimiento de la papa se ve fuertemente afectada por la fertilización nitrogenada, por lo que comprender las respuestas ecofisiológicas del cultivo es esencial para mejorar el manejo de los recursos agroecológicos. Sin embargo, los estudios sobre el fraccionamiento de biomasa y nitrógeno bajo diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada aún son limitados para los cultivares de los Andes tropicales de Venezuela. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos de la nutrición de nitrógeno en el patrón de fraccionamiento de biomasa y nitrógeno durante el cultivo de papa en Mérida, Estado Mérida, Venezuela. Se establecieron parcelas experimentales, con un diseño de bloques al azar y con tres tratamientos de fertilización para el cultivar “Granola”: sin nitrógeno (0-N), 133 kg N ha⁻¹ (133-N), 400 kg N ha⁻¹ (400-N). En las principales etapas fenológicas del cultivo, se midieron los niveles de biomasa y nitrógeno para cada órgano. El rendimiento de los tubérculos y la biomasa total están fuertemente influenciados por la disponibilidad de nitrógeno y biomasa asimilatoria. La producción total de biomasa, así como el fraccionamiento de biomasa y nitrógeno en cada órgano, mostraron la siguiente secuencia: 400-N > 133-N > 0-N. Sin embargo, la partición de biomasa y nitrógeno a las raíces y estolones fue mayor en el tratamiento con niveles limitados de nitrógeno. Los cambios proporcionales entre la biomasa aérea y subterránea son respuestas adaptativas a las condiciones de déficit de nitrógeno, que, a su vez, son factores determinantes en la producción del cultivo.

Palabras clave: acumulación de peso seco; nitrógeno acumulado; rendimiento del tubérculo; *Solanum tuberosum*.

1. Introduction

Potato (*Solanum tuberosum*) is one of the main contributing plant crops for food security in the world, due to its high yield per unit of area and time, which makes it the third most consumed crop in the world (FAOSTAT, 2012; Devaux *et al.*, 2014). Thus, understanding how environmental factors determine growth patterns and production has been one of the most important issues on potato crop research, which aims to help improve the management of agricultural resources (Tiemens-Hulscher *et al.*, 2014; Passos *et al.*, 2017). Nitrogen fertilization is one of the most relevant practices in potato farming systems since nitrogen is the most important nutrient during all phenological potato stages (Van Delden, 2001; Machado & Sarmiento, 2012; Qiqige *et al.*, 2017; Nurmanov *et al.*, 2019).

Potato yield is strongly influenced by nitrogen fertilization (Van Delden, 2001; Qiqige *et al.*, 2017). The N effect on tuber yield has been well demonstrated (Alva *et al.*, 2002; Maltas *et al.*, 2018). Howe-

ver, the potato growth response depends largely on the nitrogen availability in the soil, which may have a considerable effect on the partitioning of assimilates and nitrogen to the different plant organs (Silva *et al.*, 2013; Gómez *et al.*, 2017; Ohamed *et al.*, 2017). This balance of the distribution of biomass and nitrogen to the different compartment may have significant effects on tuber production (Machado & Sarmiento, 2012; Silva *et al.*, 2013). For instance, excessive use of nitrogen has been singled out as the cause of higher aboveground biomass production in detriment of tuber production (Alva *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2013). On the other hand, several studies have shown that nitrogen availability in the soil may affect the growth of belowground plant organs (Lambers & Oliveira, 2019). For example, higher nitrogen availability can induce a greater growth of aboveground biomass (i.e. shoots) to the detriment of less root growth (Forde, 2002). Nevertheless, it is necessary to continue to explore these eco-physiological processes in order to enhance the efficiency of the use of agroecological resources in potato production systems.

Consequently, the objective of this study was to evaluate the effect of nitrogen nutrition on biomass and nitrogen partitioning patterns during the potato crop development (Cultivar Granola) in Mérida, Mérida State, Venezuela. Our hypothesis for this study was that the variation in nitrogen supply induces changes in the biomass partitioning patterns among the different organs of the potato crop. Therefore, an important proportion of nitrogen will be destined to tissues that are less demanding for biosynthesis, such as roots, but in detriment of assimilatory biomass (leaf and shoots). This research may contribute to the understanding and enhancing of nitrogen use efficiency in each developmental stage.

2. Material and methods

2.1. Field study

The field trials were set up in Mérida, in the State of Mérida, Venezuela ($8^{\circ} 35' 30''$ N - $71^{\circ} 08' 30''$ W, 1920 mamsl). The monthly temperatures in the area vary from 13 to 19 °C. Rainfall shows a tetra-seasonal pattern with a 2000 mm year average, and with two low rainfall periods (December to March, and June to August), and two high rainfall periods (April to June, and September to November). The soil has a sandy-loam consistency, with nitrogen availability of 0.09%, phosphorus availability of 2.2 ppm, interchangeable potassium of 1.1 meq/100 g, and a 5.8 pH. The net depth of the profile was of about 60 cm, and the horizontal surface (0 to 27 cm) showed an apparent density of 0.94 g cm^{-3} (Villa *et al.*, 2017).

The cultivar evaluated was Granola, one of the most cultivated in the region due to its high yield and consequent economic importance. This cultivar has a development cycle of 3.5 to 4 months from sowing to harvest (Villa & Sarmiento, 2009). Tuber formation starts at 30 days after emergence (DAE), and tuber filling continues until maximum leaf expansion, which takes place at approximately

60 days after sowing (DAS). Crop emergence was defined as the moment when 50% of the plants had emerged after sowing.

2.3. Experimental design

Three nitrogen fertilization treatments were evaluated in this study: 0 kg of N ha⁻¹ (no nitrogen supply), 133 kg of N ha⁻¹ and 400 kg of N ha⁻¹. These treatments were set up in a randomized complete block design with three replications. Each plot (27 m²) was established with a planting density of 4.44 plants per m². Each plot contained six rows 6 m long, with two outer rows acting as barriers (Figure 1).

In all treatments, sources of N were chicken manure (3% N) and ammonium sulfate (NH₄)₂SO₄. In treatment of 300 kg of N ha⁻¹ and 133.3 kg of N ha⁻¹ were applied, 100 kg N ha⁻¹ at planting time and 33.3 kg N ha⁻¹ applied to hilling. The 100 kg N ha⁻¹ of nitrogen applied during planting were distributed as 66.6 kg N ha⁻¹ as chicken manure and 33.3 kg N ha⁻¹ as ammonium sulfate. The application of the chicken manure was 2220 kg ha⁻¹ (amount of organic fertilizer), which is equivalent to 5.99 kg plot; and the application of ammonium sulfate was at a dose of 158.6 kg ha⁻¹ (amount of inorganic fertilizer). In hilling, an additional 33.3 kg N ha⁻¹ was applied as ammonium sulfate. In the 400-N treatment, 400 kg N ha⁻¹ were applied, 300 kg N ha⁻¹ at planting time and 100 kg N ha⁻¹ during hilling. The 300 kg ha⁻¹ initially applied were distributed as 200 kg N ha⁻¹ as chicken manure and 100 kg N ha⁻¹ as ammonium sulfate. The application of the chicken manure was 6666.6 kg ha⁻¹ (amount of organic fertilizer), which is equivalent to 18 kg plot; and the application of the ammonium sulfate was at a dose of 476 kg ha⁻¹ (amount of inorganic fertilizer). During hilling, an additional 100 kg N ha⁻¹ was applied as ammonium sulfate. Additional 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅ as phosphate rock (25% assimilable P₂O₅) was applied during sowing, as well as 200 kg ha⁻¹ of K₂O as potassium sulfate (17% assimilable K₂O) to all experimental plots.

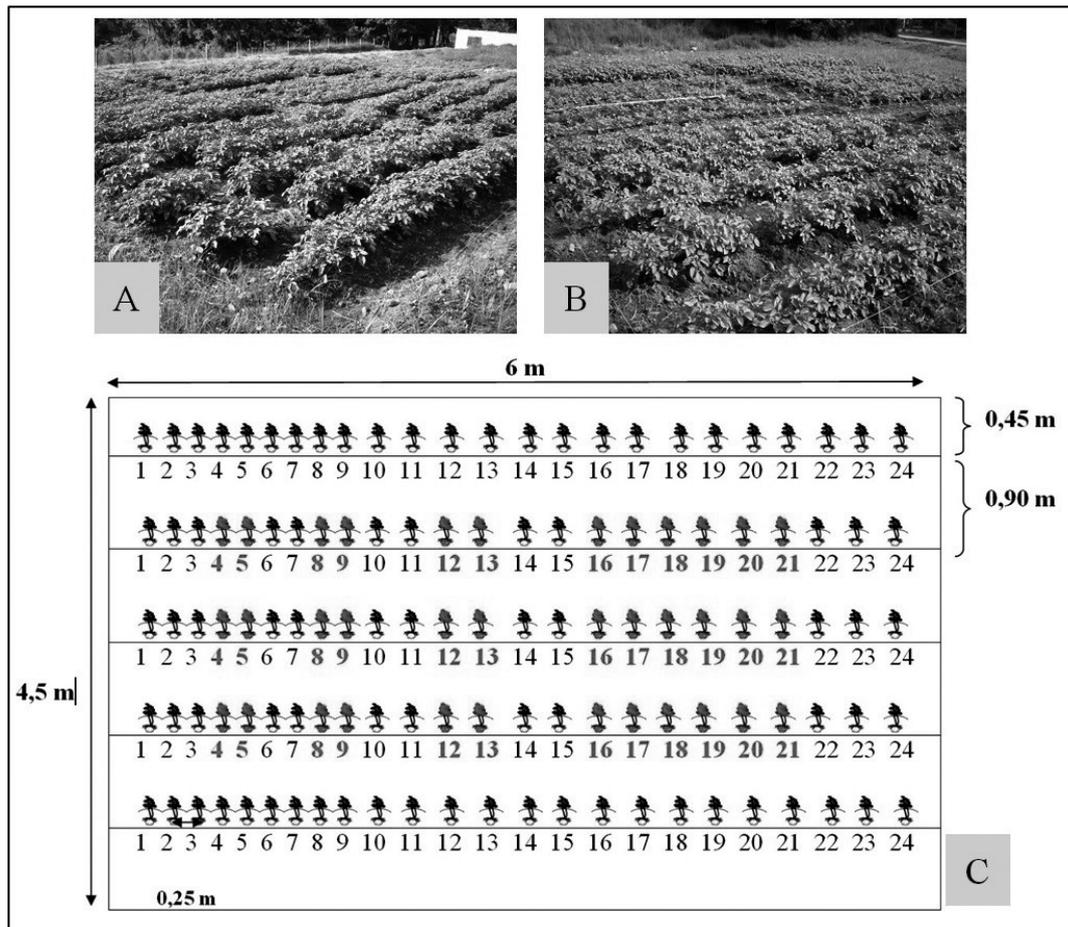


Figure 1. Plot design (A,B,C) for sample collection along the four selected phenological phases. Numbers 4-5, 8-9, 12-13 corresponded to the plants that were sampled during emergence, foliar expansion and tuber filling phases, respectively; completing 6 plants in each sample per plot. Plants 16-21 correspond to the last sampling carried out at harvest (C).

2.4. Sampling and measurements

Sampling took place during the main phenological stages of the cultivation, during emergence (13 DAE), tuberization (36 DAE), maximum leaf expansion (57 DAE), and prior to the harvest (85 DAE) (Villa & Sarmiento, 2009). Biomass and nitrogen measurements were taken for each plot and treatment. Measures were carried out in each plot by randomly selecting plant rows and omitting the two first rows on each side, as to avoid edge effects (Figure 1). Crop emergence was considered to have taken place when 50% of the plants had emerged after sowing (Machado & Sarmiento, 2012).

During the development of the crop, four samplings were made to estimate biomass and nitrogen contents within each of the aboveground and below-

ground organs, as a function of the number of days after emergence (DAE). Aboveground and belowground biomass was determined in each phenological stage from six plants selected in each plot. With the exception of the last sampling, eighteen plants per plot were harvested, given the significance of the crop yield from the agronomic point of view (Figure 1). Samples were dried at 70°C in an oven until they reached a constant weight. These samples were subsequently weighted and milled to further obtain composite samples per plot and sampling session.

The Kjeldahl method was used to determine the total nitrogen concentration per fertilization treatment, using 100 mg per setting. Nitrogen concentration per unit leaf area (mg N cm^{-2}) was estimated as the quotient between nitrogen concentration per weight unit and the specific leaf area. This was

implemented in each plot and fertilization treatment during the main phenological stages.

2.5. Statistical analyses

All analyses were carried out using the software R version 2.3.2.4 (R Core Team, 2018). Variation in biomass and nitrogen measures were compared between all treatments by one-way analysis of variance (ANOVA; for normally distributed data) followed by a post hoc Tukey's test ($p < 0.05$). The different treatments were the factors and the block design effects were key aspects taken into account. Biomass and nitrogen data within the different plant organs over the course of evaluation time were in accordance with polynomic functions, varying according to the DAS. In the case of accumulated nitrogen in total biomass and in the tubers, data were in accor-

dance with the Gompertz equation: $Y = a \cdot \exp(-b \cdot \exp(-c \cdot t))$, where Y corresponded to biomass, t corresponded to time, and a, b, and c to the parameters obtained by adjusting the experimental data.

3. Results and Discussion

3.1 Biomass and nitrogen partitioning

Total biomass showed clear differences between treatments during the periods of maximum leaf expansion (57 DAE) and final harvest on the 85th DAE, with the sequence $400\text{-N} > 133\text{-N} > 0\text{-N}$ (Figure 2A). Tuber biomass in fresh and dry weight at the final harvest showed significant differences ($p < 0.05$) between treatments (Table 1). Tuber yield also followed the sequence $400\text{-N} > 133\text{-N} > 0\text{-N}$.

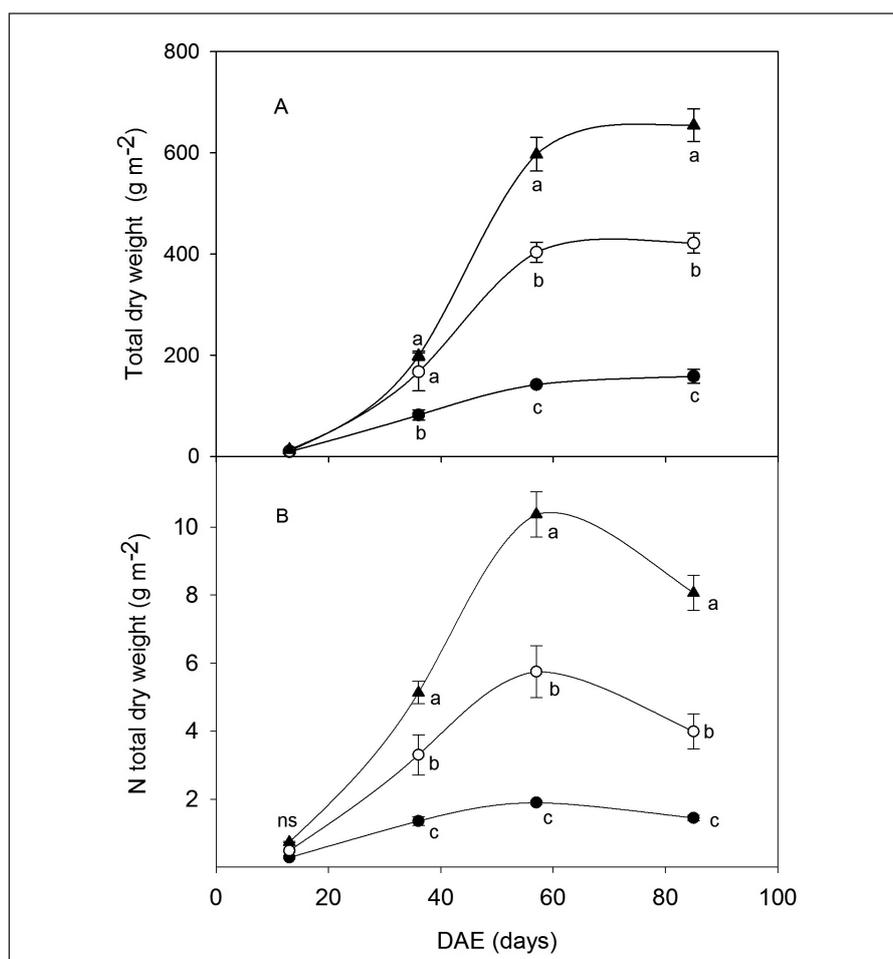


Figure 2. Pattern of total dry weight accumulation (A) and accumulated nitrogen in total dry weight (B) during days after emergence (DAE) in the different nitrogen fertilization treatments: 0-N (●) 133-N (○) and 400-N (▲). Different letters indicate significant differences between treatments per sampling period, ns (no significant differences) ($p < 0.05$).

Nitrogen content in the total biomass of the crop showed significant differences between the treatments in all of the development stages, except for the ones near emergence (Figure 2B). In the three

different treatments, total nitrogen content in the biomass tended to increase until the maximum leaf expansion stage (57 DAE), after which it decreased until the final harvest (Figure 2).

Table 1. Differences in tuber fresh weight (TFW), tuber dry weight (TDM), total dry weight (DW) during harvest, and accumulated nitrogen in total dry weight (NDW). The field experiment was set in Mérida, in the State of Mérida, Venezuela.

Treatments	TFW mg ha ⁻¹	TDM mg ha ⁻¹	Total DM mg ha ⁻¹	Total NDW kg N ha ⁻¹	R ²
0-N	7.87 (0.87) c	1.35 (2.72) c	1.59 (0.09) c	14.5 (0.10) c	0.92
133-N	22.01 (1.23) b	3.76 (3.18) b	4.22 (0.18) b	39.9 (0.50) b	0.90
400-N	34.44 (1.37) a	5.89 (4.01) a	6.55 (0.16) a	80.6 (0.5) a	0.94

The values in parentheses correspond to the normal deviation. Different letters in the columns indicate significant differences between treatments (Tukey HSD, $p < 0.05$).

This study shows that nitrogen fertilization had significant effects on total biomass and tuber production in potato production. The results are consistent with those of several other research studies reporting that biomass accumulation has been greater insofar as nitrogen supply increases (Van Delden, 2001; Machado & Sarmiento, 2012; Maltas *et al.*, 2018; Nurmanov *et al.* 2019). However, the average values of total biomass obtained in this study tend to be lower, even in the high fertilization treatment (400-N). Conversely, biomass accumulation and tuber yield levels in different studies are shown to be much greater when there is a moderate application of nitrogen fertilizer (approximately 180 kg N ha⁻¹), even when cultivars grow under fertilization conditions without nitrogen (Van Delden, 2001; Gómez *et al.* 2017; Malta *et al.* 2018). Nevertheless, the same biomass accumulation pattern is present during phenostages when nitrogen supply increases (Van Delden, 2001; Silva *et al.*, 2013).

3.2. Biomass partitioning

The patterns of biomass assignment across the different organs showed notable differences as

a response to the nitrogen fertilization treatments. Shoot biomass increased from the first stages and up until maximum leaf expansion, then decreased until the final harvest (Figure 3A). On the other hand, necromass starts to increase after emergence, along with the accumulation in the 400-N treatment setting (Figure 3A). These results presume that ecophysiological changes took place to adjust the partitioning of assimilates from aboveground biomass to high-demand sinks. In this case, Sharifi *et al.* (2009) examined the responses of new Russet Norkotah cultivar clones to nitrogen fertilization. They found that there were no significant differences in yield production, with nearly 38 mg ha⁻¹ for the TX112 and SRC cultivars, and two different treatments (0 and 150 kg N ha⁻¹); except for the cultivar SRC with a nearly 50 mg ha⁻¹ fertilization treatment. Allegedly, this cultivar could show a greater level of plasticity when there are nitrogen supply limitations, compared to the nitrogen supply conditions used in this study.

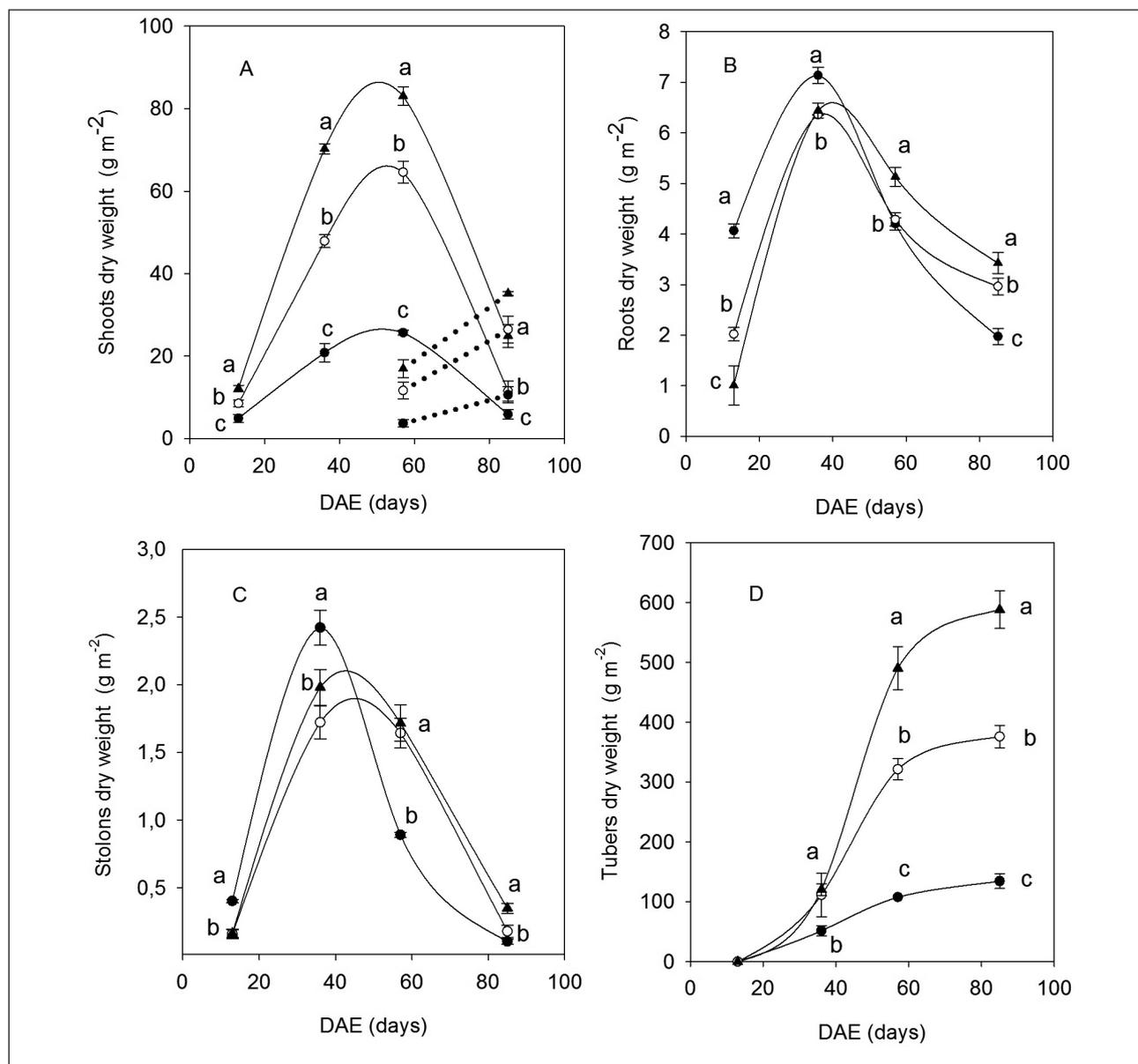


Figure 3. Dry weight accumulation patterns of different organs for the three fertilization treatments: 0-N (●), 133-N (○) and 400-N (▲) during days after emergence (DAE). The curves correspond to the adjustments with the polynomial (A,B,C) and Gompertz functions (D). The dotted lines represent necromass. Different letters indicate significant differences between treatments per sampling period ($p < 0.05$).

As for belowground biomass, the roots and stolons manifested a pattern of dissimilar distribution to that of the shoots, with a greater accumulation of root biomass in the case of the deficit treatment setting (0-N) during the first stages of crop development (Figure 3B and C). Starting from the 36th DAE, root biomass tended to diminish until the final harvest, with significant differences between treatments ($p < 0.05$). Tuber biomass increased through the DAE, with the same sequence 400-N > 133-N > 0-N (Figure 3C). These results are similar to those observed in previous stu-

dies (Alva *et al.*, 2002; Machado & Sarmiento, 2012; Maltas *et al.*, 2018). However, these results allow us to infer that ecophysiological processes may explain the few differences found in the different potato cultivars for tuber yield production when applying such contrasting fertilization treatments.

During crop development, the root/shoot and root/leaf ratios for the 0-N treatment were different compared to the 133-N and 400-N treatments. Under severe deficit conditions, a larger proportion of root

biomass per unit of assimilatory biomass is produced, and this led to important differences ($p < 0.05$) in

relation to the rest of the fertilization treatments, $0-N > 133-N > 400-N$ (Figure 4).

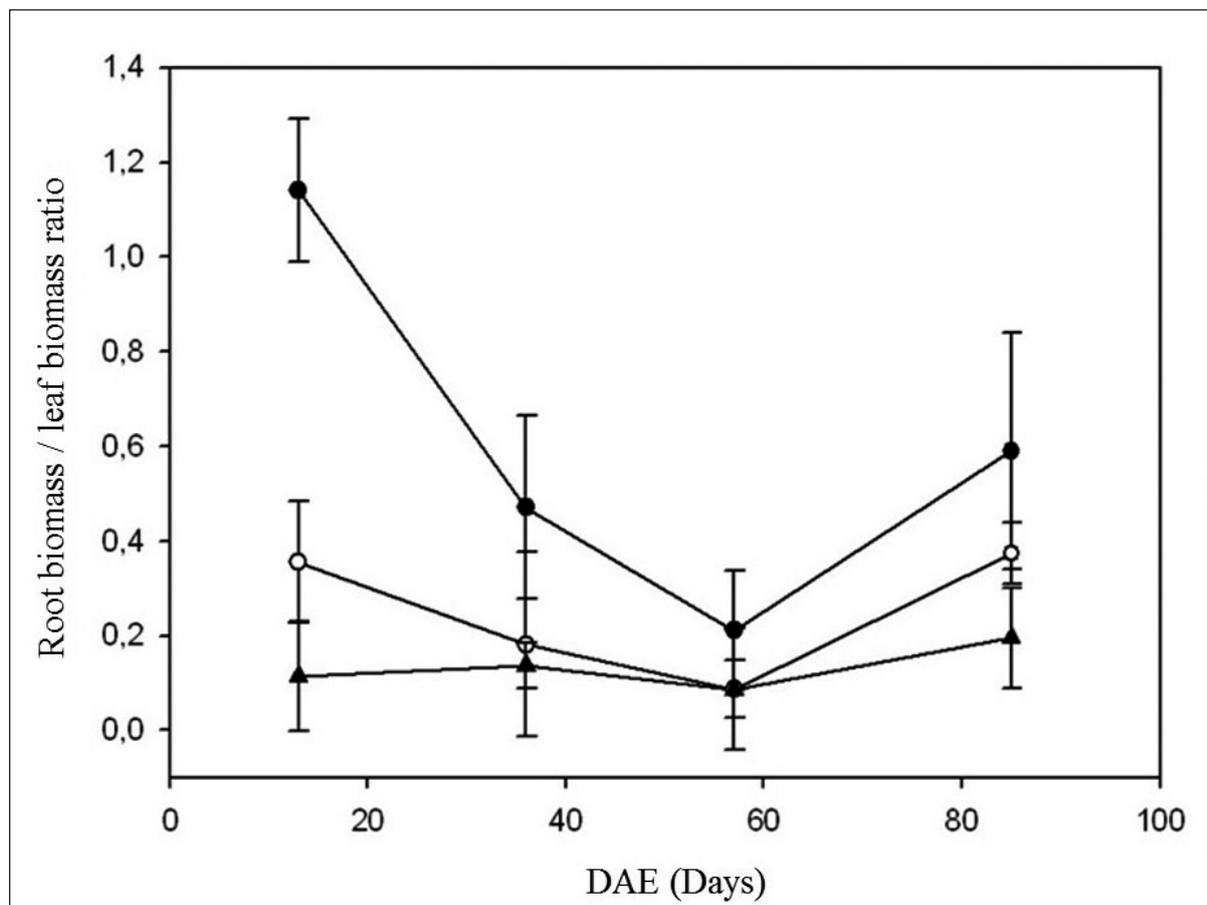


Figure 4. Effect of nitrogen fertilization treatments [0-N (●), 133-N (○) and 400-N (▲)] on the root biomass / leaf biomass ratio during days after emergence (DAE). Mean values are presented \pm standard deviation.

3.3. Nitrogen partitioning

Leaf nitrogen concentration for each of the treatments and phenological stages of the crop was higher compared to that of the other plant organs. In decreasing order, the organs with the most nitrogen concentration were the leaves, stems, roots, stolons and tubers (Figure 5). As a general pattern, nitrogen concentration within each organ tended to decrease significantly over the course of time. These results suggest that the higher levels of nitrogen concentration in the leaves, compared to the rest of the organs, could be due to the great demand for photosynthetic functions and the phenological stage, since the maintenance of vegetative growth is delayed by tuberization and filling of the tuber.

The accumulated nitrogen in aboveground biomass maintained a similar pattern for the different treatments, albeit with stark differences in phenological stages of the crop (Table 1). Within the shoots, nitrogen content started to increase from the first stages of development, reaching the maximum values around the 50th DAE. Later on, at the beginning of senescence, nitrogen content began to decrease rapidly until the final harvest (Figure 5A).

Under severe deficit conditions on the 13th DAE, more nitrogen was allocated to the roots compared to the rest of the treatments (Figure 5B). This same trend was found for the stolons, where accumulated nitrogen values for the 0-N treatment remained above the rest through the development of

the crop (Figure 5C). The tubers showed contrasting nitrogen accumulation patterns on the final harvest. Additionally, it became clear that, approximately,

from the 60th DAE on, there is a slight decrease in nitrogen content within this organ, for all treatment, until the final harvest (Figure 5D).

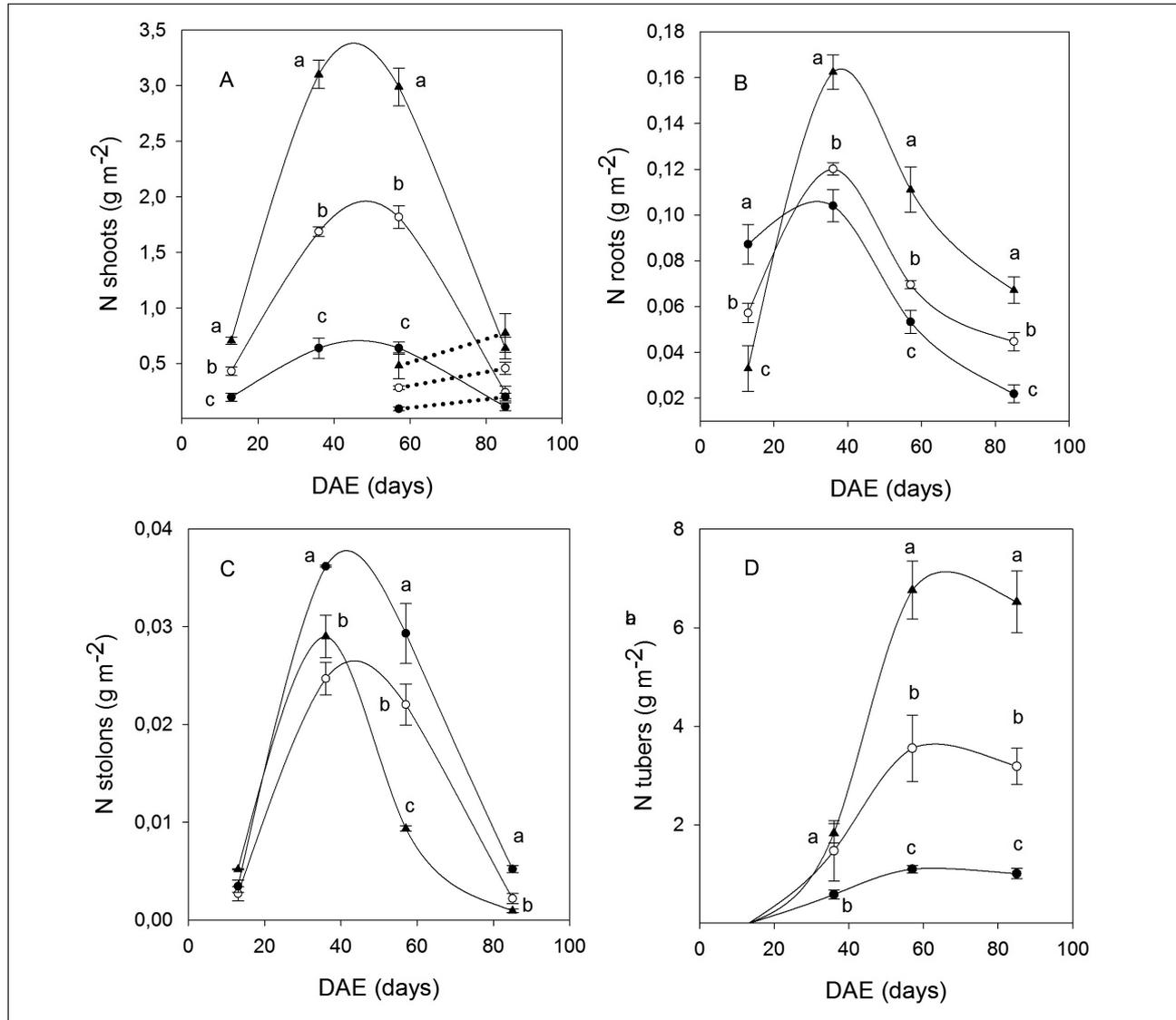


Figure 5. Patterns of accumulated nitrogen in total dry weight for shoots, A; roots, B; stolons, C; and tubers, D; during the days after emergence (DAE) for the different nitrogen fertilization treatments: 0-N (●) 133-N (○) and 400-N (▲). The curves correspond to the adjustments with the polynomial (A,B,C) and Gompertz functions (D). Different letters indicate significant differences between treatments per sampling period ($p < 0.05$).

Currently, there is sufficient evidence on the effects of nitrogen nutrition on potato tuber production (Qiqige *et al.*, 2017; Maltas *et al.*, 2018). However, the evidence is still limited concerning biomass accumulation and partition to different plant organs under varied nitrogen fertilization doses in different potato cultivars of the tropical Andes. Thus, these studies are limited to analyzing biomass partitioning to

the shoots and tubers, regardless of the partitioning to stolons and roots, and particularly less under nitrogen deficit conditions. In this study, the aim was to assess different growth parameters, such as accumulated root biomass as a possible additional indicator to enhance nitrogen use efficiency (Silva *et al.*, 2013).

This study demonstrates that the largest deficit of nitrogen was produced by that assigned biomass

to the roots, compared to aboveground biomass; mainly during the first stages, with values of 44, 19, and 8% for the treatments 0-N, 133-N, and 400-N, respectively. These results suggest that changes in the patterns of assimilate distribution constitute a plastic response of acclimation to stress under nitrogen deficit. This has been reported in several works dealing with different plant species (Forde, 2002; Lambers & Oliveira, 2019). Nevertheless, research on ecophysiological responses of potato cultivars in the tropical Andes is limited. These types of studies and results can be better used as indicators of sustainability of potato farming systems, in which the reduction and substitution of mineral fertilizers by organic fertilizers may be possible to maintain or increase yield (Tiemens-Hulscher *et al.*, 2014, Ohammed *et al.*, 2017).

Our results indicate that, under nitrogen deficit conditions, there is a higher root: shoot ratio with contrasting differences in relation to other fertilization treatments. This is consistent with other plant species, which show modifications in biomass partitioning throughout shoots and roots when they grow with nitrogen limitations (Forde, 2002). Meanwhile, Scheible *et al.* (1997) found that the high accumulation of NO_3 in the shoots of tobacco plants correlates strongly with significant root growth inhibition, and with reduction in the root: shoot ratio. This explains why roots do not function independently from shoots and that both depend on conditions of carbon supply and nitrogen availability (Lambers & Oliveira, 2019). Similarly, Forde (2002) states that there are two main responses to nutrient variations in the

soil, one depending on nitrogen concentration in the plant and, particularly in the shoots; and the other one as a result of a short-term fluctuation of nitrogen supply to the roots.

Throughout the development of the crop, the nitrogen concentration in each plant organ tended to show a significant reduction in each treatment condition, as a result of biomass dilution. This tendency was described by Greenwood *et al.* (1991) when they determined the minimum amount of nitrogen needed for the plant to attain their maximum growth rate. In previous studies, however, it was concluded that there are differences in nitrogen concentration levels among plants with C_3 and C_4 metabolisms. Previous studies have analyzed these processes, finding consistent differences that are not limited to the levels of nitrogen availability for the plant, but also include differences in the accumulated nitrogen content in the biomass (Gastal & Lemaire 2002; Lemaire *et al.*, 2007).

4. Conclusions

This research demonstrates that total biomass production, as well as biomass and nitrogen partitioning to each plant organ followed the sequence: 400-N > 133-N > 0-N. However, biomass and nitrogen partitioning to roots and stolons was higher in the treatment with limited nitrogen levels. Proportional changes among aboveground and belowground biomass are adaptive responses to distinct nitrogen conditions, which, in turn, are determining factors in crop production.

References

- Alva, A. K., Hodges, T., Collins, H. P., & Oydston, R. A. (2002). Dry matter and nitrogen accumulation and partitioning in two potato cultivars. *Journal Plant Nutrition and Soil Science*, 25(8), 1621-1630. <https://doi.org/10.1081/PLN-120006047>
- Devaux, A., Kromann, P., & Ortiz, O. (2014). Potatoes for Sustainable Global Food Security. *Potato Research*, 57, 185-199. <https://doi.org/10.1007/s11540-014-9265-1>
- FAO (2012) FAO statistical databases FAOSTAT. From <http://faostat3.fao.org/>
- Forde, B. G. (2002). The role of long-distance signalling in plant responses to nitrate and other nutrients. *Journal of Experimental Botany*, 53(366), 39-43. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.39>
- Gastal, F., & Lemaire, G. (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and eco-

- physiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, 53(370), 789-799. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.370.789>
- Gómez, M. I., Magnitskiy, S., Rodriguez, L. H., & Darghan, A. E. (2017). Accumulation of N, P, and K in the tubers of potato (*Solanum tuberosum* L. ssp. andigena) under contrasting soils of the Andean region of Colombia. *Agro-nomía colombiana*, 35(1), 59-67. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n1.61068>
- Greenwood, D. J., Gastal, F., Lemaire, G., Draycott, A., Millard, P., & Neeteson, J. J. (1991). Growth rate and % N of field grown crops: theory and experiments. *Annals of Botany*, 67(2), 181-190. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088118>
- Lambers, H., & Oliveira, R. (2019). *Plant physiological ecology*. Switzerland: Springer Nature AG.
- Lemaire, G., Jeuffroy, M. H., & Gastal, F. (2007). Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 28(4), 614-624. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.005>
- Machado, D., & Sarmiento, L. (2012). Respuesta del cultivo de papa a la combinación de diferentes fuentes de fertilización nitrogenada: evaluando la hipótesis de la sincronización. *Bioagro*, 24(2), 83-92.
- Maltas, A., Dupuis, B., & Sinaj, S. (2018). Yield and Quality Response of Two Potato Cultivars to Nitrogen Fertilization. *Potato Research*, 61, 97-114. <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9361-8>
- Nurmanov, Y. T., Chernenok, V. G., & Kuzdanova, R. S. (2019). Potato in response to nitrogen nutrition regime and nitrogen fertilization. *Field Crops Research*, 231(1), 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.014>
- Ohamed, E. M. E., Watthier, M., Zanuncio, J. C., & Santos, R. H. S. (2017). Dry matter accumulation and potato productivity with green manure. *Idesia*, 35(1), 79-86. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000016>
- Passos, S., Kawakami, J., Nazareno, N. R. X., Santos, K.C., & Tamanini Junior, C. (2017). Produtividade de cultivares de batata orgânica em região subtropical do Brasil. *Horticultura Brasileira*, 35(4), 628-633. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620170424>
- Qiqige, S., Jia, L., Qin, Y., Chen, Y., & Fan, M. (2017). Effects of Different Nitrogen Forms on Potato Growth and Development. *Journal of Plant Nutrition*, 40(11), 1651-1659. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1269345>
- R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. From <https://www.R-project.org/>
- Sharifi, M., Zebarth, B. J., Porter, A., Burton, D. L., & Grant C. A. (2009). Soil mineralizable nitrogen and soil nitrogen supply under two-year potato rotations. *Plant Soil*, 320, 267-279. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9892-5>
- Silva, J. G., França, M. G. C., Gomide, F. T., & Magalhaes, J. R. (2013). Different Nitrogen Sources Affect Biomass Partitioning and Quality of Potato Production in a Hydroponic System. *American Journal of Potato Research*, 90, 179-185. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9297-5>
- Scheible, W. R., Gonzalez-Fontes, A., Lauerer, M., Müller-Röbert, B., Caboche, M., & Stitt, M. (1997). Accumulation of nitrate in the shoot acts as a signal to regulate shoot-root partitioning in tobacco. *The plant Journal*, 11(4), 671-691. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3113.1997.11040671.x>
- Tiemens-Hulscher, M., Van Buere, E. T. L., & Struik, P. C. (2014). Identifying nitrogen-efficient potato cultivars for organic Farming. *Euphytica*, 199(1-2), 137-154. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1143-z>
- Van Delden, A. (2001). Yield and growth components of potato and wheat under organic nitrogen

management. *Agronomy Journal*, 93(6), 1370-1385. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.1370>

Villa, P. M., Sarmiento, L., Rada, F. J., Machado, D., & Rodrigues, A. C. (2017). Leaf area index of potato (*Solanum tuberosum* L) crop under three nitrogen fertilization treatments. *Agrono-*

mía Colombiana, 35(2), 171-175. <http://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.62110>

Villa, P. M., & Sarmiento, L. (2009). Recomendación alternativa para la fertilización nitrogenada del cultivo de papa en los altos Andes venezolanos. *INIA Hoy*, 6, 191-199

Aves del sendero Cóndor Machay (cantón Rumiñahui, Pichincha-Ecuador): Evaluación de especies con valor para el aviturismo local

Birds of the Cóndor Machay trail (cantón Rumiñahui, Pichincha-Ecuador): Evaluation of species with local avitouristic value

Iván Vinicio Jácome-Negrete¹, Henry Paúl Monar-Barragán^{2*}

¹ Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Central del Ecuador, calle Iquique N 14-121 y Sodiro-Itchimbía, EC170136, Quito, Ecuador.

 <https://orcid.org/0000-0002-8337-7959>

² Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Central del Ecuador, calle Iquique N 14-121 y Sodiro-Itchimbía, EC170136, Quito, Ecuador.

 <https://orcid.org/0000-0002-9079-0012>

✉ Autor para correspondencia: hpmonar@uce.edu.ec

Resumen

Se planteó este estudio con el objetivo de evaluar el potencial aviturístico de las aves del sendero Cóndor Machay, localizado en el bosque montano alto, de la parroquia Rumipamba, en el cantón Rumiñahui (provincia de Pichincha-Ecuador). Las aves fueron identificadas visualmente mediante once recorridos de 3,5 km efectuados desde el sector de La Caldera a la cascada Cóndor Machay, entre septiembre de 2017 y marzo de 2018. Para cada especie se calculó su valor aviturístico, como una variable que combina los parámetros de estética, abundancia relativa, perceptibilidad, estado de conservación, endemismo, importancia científica, valor histórico cultural y singularidad taxonómica. En total, se registraron 58 especies de 21 familias y 9 órdenes, con predominio de colibríes (Trochilidae) y Passeriformes. Las diez especies con mayor valor aviturístico fueron: caracara curiquingue, tangara montana ventriescarlata, gaviota andina, mirlo grande, carpintero dorsicarmesí, matorralero nuquirufo, colibrí orejivioleta ventriazul, candelita de anteojos, gallinazo negro y la pava andina. El sendero constituye un refugio para las aves andinas locales y presenta un alto valor para el fomento del aviturismo local. Se recomienda asegurar su conservación a largo plazo, a través de la regulación de la capacidad de carga turística y la aplicación estricta de normas para el visitante, en cuanto a la disposición final de la basura e introducción de mascotas dentro del sendero.

Palabras clave: Andes, aves, bosque montano, diversidad, Ecuador.

Abstract

This study was designed with to evaluate the bird watching potential in the Cóndor Machay trail. This trail is located in the high montane forest, of Rumipamba parish, in the Rumiñahui canton (Pichincha Province-Ecuador). The birds were visually identified by eleven walk-rounds of 3.5 km carried out from La Caldera sector to the Cóndor Machay waterfall, from September 2017 to March 2018. For each species, its bird watching values were estimated as a variable that combines the parameters of aesthetics, relative abundance, perceptibility, conservation status, endemism, value, and scientific importance, cultural historical value and taxonomic singularity. In total, 58 species of 21 families and 9 orders were registered, with a predominance of hummingbirds (Trochilidae) and Passeriformes. 10 species with the greatest avitouristic value were: Carunculated Caracara, Scarlet-bellied Mountain-Tanager, Andean Gull, Great Thrush, Crimson-mantled Woodpecker, Yellow-breasted Brush-Finch, Sparkling Violetear, Spectacled Redstart, American Black Vulture and the Andean Guan. The trail is a refuge for

local Andean birds, and has a high value for the promotion of the local bird-watching tourism activities. To ensure the long-term conservation of this site, we recommend regulating the tourist carrying capacity and to implement strict rules for the visitors regarding garbage disposal and pet handling within the path.

Keywords: Andes, birds, montane forest, diversity, Ecuador.

1. Introducción

A escala mundial existen 34 *hotspots*; de éstos, 25 se localizan parcial o totalmente en las montañas (Price *et al.*, 2011). La cordillera de los Andes tropicales presenta una alta diversidad ecosistémica y biológica debido a la existencia de gradientes geográficos y ambientales (Josse *et al.*, 2009). Toda esta región se caracteriza por su alto endemismo, los múltiples servicios ecosistémicos que provee en términos de regulación climática y captura de carbono (Tejedor *et al.*, 2012), y por ser parte del patrimonio forestal de los países andinos. Los bosques montanos registran cifras de alta diversidad vegetal al norte de los Andes. En Ecuador se localizan por encima de los 3.000 m y constituyen la vegetación de transición, localmente conocida como ceja andina, la cual se ubica entre los bosques nublados y el páramo (Cuesta *et al.*, 2009; MAE & FAO, 2015).

Los bosques montanos andinos registran un alto endemismo, especialmente de plantas y vertebrados (Price *et al.*, 2011). En Ecuador, el bosque montano contiene el 50 % de todas las especies de la flora ecuatoriana (MAE & FAO, 2015). Estos ecosistemas brindan múltiples servicios ecosistémicos, como la oferta de productos forestales, protección de laderas, retención de agua, además de ser espacios importantes para la supervivencia de poblaciones humanas (Cuesta *et al.*, 2009; Hostettler, 2002; Price *et al.*, 2011). Si bien a escala regional, la cobertura natural andina aún cubre un 79 % (Josse *et al.*, 2009), la situación de Ecuador difiere, la remanencia de los bosques montanos únicamente alcanza un 11 % (Cuesta *et al.*, 2009). La principal causa de conversión de la cobertura natural de los bosques montanos es la implantación de tierras agrícolas (Price *et al.*, 2011), seguido por las concesiones mineras y la presión por el fuego. La quema y tala de bosques montanos, realizadas por agricultores andinos, han provocado la pérdida de un 45 % de los bosques originales desde 1980 (MAE & FAO, 2015).

Dentro del cantón Rumiñahui quedan pocos remanentes de bosque montano andino, ubicados en las faldas del volcán Pasochoa, sobre los 3.200 m s.n.m.

La vegetación natural ha quedado reducida al 10 % de su cobertura original por factores como la agricultura intensiva, ganadería, cultivo de bosques de eucalipto y el avance de la expansión urbana e industrial (Sociedad Civil del cantón Rumiñahui, 2001).

Para la zona andina, Fjeldså (2007) recomienda que los esfuerzos tradicionales para preservar la biodiversidad se complementen con actividades que promuevan el desarrollo sostenible en las áreas pobladas. Desde esta perspectiva y considerando su alto valor paisajístico, estos bosques pueden ser la base para el fomento del turismo (Price *et al.*, 2011), que permita su conservación a largo plazo. El aviturismo es una de las pocas actividades que cubren las expectativas de los conceptos de ecoturismo y sustentabilidad, al ofrecer a los interesados el contacto directo con la naturaleza (Amparán & Téllez, 2005). En este contexto, esta actividad es una opción económica viable para la conservación del patrimonio biocultural (CAF-Banco de Desarrollo de América Latina, 2014). El aviturismo como actividad recreativa, además de descubrir la riqueza de las aves y favorecer su conservación, también contribuye a mejorar las condiciones de vida de las personas con la creación de festivales turísticos como el Festival de las Aves de las Altas Montañas de Veracruz, en México (Pérez-Sato *et al.*, 2018). Otro ejemplo es la realización de los “Birding Rally Challenges”, como el realizado entre equipos internacionales de observadores apasionados de las aves que cubrieron una ruta montañosa entre Lima y Cusco, en Perú, durante 5 días de competencia, con el triunfo de un equipo estadounidense que logró registrar 493 especies de aves (Verástegui, 2013).

En Ecuador, la ornitofilia, entendida como la afición hacia las aves, comenzó a partir de 1980, y en la actualidad es una actividad económica de importancia dentro del turismo de naturaleza (Freile & Rodas, 2008). El turismo relacionado con la observación de aves es un producto tradicional con alto potencial de exportación (Mindocloudforest Foundation, 2006). En el país, la práctica del aviturismo, además de ser una actividad eco-

nómica generadora de fuentes de trabajo, también contribuye a la protección del ambiente (Herrera & Lasso, 2014). El aviturismo también ha favorecido el desarrollo local al proponer alternativas sostenibles que vinculan la conservación de las aves con la generación de empleo para personas de comunidades rurales, como ha ocurrido con la creación de rutas aviturísticas en comunidades como las cuatro rutas de aves de Gualchán, en Carchi (Chandi & Muñoz, 2018). El país se ha posicionado como un destino aviturístico de notable importancia a nivel regional y mundial (Steven, 2017). Sin embargo, la mayor afluencia de turistas en áreas protegidas también puede ser un factor de introducción de especies exóticas, lo cual implica un riesgo para la conservación (Muñoz, 2015).

El aviturismo, como componente del ecoturismo, se enfoca en la observación de las aves, y si se lo realiza sustentablemente genera beneficios económicos (dinero a partir de la oferta de servicios de transporte, hospedaje, comida, venta de recuerdos, generación de empleo), sociales (promoción del desarrollo rural) y de conservación (protección local de las especies) (El-Mahdy & Abdel-Motaal, 2018). El aviturismo, como producto turístico, implica el desarrollo de varias actividades: un diagnóstico de la riqueza de las aves del sitio, el diseño de posibles paquetes y rutas aviturísticas, un detallado análisis de costos, la definición de estrategias de mercado y comercialización, un análisis de la viabilidad legal del proyecto y un estudio económico y financiero de la rentabilidad del mismo (Llulluna, 2018).

El diagnóstico de la biodiversidad local es un elemento clave para el desarrollo del aviturismo. Los estudios sobre la avifauna del cantón Rumiñahui son escasos. El Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui (2011) publicó un atlas de la biodiversidad del cantón, en el cual se reportan 61 especies de aves, de las cuales, 52 son propias del bosque montano, con predominio de *Passeriformes* y *Apodiformes*. Se menciona también la existencia de tres especies endémicas de laderas y valles interandinos, una especie amenazada y catorce especies más registradas en el Apéndice II de CITES. Guarderas & Jácome (2010) publican una guía de aves del cantón para la zona urbana y algunos sectores rurales en la que se reporta la existencia de 40 especies más comunes. Se menciona que a medida que se profundicen los estudios esta cifra inicial podría incrementarse, tomando en cuenta la

ubicación de las áreas rurales en las faldas del volcán Pasochoa. Se indica que debido a la creciente deforestación y urbanización del cantón solamente quedan relictos de bosque montano en los sitios más inaccesibles, y que las áreas verdes ofrecen condiciones adecuadas para la existencia de la avifauna local al no contar con cobertura arbustiva natural. Según el *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Rumipamba, 2012-2025* (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Rumipamba, 2012), se indica que a pesar de existir zonas de alto valor paisajístico y multiplicidad de pisos, esta parroquia registra los valores más altos en los indicadores de pobreza, con insuficiencia de fuentes de trabajo, al estar centradas las actividades productivas de agricultura y ganadería, sin incursionar en otras actividades compatibles con la conservación.

En la última década se ha promocionado el desarrollo de nuevos espacios como áreas para la recreación y el turismo. Uno de estos espacios es el sendero que conduce a la cascada Cóndor Machay. Este sendero atraviesa uno de los últimos remanentes de bosque montano alto a lo largo del río Pita, y tiene una extensión aproximada de 3,5 km. Sin embargo, no existen estudios actualizados que permitan conocer una cifra real de las especies de aves que hay en la zona y tampoco se ha realizado una valoración del potencial aviturístico que pueden tener las especies. Tomando en cuenta lo mencionado, el presente estudio desarrolló una evaluación del potencial aviturístico de las aves que habitan el sendero peatonal. Se espera contribuir, a través de este trabajo, con la promoción del aviturismo local como una estrategia que dinamice la economía y, a la vez, contribuya a la conservación de esta área.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia Rumipamba, a una altura referencial de 3.100 m s.n.m. El sitio específico se localizó en el sendero turístico de acceso a la cascada Cóndor Machay, desde el sitio identificado como La Caldera (0,456491°S; 78,423584°O Datum WGS84) hasta la cascada (0,482283°S; 78,429047°O Datum WGS84), con una longitud de 3,5 km, a las orillas del río Pita (Figura 1).

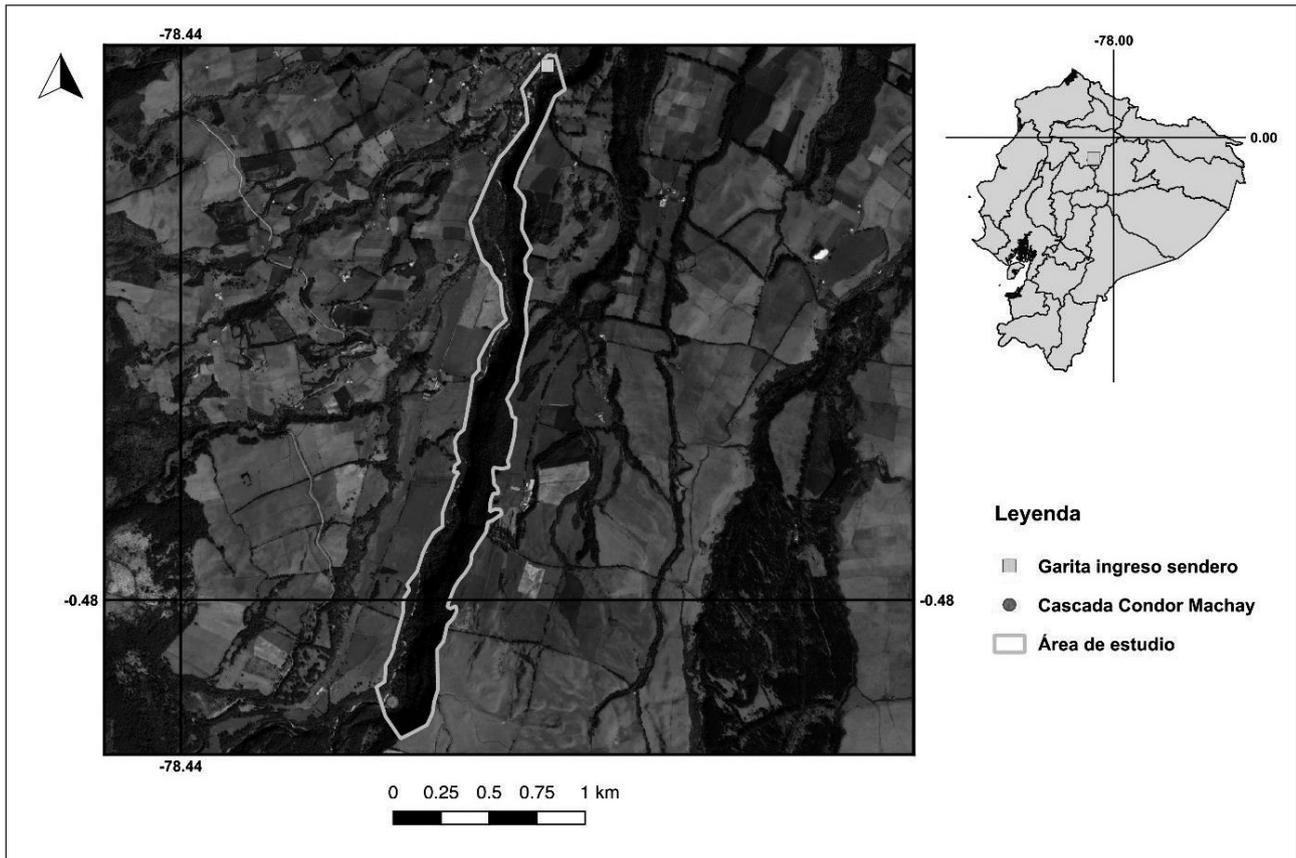


Figura 1. Mapa del área de estudio (Fuente: Google Earth, 2017).

El sendero está rodeado por un relicto de bosque montano alto, identificado conforme la clasificación propuesta por MAE & FAO (2015). Predominan especies arbóreas de las familias Araliaceae, Betulaceae, Buddlejaceae, Cunoniaceae, Euphorbiaceae, y arbustivas de las familias Asteraceae, Boraginaceae, Campanulaceae, Caprifoliaceae, Clusiaceae. En cuanto a su zoogeografía, la zona de estudio pertenece al piso altoandino, de acuerdo con la clasificación propuesta por Albuja *et al.* (2012).

El sendero como recurso turístico está bajo la administración de la Dirección de Turismo del GAD Rumiñahui, desde el 2007 (Herrera, 2016). Con aporte municipal se han construido puentes de acceso, señalética, una garita y se cuenta con la presencia permanente de un guardaparque que controla las actividades turísticas.

2.2. Metodología

Para la evaluación del potencial de las aves del sendero Cóndor Machay, desde una perspectiva avi-

turística, se aplicó la secuencia metodológica de los apartados 2.2.1. y 2.2.2.

2.2.1. Inventario de especies

Se realizó un inventario ornitológico con énfasis en las aves detectables a simple vista del área. El registro de las aves observables se hizo mediante el establecimiento de un transecto de 3,5 km de distancia, sobre el sendero de acceso a la cascada, desde la garita de ingreso al sitio en La Caldera hasta la cascada Cóndor Machay.

El sendero fue recorrido a partir de las 07:00 hasta las 13:00, de ida y vuelta a la cascada. Se realizaron 11 recorridos, desde el 01 de septiembre de 2017 hasta el 22 de marzo de 2018, con dos recorridos mensuales. El sendero fue dividido en 11 sectores de registro, aprovechando la existencia de puentes metálicos (P) como límites entre sectores. Se dividió de la siguiente manera: Sector S0 = garita a p1, Sector 12 = puente1 a p2, Sector 23 = p2 a p3, Sector 34 = p3 a p4, Sector 45 = p4

a p5, Sector 56 = p5 a p6, Sector 67 = p6 a p7, Sector 78 = p7 a p8, Sector 89 = p8 a p9, Sector 90 = p9 a p10 y Sector 100 = p10 a cascada Cón-dor Machay.

Durante cada recorrido se hicieron regis-tros visuales de las aves, empleando monoculares (*spotting scope*) *Bushnell* (20 x 40-60) y BAK4/FMC 12 x 50. Para cada observación realizada se registró la identidad taxonómica de cada ave, con apoyo de las guías de campo: McMullan & Vásquez (2009) y McMullan & Navarrete (2017). Además, se consideraron los datos: número de in-dividuos, distancia perpendicular en metros, sec-tor de avistamiento, hábitat, estrato, sustrato y es-tructura social; conforme recomiendan Villarreal *et al.* (2004).

Para estimar la distancia de las observaciones se empleó un medidor digital laser *Bushnell Scout* 1000 ARC DX. Al final de la fase de campo se elab-oró una tabla con las especies registradas y sus frecuencias de avistamientos parciales y totales.

Para evaluar el esfuerzo de muestreo realiza-do se proyectó la curva de acumulación de espe-cies, usando el software *StimateS* (Colwell, 2013), y se calculó el estimador Chao1 para cuantificar la riqueza esperada, además del porcentaje de com-pletitud alcanzado en el muestreo, conforme reco-miendan Villarreal *et al.* (2004). La estructura de

la comunidad de aves se proyectó en una curva de rango-abundancia, cuyo eje *X* corresponde a las especies organizadas y el eje *Y* corresponde al lo-garitmo base 10 de la proporción de la abundancia relativa de cada especie respecto a la abundancia total, de acuerdo con Feinsinger (2003).

2.2.2. Valor aviturístico potencial de las especies registradas (PAV)

El valor aviturístico potencial de cada espe-cie registrada en el sendero fue tabulado tomando en consideración los siguientes parámetros: Valor estético (*Ve*), Abundancia relativa (*Ab*), Percep-tibilidad del ave (*Pe*), Estado de conservación (*Ec*), Endemismo (*End*), Valor de uso e importan-cia científica (*Vu*), Valor histórico cultural (*Vh*) y Singularidad taxonómica (*St*). Cada parámetro tiene a su vez subcategorías de calificación, de acuerdo a criterios sugeridos por Muñoz-Pedrerros & Quintana (2010) y Almendras, Ferrari & Diez (2017). Se realizaron ajustes en concordancia con las características de la avifauna bajo estudio, que se detallan en la descripción de los correspondien-tes subparámetros.

El potencial aviturístico de cada especie (PAV) resulta de la sumatoria de los valores de los pará-metros antes indicados, empleando la fórmula [1]. La sumatoria máxima para la variable PAV es de 53,25 puntos.

$$PAV = \sum 1,5Ve + 1,5Ab + 1,5Pe + Ec + End + 0,5Vu + 0,5Vh + 0,5St \quad [1]$$

A continuación, se detallan los criterios em-pleados para cada parámetro:

- **Valor estético (Ve):** valoración cuantitati-va de la percepción estética realizada por un grupo de 25 personas, sobre los componentes visuales (colores, formas) que conforman las imágenes de la fauna presentadas a los evalua-dores, siguiendo lo sugerido por Muñoz-Pe-drerros (2004) con modificaciones a la escala de valoración. Se mostraron imágenes a color, en su silueta lateral y de alta resolución de las 58 especies de aves registradas con una caden-

cia de 20 segundos. Se consideró una escala de 0 a 3, siendo 0 el puntaje para lo menos atractivo visualmente hasta 3 como el puntaje considerado para lo más atractivo. Cada per-sona dio una calificación por especie. Luego los puntajes individuales fueron promediados para obtener un puntaje final por especie.

- **Abundancia (Ab):** número relativo de indi-viduos de cada especie registrados en el área de estudio. Como criterios de valoración se consideró lo propuesto por Cadena-Ortiz *et al.* (2015) (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios de valoración y puntajes para la variable Abundancia

Criterio de valoración	Puntaje
(V) registro ocasional o posible especie vagabunda	0
R = raro, registrado pocos individuos y no diariamente	1
PC = poco común, registrado diariamente en números pequeños, 1-10 individuos/día	2
C = común, >10 individuos/día	3

- Perceptibilidad (Pe):** variable que contiene los subparámetros de medición de la fórmula [2], y su correspondiente métrica. La sumatoria máxima de los subparámetros de la variable Perceptibilidad es de 22,5 puntos. Esta sumatoria a su vez se multiplica por un coeficiente de 1,5 pudiendo alcanzar un valor máximo de 33,75 puntos.

$$Pe = 1,5Pa + 1,5Cm + 1,5T + Pa + C + 0,5Pi + 0,5Gt \quad [2]$$

- Periodo de actividad (Pa):** período del día en el cual las especies realizan sus actividades, excluyendo sus periodos de sueño o aletargamiento y que guarda concordancia con la mayor factibilidad de observación de las aves (Tabla 2).

Tabla 2. Criterios de valoración y puntajes para la variable Período de actividad.

Criterio de valoración	Puntaje
Especies nocturnas, activas cuando no hay luz solar	0
Especies crepusculares, que desarrollan actividades durante el ocaso	1
Especies diurnas, con actividades durante el período de luz solar	2
Especies diurnas-crepusculares, con actividad tanto de día como al ocaso	3

- Colorido y mimetismo (Cm):** grado en que las aves destacan y llaman la atención del observador por sus características cromáticas de plumaje, pudiendo variar desde un mimetismo absoluto con el medio circundante, hasta los casos en que las especies exhiben tonalidades que destacan del entorno y las hacen muy distinguibles (Tabla 3).

Tabla 3. Criterios de valoración y puntajes para la variable Colorido y mimetismo.

Criterio de valoración	Puntajes
Colorido muy bajo: el color no es una característica destacada, el contraste con el entorno es mínimo o casi inexistente. Plumaje muy mimético.	0
Colorido medio: el colorido del plumaje puede ser llamativo, pero el contraste con el medio es muy bajo. Son especies con plumajes predominantemente grises, verdosos, pardos, cafés y otros opacos.	1
Colorido alto: Contraste fuerte con el entorno, además posee colores llamativos para el observador. Predominan el blanco o negro puros.	2
Colorido muy alto: el colorido exhibe gran contraste con el medio y además posee colores que le confieren una perceptibilidad muy alta. Con tonalidades brillantes y colores fuertes (rojos, amarillos y azules).	3

- Tamaño (T):** dimensión corporal de los ejemplares observados, que condiciona fuertemente su perceptibilidad. Se asume que mientras más grande sea la especie será más perceptible. El tamaño se documentó con base en Ridgely & Greenfield (2006) (Tabla 4).

Tabla 4. Criterios de valoración y puntajes para la variable Tamaño

Criterio de valoración	Puntaje
Pequeño: menores de 20 cm de longitud	0
Medio: longitud 20-35 cm	1
Grande: longitud 35-60 cm	2
Muy grande: mayores de 60 cm de longitud	3

- Perceptibilidad acústica (Pac):** posibilidad de registrar auditivamente la presencia de la especie, por sus llamados y/o cantos. Los llamados son emisiones cortas de voz, mientras que los cantos son series largas de notas armoniosas como una melodía (Tabla 5).

Tabla 5. Criterios de valoración y puntajes para la variable Perceptibilidad acústica.

Criterio de valoración	Puntajes
Sin perceptibilidad acústica: aves que no emiten sonidos perceptibles o con cantos de intensidad reducida.	0
Perceptibilidad acústica media: aves que eventualmente emiten cantos, vocalizaciones y éstos son medianamente percibidos.	1
Perceptibilidad acústica alta: con cantos o vocalizaciones claramente perceptibles, pero no fácilmente atribuibles a una especie en particular.	2
Perceptibilidad acústica muy alta: emiten sonidos de altas intensidades, peculiares y atribuibles claramente a una especie en particular.	3

- Conducta (C):** ciertos patrones comportamentales llamativos para el observador. Incluyen conductas tales como rituales de apareamiento, formas de vuelo, estilos de alimentación, etc., que pasan a conformar un componente importante en el grado de perceptibilidad de las especies (Tabla 6).

Tabla 6. Criterios de valoración y puntajes para la variable Conducta.

Criterio de valoración	Puntaje
Conducta no llamativa de baja percepción, carece de conductas peculiares.	0
Medianamente llamativa, despliegan conductas peculiares, pero temporalmente irregulares o en ciertas épocas del año (migraciones, apareamiento).	1
Conducta llamativa de alta perceptibilidad, pero no atribuible a una especie en particular.	2
Conducta muy llamativa, además de ser claramente percibida por el observador, conductas atribuibles a una especie en particular (estilos de vuelo, conductas agresivas)	3

- **Perceptibilidad de indicios (Pi):** son evidencias indirectas dejadas por las especies como rastros/ señales (plumas, huellas, nidos). Siendo unos más frecuentes y perceptibles que otras (Tabla 7).

Tabla 7. Criterios de valoración y puntajes para la variable Perceptibilidad de indicios

Criterio de valoración	Puntaje
Sin indicios: aves que no dejan indicios perceptibles o rastros de su presencia.	0
Perceptibilidad baja: los indicios de estas especies son escasamente perceptibles.	1
Perceptibilidad media: dejan indicios medianamente perceptibles de sus actividades.	2
Perceptibilidad alta: dejan indicios muy evidentes de sus actividades (fecas, plumas, huellas, comederos, nidos).	3

- **Grado de tolerancia (Gt):** entendida como la distancia (m) a la que puede acercarse un observador a un(os) ejemplar(es) de una especie determinada (Tabla 8).

Tabla 8. Criterios de valoración y puntajes para la variable Grado de tolerancia

Criterio de valoración	Puntaje
Bajo: especies conductualmente tímidas, cautelosas y huidizas del ser humano, muy poco tolerantes.	0
Medio: cierto nivel de tolerancia a humanos según la estacionalidad y las condiciones del medio.	1
Alto: especies que son capaces de tolerar la presencia de seres humanos y no se alejan ante posibles observadores, pudiendo estos incluso acercarse a unos cuantos metros de distancia.	2
Muy alto: especies que toleran un grado máximo de acercamiento con humanos, siendo posible incluso tocarlas.	3

- **Estado de Conservación (Ec):** estado definido de acuerdo con las categorías según IUCN (2018) (Tabla 9).

Tabla 9. Criterios de valoración y puntajes para la variable Estado de conservación.

Criterio de valoración	Puntaje
Datos insuficientes (DD) y preocupación menor (LC)	0
Casi amenazadas (NT)	1
Vulnerables (VU)	2
En peligro crítico (CR) y en peligro (EN)	3

- **Endemismo (End):** nivel de exclusividad de las especies respecto de las distintas unidades territoriales que habitan, desde especies distribuidas únicamente en el área de estudio hasta especies cosmopolitas. La condición de endemismo de las especies fue consultada a partir de Remsen *et al.* (2018) (Tabla 10).

Tabla 10. Criterios de valoración y puntajes para la variable Endemismo

Criterio de valoración	Puntaje
Especie no endémica del país	0
Especie endémica del país	1
Especie endémica de la región ecológica	2
Especie endémica del área de estudio y/o área de influencia	3

- **Valor de uso e importancia científica (Vu):** con los subparámetros y puntajes de la Tabla 11.

Tabla 11. Criterios de valoración y puntajes para la variable Valor de uso e importancia científica.

Criterio de valoración	Puntaje
Bajo: especies que no poseen importancia científica o económica documentada. O en su defecto, son especies muy generalistas.	0
Medio: especies que presentan importancia científica eventual y son capturadas ocasionalmente (caza deportiva).	1
Alto: Especies con beneficio para el ámbito rural (cinagético u otros) y/o que son de importancia relativa en la estructura de los ecosistemas. En general, su captura está prohibida o regulada.	2
Muy alto: especies con un alto beneficio en los agroecosistemas y/o de importancia en la estructura de los ecosistemas (controladores biológicos), cuya cacería además está prohibida. Específicas de bosque y especialistas.	3

- **Valor histórico-cultural (Vh):** con los subparámetros y puntajes de la Tabla 12.

Tabla 12. Criterios de valoración y puntajes para la variable Valor histórico-cultural

Criterio de valoración	Puntaje
Muy bajo: especies sin importancia cultural o histórica conocida para el país.	0
Bajo: especies con baja influencia en aspectos culturales, religiosos, simbólicos u otros de los pueblos originarios, pero que los han acompañado, y por lo mismo son reconocibles.	1
Medio: especies con un grado considerable de importancia para ciertos aspectos culturales propios de los habitantes locales del área de estudio o sus zonas de influencia.	2
Alto: Especies cuya importancia se extiende incluso a nivel nacional, principalmente por su valor simbólico y/o vinculadas a mitos o leyendas.	3

- **Singularidad taxonómica:** nivel de exclusividad o generalidad que presentan las especies en relación con sus niveles de clasificación taxonómica. Si una especie proviene de una línea genética única su valor de singularidad taxonómica será más alto. Esta característica refleja el valor del patrimonio genético de la biodiversidad. La singularidad taxonómica se determinó a partir de Data Zone de BirdLife International (2019) (Tabla 13).

Tabla 13. Criterios de valoración y puntajes para la variable Singularidad taxonómica

Criterio de valoración	Puntaje
Género con cinco o más especies	0
Género con 2-4 especies	1
Monotípica al género	2
Monotípica a la familia o nivel superior	3

3. Resultados

3.1. Riqueza de especies

Luego de efectuar 11 transectos, desde septiembre de 2017 hasta marzo de 2018, se registraron 58

especies de aves pertenecientes a 21 familias y 9 órdenes. La familia con mayor número de especies fue Trochilidae (colibríes), con 9. El orden más diverso fue el de los Passeriformes, con 38 especies (65,5%) (Tabla 14).

Tabla 14. Riqueza de aves registradas en el sendero a la cascada Cóndor Machay

Nº	Nombre común	Identidad taxonómica	Familia	Orden
1	Pava andina	<i>Penelope montagnii</i>	Cracidae	Galliformes
2	Pato torrentero	<i>Merganetta armata</i>	Anatidae	Anseriformes
3	Gaviota andina	<i>Chroicocephalus serranus</i>	Laridae	Charadriiformes
4	Gallinazo negro	<i>Coragyps atratus</i>	Cathartidae	Cathartiformes
5	Gavilán variable	<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Accipitridae	Accipitriformes
6	Caracara curiquingue	<i>Phalcoboenus carunculatus</i>	Falconidae	Accipitriformes
7	Cernícalo americano	<i>Falco sparverius</i>	Falconidae	Accipitriformes
8	Halcón peregrino	<i>Falco peregrinus</i>	Falconidae	Accipitriformes
9	Tórtola orejuda	<i>Zenaida auriculata</i>	Columbidae	Columbiformes
10	Paloma collaraja	<i>Patagioenas fasciata</i>	Columbidae	Columbiformes
11	Orejivioleta ventriazul	<i>Colibri coruscans</i>	Trochilidae	Apodiformes
12	Colacintillo coliverde	<i>Lesbia nuna</i>	Trochilidae	Apodiformes
13	Colacintillo colinegro	<i>Lesbia victoriae</i>	Trochilidae	Apodiformes
14	Metalura tiria	<i>Metallura tyrianthina</i>	Trochilidae	Apodiformes
15	Metalura verde	<i>Metallura williami primolinus</i>	Trochilidae	Apodiformes
16	Colibrí terciopelo	<i>Lafresnaya lafresnayi</i>	Trochilidae	Apodiformes
17	Zamarrillo colilargo	<i>Eriocnemis luciani</i>	Trochilidae	Apodiformes
18	Rayito brillante	<i>Aglaeactis cupripennis</i>	Trochilidae	Apodiformes
19	Colibrí pico de espada	<i>Ensifera ensifera</i>	Trochilidae	Apodiformes
20	Carpintero dorsicarmesí	<i>Colaptes rivolii</i>	Picidae	Piciformes

21	Trepatroncos pardo	<i>Dendrocincla fuliginosa</i>	Furnariidae	Passeriformes
22	Trepatroncos perlado	<i>Margarornis squamiger</i>	Furnariidae	Passeriformes
23	Barbablanca rayada	<i>Pseudocolaptes boissonneautii</i>	Furnariidae	Passeriformes
24	Colaespina de azara	<i>Synallaxis azarae</i>	Furnariidae	Passeriformes
25	Colaespina rufa	<i>Synallaxis unirufa</i>	Furnariidae	Passeriformes
26	Gralaria coronicastaña	<i>Grallaria ruficapilla</i>	Grallariidae	Passeriformes
27	Tapaculo negruzco	<i>Scytalopus latrans</i>	Rhynocriptidae	Passeriformes
28	Elenia crestiblanca	<i>Elaenia albiceps</i>	Tyrannidae	Passeriformes
29	Piojito alifranjeado	<i>Mecocerculus stictopterus</i>	Tyrannidae	Passeriformes
30	Atrapamoscas canelo	<i>Pyrrhomyias cinnamomeus</i>	Tyrannidae	Passeriformes
31	Febe guardarríos	<i>Sayornis nigricans</i>	Tyrannidae	Passeriformes
32	Alinaranja golilistada	<i>Myiotheretes striaticollis</i>	Tyrannidae	Passeriformes
33	Pitajo pechirufu	<i>Ochthoeca rufipectoralis</i>	Tyrannidae	Passeriformes
34	Pitajo dorsipardo	<i>Ochthoeca fumicolor</i>	Tyrannidae	Passeriformes
35	Cotinga crestirroja	<i>Ampelion rubrocristatus</i>	Cotingidae	Passeriformes
36	Golondrina azuliblanca	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Hirundinidae	Passeriformes
37	Golondrina ventricafé	<i>Orochelidon murina</i>	Hirundinidae	Passeriformes
38	Soterrey colillano	<i>Pheugopedius euophrys</i>	Troglodytidae	Passeriformes
39	Cinco gorriblanco	<i>Cinclus leucocephalus</i>	Cinclidae	Passeriformes
40	Zorzal de Swainson	<i>Catharus ustulatus</i>	Turdidae	Passeriformes
41	Mirlo grande	<i>Turdus fuscater</i>	Turdidae	Passeriformes
42	Mirlo negribriloso	<i>Turdus serranus</i>	Turdidae	Passeriformes
43	Candelita de anteojos	<i>Myoborus melanocephalus</i>	Parulidae	Passeriformes
44	Reinita crestinegra	<i>Myiothlypis nigrocristata</i>	Parulidae	Passeriformes
45	Reinita coronirrojiza	<i>Myiothlypis coronata</i>	Parulidae	Passeriformes
46	Reinita plañidera	<i>Geothlypis philadelphia</i>	Parulidae	Passeriformes
47	Hemisingo superciliado	<i>Hemispingus superciliaris</i>	Thraupidae	Passeriformes
48	Tangara montana encapuchada	<i>Butoraphis montana</i>	Thraupidae	Passeriformes
49	Tangara montana ventriescarlata	<i>Anisognathus igniventris</i>	Thraupidae	Passeriformes
50	Tangara montana pechianteada	<i>Dubusia teniata</i>	Thraupidae	Passeriformes
51	Tangara azulinegra	<i>Tangara vassorii</i>	Thraupidae	Passeriformes
52	Picocono cinereo	<i>Conirostrum cinereum</i>	Thraupidae	Passeriformes
53	Picocono dorsiazul	<i>Conirostrum sitticolor</i>	Thraupidae	Passeriformes
54	Pinchaflores negro	<i>Diglossa humeralis</i>	Thraupidae	Passeriformes
55	Pinchaflores enmascarado	<i>Diglossa cyanea</i>	Thraupidae	Passeriformes
56	Chingolo	<i>Zonotrichia capensis</i>	Passerellidae	Passeriformes
57	Matorralero cejigris	<i>Arremon assimilis</i>	Passerellidae	Passeriformes
58	Matorralero nuquirrufo	<i>Atlapetes latinuchus</i>	Passerellidae	Passeriformes

Chao 1 estima una cifra de 60,1 especies esperadas, por lo que la curva de acumulación de especies no alcanzó completamente la asíntota. El por-

centaje de completitud alcanzado en el muestreo fue de un 96,50 %, por lo que es posible afirmar que el muestreo fue representativo (Figura 2).

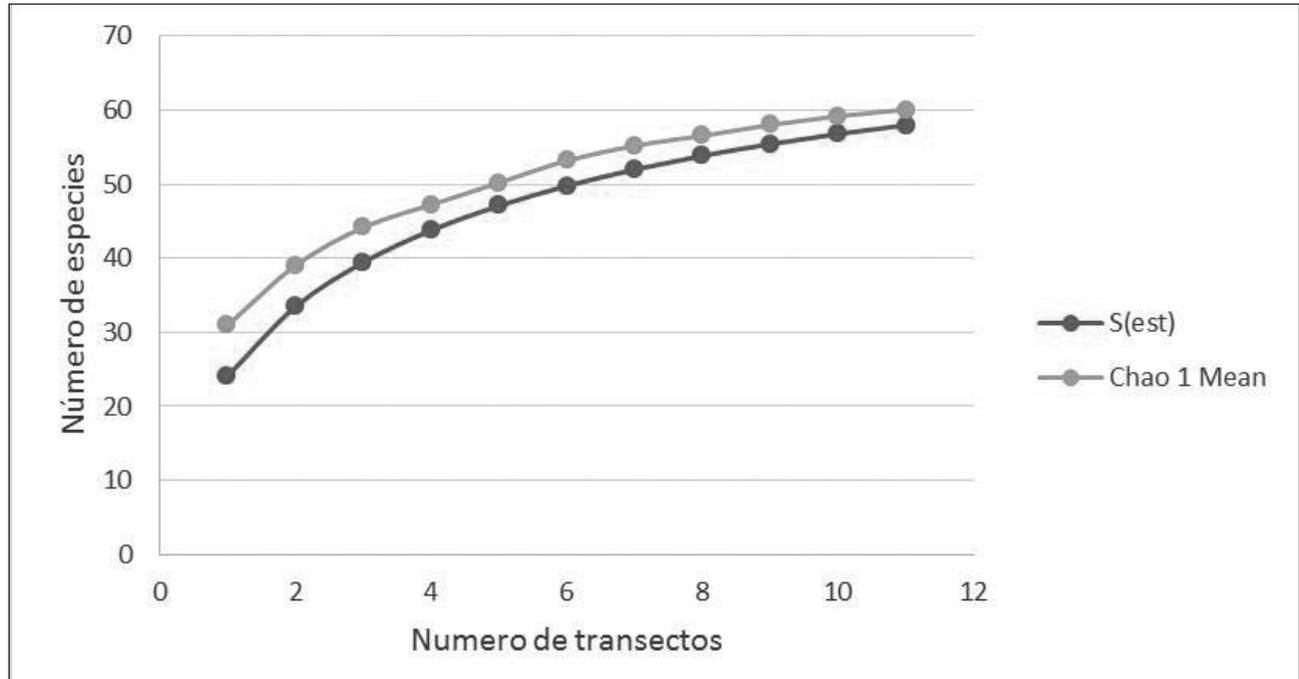


Figura 2. Curva de acumulación y curva de riqueza potencial existente en el área de estudio.

3.2. Abundancia de especies

Se registró un total de 1.234 aves. En la Tabla 15 se presentan las cifras de abundancia absoluta de las especies registradas, de mayor a menor. Las cinco especies más abundantes fueron: mirlo grande, tangara montana ventriescarlata, gallinazo

negro, piojito alifranjeado y candelita de anteojos. Así mismo, se registraron siete especies que podrían catalogarse como raras para la zona al registrar un único individuo durante todo el muestreo: gavilán variable, colibrí metalura verde, trepatroncos pardo, barbablanca rayada, febe guardarríos, atrapamoscas canelo y el zorzal de Swainson.

Tabla 15. Abundancia absoluta de las aves registradas en el área de estudio

Nombre común	Total	Nombre común	Total
Mirlo grande	189	Zamarrito colilargo	5
Tangara montana ventriescarlata	116	Chingolo	5
Gallinazo negro	79	Matorralero cejigris	5
Piojito alifranjeado	71	Cernícalo americano	4
Candelita de anteojos	68	Tórtola orejuda	4
Caracara curiquire	66	Metalura tiria	4

Matorralero nuquirrufo	64	Carpintero dorsicarmesí	4
Golondrina ventricafé	59	Elenia crestiblanca	4
Orejivioleta ventriazul	46	Pitajo pechirufu	4
Tangara azulinegra	45	Reinita coronirrojiza	4
Cinco gorriblanco	43	Halcón peregrino	3
Trepatroncos perlado	40	Tapaculo negruzco	3
Pava andina	33	Tangara montana pechianteadada	3
Paloma collaraja	31	Rayito brillante	2
Gralaria coronicastaña	26	Colaespina de azara	2
Pinchaflores enmascarado	26	Colaespina rufa	2
Soterrey colillano	24	Pitajo dorsipardo	2
Mirlo negribriloso	23	Cotinga crestirroja	2
Picocono cinereo	19	Tangara montana encapuchada	2
Golondrina azuliblanca	14	Picocono dorsiazul	2
Reinita crestinegra	14	Pinchaflores negro	2
Hemíspingo superciliado	11	Reinita plañidera	2
Colacintillo colinegro	10	Gavilán variable	1
Alinaranja golilistada	10	Metalura verde	1
Colibrí pico de espada	8	Trepatroncos pardo	1
Gaviota andina	7	Barbablanca rayada	1
Pato torrentero	5	Febe guardarríos	1
Colibrí terciopelo	5	Atrapamoscas canelo	1
Colacintillo coliverde	5	Zorzal de Swainson	1

3.3. Estructura de la comunidad

En la Figura 3 se presenta la estructura de la comunidad de las aves del sendero organizadas de mayor a menor - abundancia relativa. Las cinco especies más dominantes fueron: mirlo grande, gallinazo negro, tangara montana ventriescarlata, piojito alifranjeado y candelita de anteojos. El pato torrentero, colibrí

terciopelo, colacintillo coliverde, zamarrito colilar-go, chingolo, tórtola orejuda aparecen como especies frecuentes, mientras que especies que pueden considerarse como raras fueron el gavilán variable, colibrí metalura verde, trepatroncos pardo, barbablanca rayada, febe guardarríos, atrapamoscas canelo y zorzal de Swainson. Por la forma de la curva se aprecia que la comunidad encontrada es bastante equitativa.

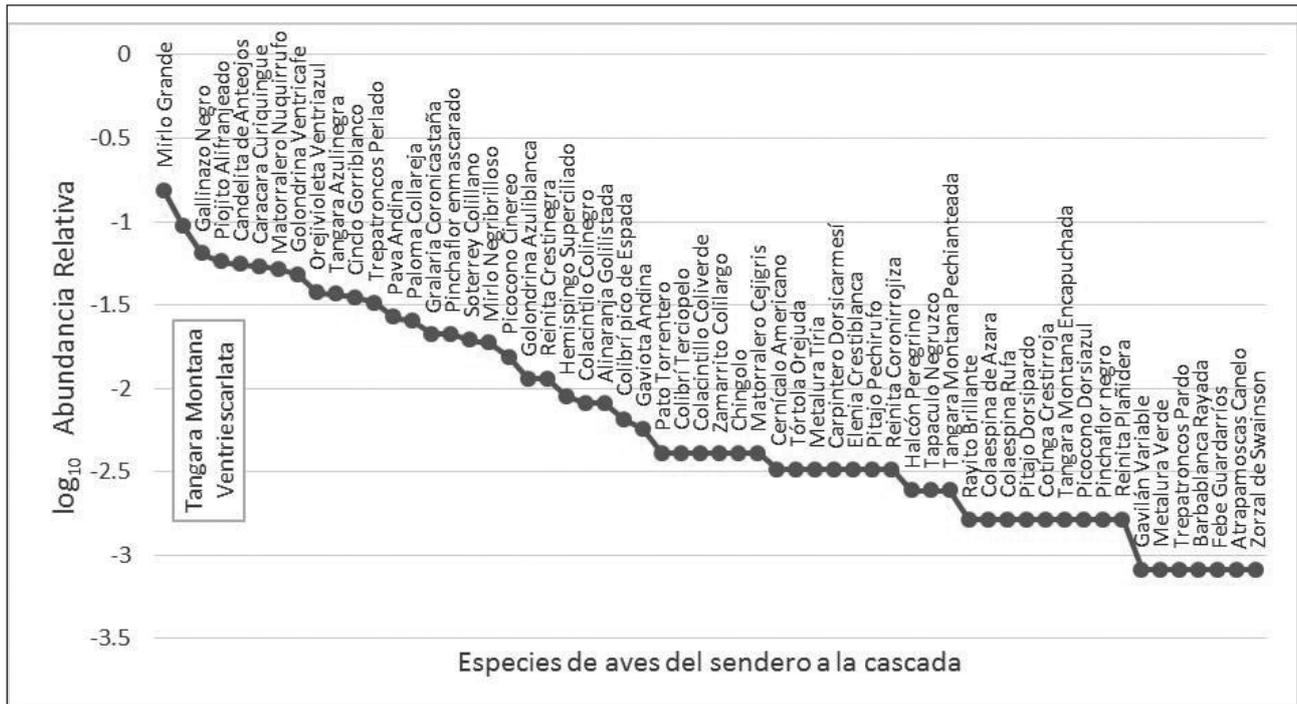


Figura 3. Curva de rango abundancia de la comunidad de aves.

3.4. Valor estético

La percepción estética de los 25 entrevistados se incluye en la Figura 4. Se observa que las especies con puntajes superiores a 2,5 son aquellas que presentan plumajes que combinan colores intensos. Dentro de este grupo destacan la familia

de las tangaras (Thraupidae) además de algunos colibríes (Trochilidae), un tiránido, el cernicalo americano y la reinita crestinegra. A su vez, especies con los valores más bajos fueron principalmente aquellas con un predominio de colores oscuros en el plumaje, independientemente de su tamaño relativo.

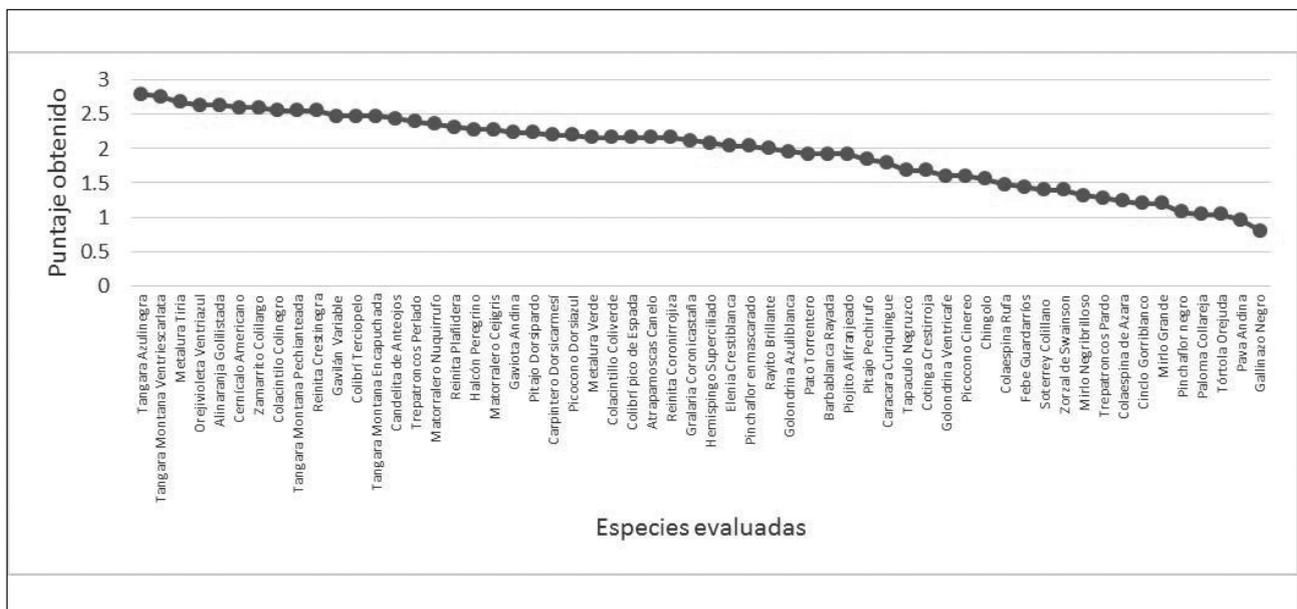


Figura 4. Valor estético de las aves del sendero Cóndor Machay.

3.5. *Perceptibilidad*

De acuerdo con los datos obtenidos, las especies con mayor valor de perceptibilidad incluyen especies grandes y medianas con plumajes coloridos

o especies grandes con plumajes oscuros. En tanto que las especies menos perceptibles son aquellas que tienen tamaño pequeño, que no dejan indicios de su presencia y que usualmente son poco tolerantes ante la presencia humana (Tabla 16).

Tabla 16. Evaluación de la perceptibilidad de las aves del sendero Cóndor Machay

Nombre común	Pa*	Cm	T	Pac	C	Pi	Gt	Perceptibilidad
Caracara curiquingue	3	3	4,5	3	3	1,5	0,5	27,75
Gaviota andina	3	3	3	3	3	0,5	1	24,75
Carpintero dorsicarmesí	4,5	4,5	1,5	2	3	0,5	0	24
Tangara Montana ventriescarlata	4,5	4,5	1,5	3	2	0	0,5	24
Mirlo grande	4,5	3	1,5	2	2	1	1	22,5
Pava andina	3	1,5	3	2	3	1,5	0,5	21,75
Cinco gorriblanco	3	3	1,5	2	3	1	1	21,75
Tangara montana pechianteadada	4,5	4,5	1,5	2	2	0	0	21,75
Gallinazo negro	3	3	4,5	0	3	0,5	0	21
Mirlo negribriloso	4,5	3	1,5	2	2	0	1	21
Matorralero nuquirrufo	4,5	4,5	0	2	2	0	1	21
Candelita de anteojos	4,5	4,5	0	2	2	0	0,5	20,25
Pato torrentero	3	3	3	1	2	0,5	0,5	19,5
Orejivioleta ventriazul	3	4,5	0	3	2	0	0,5	19,5
Colacintillo colinegro	3	4,5	1,5	1	3	0	0	19,5
Colacintillo coliverde	3	4,5	1,5	1	3	0	0	19,5
Colibrí pico de espada	3	4,5	1,5	1	3	0	0	19,5
Tangara montana encapuchada	4,5	4,5	0	2	2	0	0	19,5
Tangara azulinegra	4,5	4,5	0	2	2	0	0	19,5
Alinaranja golilistada	3	4,5	1,5	2	1	0	0,5	18,75
Halcón peregrino	3	3	3	1	2	0	0	18
Hemispingo superciliado	4,5	4,5	0	2	1	0	0	18
Matorralero cejigris	4,5	1,5	0	2	2	0	1	16,5
Reinita crestinegra	3	4,5	0	1	2	0	0,5	16,5
Gavilán variable	3	1,5	3	1	2	0	0	15,75

Rayito brillante	3	4,5	0	1	2	0	0	15,75
Barbablanca rayada	3	3	1,5	1	2	0	0	15,75
Febe guardarríos	3	3	0	1	3	0	0,5	15,75
Pinchaflor enmascarado	3	4,5	0	1	2	0	0	15,75
Reinita coronirrojiza	3	4,5	0	1	2	0	0	15,75
Reinita plañidera	3	4,5	0	1	2	0	0	15,75
Cernícalo americano	3	1,5	1,5	2	2	0	0	15
Tórtola orejuda	3	1,5	1,5	2	2	0	0	15
Gralaria coronicastaña	3	1,5	1,5	2	2	0	0	15
Golondrina azuliblanca	3	3	0	1	2	0,5	0,5	15
Golondrina ventricafé	3	3	0	1	2	0,5	0,5	15
Trepatroncos perlado	3	3	0	1	2	0	0,5	14,25
Pinchaflor negro	3	3	0	1	2	0	0,5	14,25
Paloma collareja	3	1,5	1,5	1	2	0	0	13,5
Piojito alifranjeado	3	1,5	0	2	2	0	0,5	13,5
Cotinga crestirroja	3	1,5	1,5	2	1	0	0	13,5
Soterrey colillano - cucarachero coliliso	3	1,5	1,5	2	0	0	0	12
Picocono cinereo	4,5	1,5	0	1	1	0	0	12
Picocono dorsiazul	4,5	1,5	0	1	1	0	0	12
Metalura tiria	3	1,5	0	1	2	0	0	11,25
Metalura verde	3	1,5	0	1	2	0	0	11,25
Colibrí terciopelo	3	1,5	0	1	2	0	0	11,25
Zamarrito colilargo	3	1,5	0	1	2	0	0	11,25
Elenia crestiblanca	3	1,5	0	1	2	0	0	11,25
Chingolo	3	1,5	0	1	1	0	1	11,25
Colaespina de azara	3	1,5	0	2	0	0	0	9,75
Pitajo dorsipardo	3	1,5	0	1	1	0	0	9,75
Pitajo pechirufu	3	1,5	0	1	1	0	0	9,75
Atrapamoscas canelo	3	1,5	0	1	1	0	0	9,75
Zorzal de Swainson	3	1,5	0	1	1	0	0	9,75

Colaespina rufa	3	1,5	0	1	0	0	0	8,25
Trepatroncos pardo	3	1,5	0	1	0	0	0	8,25
Tapaculo negruzco	3	0	0	2	0	0	0	7,5

*Periodo de actividad (Pa), Colorido y mimetismo (Cm), Tamaño (T), Perceptibilidad acústica (Pac), Conducta (C), Perceptibilidad de indicios (Pi), Grado de tolerancia (Gt).

3.6. Valor aviturismo potencial (PAV) de las especies evaluadas

A continuación, se presentan las cifras finales del valor potencial aviturismo de las aves registradas en el área de estudio (Tabla 17).

Tabla 17. Valor aviturismo potencial de las aves del sendero Cóndor Machay

Nombre común*	Ve	Ab	Pe	Ec	End	Vu	Vh	St	PAV
Caracara curiangué	2,7	3	27,8	0	0	1	1,5	0	35,9
Tangara montana ventriscarlata	4,14	4,5	24	0	0	1,5	0,5	0	34,6
Gaviota andina	3,36	1,5	24,8	0	0	1,5	1	0	32,1
Mirlo grande	1,8	4,5	22,5	0	0	1	1	0	30,8
Carpintero dorsicarmesí	3,3	0	24	0	0	1,5	1	0	29,8
Matorralero nuquirrufo	3,54	3	21	0	0	1,5	0	0	29,0
Orejivioleta ventriazul	3,96	3	19,5	0	0	1,5	1	0	29,0
Candelita de anteojos	3,66	3	20,3	0	0	1,5	0,5	0	28,9
Gallinazo negro	1,2	3	21	0	0	1,5	1	1	28,7
Pava andina	1,44	3	21,8	0	0	1,5	1	0	28,7
Cinco gorri blanco	1,8	3	21,8	0	0	1,5	0,5	0	28,6
Colibrí pico de espada	3,24	1,5	19,5	0	0	1,5	1	1,5	28,2
Tangara azulinegra	4,2	3	19,5	0	0	1,5	0	0	28,2
Mirlo negribriloso	1,98	3	21	0	0	1	1	0	28,0
Colacintillo colinegro	3,84	1,5	19,5	0	0	1,5	1	0,5	27,8
Pato torrentero	2,88	1,5	19,5	0	0	1,5	1	1	27,4
Colacintillo coliverde	3,24	1,5	19,5	0	0	1,5	1	0,5	27,2
Alinaranja golilistada	3,96	1,5	18,8	0	0	1,5	1	0,5	27,2
Tangara Montana pechianteadada	3,84	0	21,8	0	0	1,5	0	0	27,1

Hemispingo superciliado	3,12	3	18	0	0	1,5	0	0	25,6
Reinita crestinegra	3,84	3	16,5	0	0	1,5	0	0	24,8
Tangara montana encapuchada	3,72	0	19,5	0	0	1,5	0	0	24,7
Pinchaflor enmascarado	3,06	3	15,8	0	0	1,5	0,5	0	23,8
Halcón peregrino	3,42	0	18	0	0	1,5	0,5	0	23,4
Matorralero cejigris	3,42	1,5	16,5	0	0	1,5	0	0	22,9
Gralaria coronicastaña	3,18	3	15	0	0	1	0,5	0	22,7
Gavilán variable	3,72	0	15,8	0	0	1,5	1	0,5	22,5
Golondrina azuliblanca	2,94	3	15	0	0	1	0	0,5	22,4
Trepatroncos perlado	3,6	3	14,3	0	0	1,5	0	0	22,4
Golondrina ventricafé	2,4	3	15	0	0	1	0	0,5	21,9
Rayito brillante	3	0	15,8	0	0	1,5	1	0	21,3
Cernícalo americano	3,9	0	15	0	0	1	1	0	20,9
Piojito alifranjeado	2,88	3	13,5	0	0	1,5	0	0	20,9
Reinita plañidera	3,48	0	15,8	0	0	1,5	0	0	20,7
Barbablanca rayada	2,88	0	15,8	0	0	1,5	0	0,5	20,6
Paloma collaraja	1,56	3	13,5	0	0	1,5	1	0	20,6
Reinita coronirrojoza	3,24	0	15,8	0	0	1,5	0	0	20,5
Colibrí terciopelo	3,72	1,5	11,3	0	0	1,5	1	1,5	20,5
Tórtola orejuda	1,56	1,5	15	0	0	1	1	0	20,1
Febe guardarríos	2,16	0	15,8	0	0	1	0	0,5	19,4
Zamarrito colilargo	3,9	1,5	11,3	0	0	1,5	1	0	19,2
Picocono cinereo	2,4	3	12	0	0	1,5	0	0	18,9
Cotinga crestirroja	2,52	0	13,5	0	0	1,5	0,5	0,5	18,5
Soterrey colillano	2,1	3	12	0	0	1	0	0	18,1
Pinchaflor negro	1,62	0	14,3	0	0	1,5	0,5	0	17,9
Metalura tiria	4,02	0	11,3	0	0	1,5	1	0	17,8
Metalura verde	3,24	0	11,3	0	0	1,5	1	0	17,0
Picocono dorsiazul	3,3	0	12	0	0	1,5	0	0	16,8
Chingolo	2,34	1,5	11,3	0	0	1	0,5	0	16,6

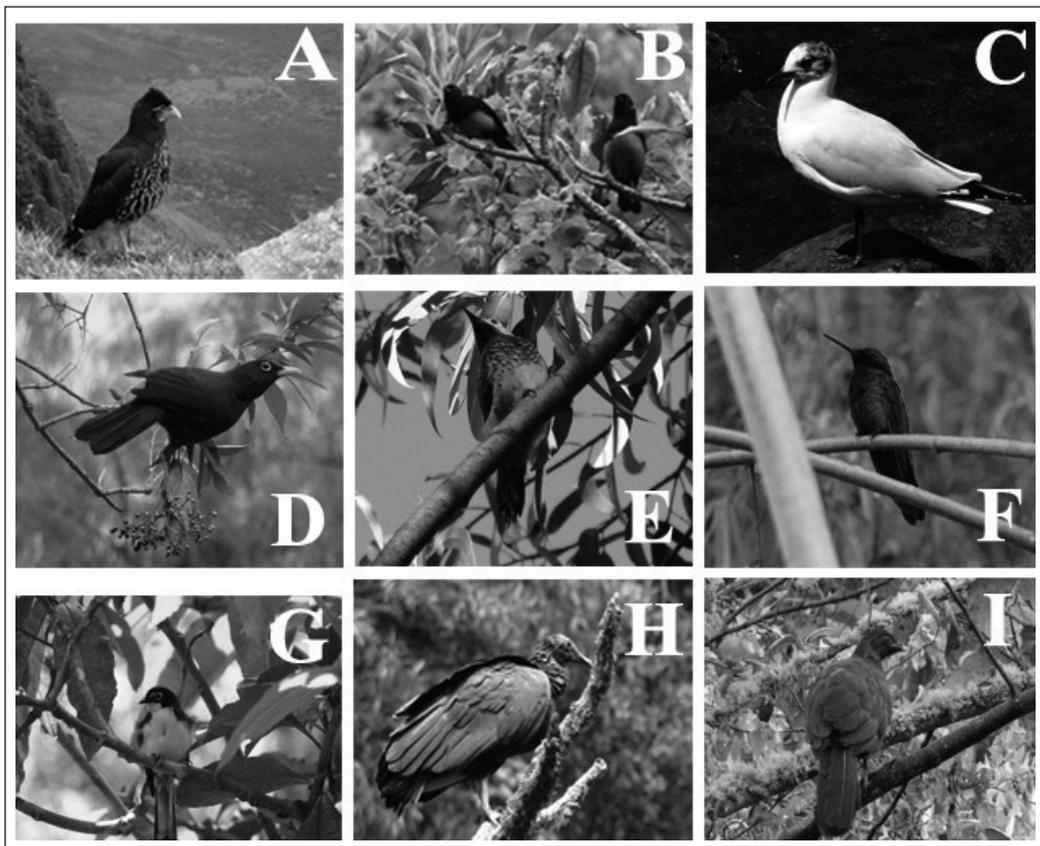
Elenia crestiblanca	3,06	0	11,3	0	0	1,5	0	0	15,8
Atrapamoscas canelo	3,24	0	9,75	0	0	1,5	0	1	15,5
Pitajo dorsipardo	3,36	0	9,75	0	0	1,5	0	0	14,6
Pitajo pechirufo	2,76	0	9,75	0	0	1,5	0	0	14,0
Zorzal de Swainson	2,1	0	9,75	0	0	1,5	0	0	13,4
Colaespina de azara	1,86	0	9,75	0	0	1	0,5	0	13,1
Trepatroncos pardo	1,92	0	8,25	0	0	1,5	0	0	11,7
Colaespina rufa	2,22	0	8,25	0	0	1	0	0	11,5
Tapaculo negruzco	2,52	0	7,5	0	0	1	0	0	11,0

* Valor estético (Ve), Abundancia relativa (Ab), Perceptibilidad del ave (Pe), Estado de conservación (Ec), Endemismo (End), Valor de uso e importancia científica (Vu), Valor histórico cultural (Vh) y Singularidad taxonómica (St).

Las diez especies con mayor puntaje de valor aviturístico fueron: caracara curiquire, tangara montana ventriescarlata, gaviota andina, mirlo grande,

de, carpintero dorsicarmesí, matorralero nuquirufo, colibrí orejivioleta ventriazul, candelita de anteojos, gallinazo negro y la pava andina (Figura 5).

Figura 5. A) Caracara curiquire (foto: Javier Torres). B) Tangara montana ventriescarlata. C) Gaviota andina. D) Mirlo grande. E) Carpintero dorsicarmesí. F) Orejivioleta ventriazul. G) Candelita de anteojos (foto: Fernanda Salazar-Vaca). H) Gallinazo negro. I) Pava andina.



4. Discusión

4.1. Riqueza de especies de aves del sendero

De acuerdo con Palminteri & Powell (2001) la riqueza de aves de los bosques montanos de los Andes norte con más de 1.450 especies supera inclusive a la existente en la Amazonía. Su alta diversidad y endemismo se constituyen en características intrínsecas de estas formaciones vegetales. A pesar de ello, el conocimiento acerca de las aves andinas aún es fragmentado, por lo que es importante investigar la diversidad en los remanentes existentes.

Estudios realizados desde un enfoque turístico, reportan cifras comprendidas entre 10 especies (Carmona, 2015) y 41 especies (Herrera, 2016). Herrera (2016) reporta dentro de las 41 especies a la paloma doméstica (*Columba livia*), colibrí gigante (*Patagona gigas*) y tiránido (*Fluvicola pica*). Estas especies, no se han registrado en el presente estudio a pesar del esfuerzo de muestreo. *C. livia* prefiere hábitats abiertos, cercanos a zonas urbanas, por lo que su mención para el sendero posiblemente sea un error de identificación. El registro de *F. pica* puede deberse a un error de identificación, considerando que esta especie únicamente presenta registros para la Amazonía ecuatoriana, a alturas entre 350 y 1.900 m s.n.m. (Freile & Restall, 2018). Probablemente fue confundido con cinco gorriblanco, especie de plumaje similar, que está presente en el área de estudio. *P. gigas* no fue registrado, seguramente debido a la pérdida de parches con floripondio *Brugmansia* sp. que hace algunos años eran más abundantes en la mitad del sendero y que hoy están cubiertas por *Chusquea scandens*.

Suárez (2013) reporta 24 especies documentadas a partir de revisión bibliográfica y registros de campo. Las especies que difieren a las registradas en este estudio son: chotacabras alifajeado (*Caprimulgus longirostris*), lechuza blanca (*Tyto alba*), mochuelo andino (*Glaucidium jardiinii*), mosquero bermellón (*Pyrocephalus rubinus*), pato de torrente (*Anas andium*), semillerito coliflajado (*Catamenia analis*), cóndor andino (*Vultur gryphus*), colibrí alizafiro grande (*Pterophanes cyanopterus*) y al colibrí gigante (*P. gigas*). En el presente estudio no se logró el registro de aves nocturnas como *C. longirostris*, *T. alba* y *G. jardiinii* debido al horario diurno de registro aplicado. La mención de la presencia del mosquero bermellón (*P. rubinus*) debe ser confirmada, esta especie de tiránido prefiere hábitats más secos, localizados a menor altura en la zona andina (Freile & Restall, 2018). La referen-

cia de *A. andium* como pato de torrente es incorrecta. La cerceta andina (*A. andium*) prefiere ambientes lacustres, de corriente lenta, que no concuerdan con las características hidrológicas del río Pita. En este estudio, el pato torrentero (*M. armata*), fue registrado en varias ocasiones dentro del sendero. Finalmente, la cita referida al cóndor andino (*Vulthur gryphus*) específicamente dentro del sendero debe considerarse únicamente como un registro histórico, considerando que, de acuerdo a los pobladores locales, no se han encontrado cóndores en la zona desde hace 20 años. El único Cathartiforme encontrado actualmente en el sendero fue el gallinazo negro (*Coragys atratus*).

El sendero en los últimos años también ha sido objeto de estudio como parte de una de las rutas del conteo navideño de aves organizado por el colectivo Aves Quito. En el blog de Aves Quito (2018) se estima la existencia de 60 especies de aves, sin especificar nombres concretos. De esta cifra de riqueza potencial, 58 especies han sido registradas, lo cual es un indicador de una alta variedad para un relicto de bosque montano, cuya superficie es menor a 80 hectáreas. En un recorrido típico realizado desde la siete de la mañana, con un esfuerzo de muestreo de 5 horas, entre 4 personas, se logró el registro de 26 especies de aves cuyas identificaciones están compiladas en la lista S45328595 (eBird, 2018) y no difieren de las especies registradas en este estudio.

Las cifras de riqueza para todo el cantón Rumiñahui varían de 48 (Almeida, 2013) hasta 61 (Lara, 2016). En contraste con la cifra de Lara (2016), el 95 % de las especies de todo el cantón están presentes en el sendero Cóndor Machay, lo cual amerita promover su conservación a largo plazo. En un estudio de Martínez & Rochberger (2007) realizado en un bosque andino boliviano de características similares, se logró el registro de 69 especies mediante censos y caminatas, con un esfuerzo de muestreo similar al realizado, pero cubriendo un área de mayor superficie, sin alcanzar la asintonía en la curva de acumulación de especies.

Posiblemente la presencia del río Pita sea un factor que favorece a la riqueza de aves, como sitio de refugio, anidación y alimentación de especies acuáticas, tales como el pato torrentero, gaviota andina y cinco gorriblanco. Así mismo, la presencia de paredes de roca a ambos lados del río proporciona condiciones favorables para el refugio y la nidificación de las aves rapaces. Finalmente, la composición del relicto de bosque con predominio de especies forestales de la familia Melastomataceae oferta ali-

mentos para aves frugívoras como la pava andina y las distintas especies de tangaras encontradas.

4.2. *Perspectivas para el aviturismo en el sendero Cóndor Machay*

El aviturismo ha sido notablemente promovido por el Ecuador, gracias al desarrollo de productos turísticos relacionados a la observación de aves altamente cotizados en el mercado internacional (Espinoza, 2014). Documentos como *Actualización de la estrategia nacional de aviturismo* (Mindo Cloudforest Foundation, 2010) proporcionan una perspectiva bastante amplia de esta actividad, incluyendo una propuesta de posibles rutas en las cuatro regiones del país, para el conocimiento y uso de posibles aviaficionados y turistas especializados en esta actividad. Sin embargo, se percibe la necesidad de fortalecer la inclusión del turista nacional, tomando en cuenta que muchos de ellos no están especializados para la detección visual de aves pequeñas, poco conspicuas, y tampoco tienen desarrollado un entrenamiento auditivo para reconocimiento de las especies. En este contexto, la promoción del aviturismo a escala nacional debería considerar también estos factores para identificar especies que resulten atractivas para el perfil específico del turista. La inclusión de turistas nacionales en las rutas de aviturismo puede también contribuir a la conservación biológica desde un ámbito local.

Un factor importante para la promoción del aviturismo local es la perceptibilidad de las aves. En estudios realizados en humedales de Argentina y Chile, las aves de mayor tamaño como cisnes, patos y ostros alcanzaron puntajes más altos (Muñoz-Pederos & Quintana, 2010; Almendras *et al.*, 2017); debido a sus períodos diurnos de actividad, plumajes conspicuos, mayores vocalizaciones, conducta llamativa y mayor tolerancia a la presencia humana. En este estudio cuyo enfoque se orientó a las aves del bosque montano, los puntajes más altos fueron para el caracara curiangué, la gaviota andina y la pava andina como las especies de mayor tamaño corporal registradas, y para otras especies de menor tamaño, pero con plumaje conspicuo, comportamiento distintivo y más vocingleras como el pájaro carpintero dorsicarmesí, tangara montana ventriescarlata, tangara montana pechianteadada, cinco gorriblanco e inclusive el mirlo grande. Para el caso específico de los colibríes, como aves tradicionalmente representativas de los Andes, el colibrí pico de espada (*E. ensifera*) muy conspicuo por el notable tamaño del pico y los colacintillos (*Lesbia* sp.) por sus largas colas, fueron las especies con mayores puntajes de perceptibilidad.

En este estudio, los puntajes relacionados con el Estado de conservación (Ec) y Endemismo (End) fueron los más bajos de todas las otras variables que se usan en el cálculo del valor aviturístico potencial (PAV), tomando en cuenta que la estructura de la comunidad de aves estudiada incluyó especies que al momento no están catalogadas bajo categorías de alta amenaza y tampoco son endémicas para el área de estudio. Los valores relativos a Singularidad taxonómica para las aves registradas también fueron bajos para la mayoría de las especies porque se trata de especies que no son monotípicas.

Se recomienda considerar prioritariamente a estas especies para la promoción del aviturismo en el sendero Cóndor Machay. Tomando en cuenta los hallazgos de este estudio, se propone la promoción del sendero de acceso a la cascada Cóndor Machay como un sendero de observación de aves que contribuya al fomento del desarrollo turístico viable y sostenible. Sin embargo, se sugiere considerar las recomendaciones de Vás (2013) para asegurar la sustentabilidad ambiental, socio-cultural y económica del sendero aviturístico con mirada hacia el futuro. En la actualidad se percibe como principal amenaza a la conservación del área y su biodiversidad, la presencia masiva de turistas, especialmente durante los días feriados, que excede notablemente la capacidad de carga efectiva estimada en 268 visitantes por día, conforme recomienda Herrera (2016). Además, los visitantes no cumplen adecuadamente con las normas establecidas acerca del manejo de la basura y la introducción de mascotas dentro del sendero. Otro factor de amenaza para las aves acuáticas es el flujo continuo de excrementos de ganado vacuno que fluyen desde la acequia al canal del río Pita, a mitad del recorrido.

5. Conclusiones

Durante la investigación se registró un total de 58 especies de aves, 21 familias y 9 órdenes, siendo un valor elevado en relación con la extensión del área de estudio. Los grupos más diversos fueron colibríes (Trochilidae) y Passeriformes. Las aves con un puntaje más alto del valor aviturístico potencial presentaron un mayor tamaño corporal; además, se incluyen especies de tamaño pequeño, pero con plumaje conspicuo, comportamiento distintivo y cantos fácilmente identificables. Dentro del cálculo, los puntajes relacionados con el Estado de conservación y Endemismo fueron los más bajos de todas las variables usadas. Las especies no están catalogadas bajo categorías graves de amenaza y tampoco son endémicas para el área de estudio. Al concentrar cerca del 95 % de la totalidad de especies

del cantón Rumiñahui, la actividad aviturística tiene un alto potencial dentro del sendero Cóndor Machay. En la actualidad la principal amenaza para la conservación del área y su biodiversidad es la presencia masiva y poco regulada de turistas, especialmente durante los días feriados. Sin embargo, el desarrollo de proyectos relacionados al aviturismo puede presentarse como alternativas de desarrollo sostenible, si existe un control adecuado de las amenazas identificadas.

Agradecimientos

El proyecto 6E-2018 Aves del Sendero Cóndor Machay (cantón Rumiñahui, Pichincha, Ecu-

ador): Evaluación de especies con valor para el aviturismo local, fue financiado mediante el respaldo institucional y la aprobación del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Central del Ecuador, mediante resolución N.º 0106-CD-FCB-2017.

A Lida Guarderas-Flores e Iván Jácome-Guarderas por su contribución durante toda la fase de campo. A Santiago Buitrón y Wladimir Banda por la revisión del *Abstract*. Muchas gracias también a Javier Torres y Fernanda Salazar-Vaca por su contribución con las fotografías respectivas, y a Paulina Guarderas por la elaboración del mapa del área de estudio.

Referencias

- Albuja, L., Almendáriz, A., Barriga, R., Montalvo, D., Cáceres, F., & Román, J. (2012). *Fauna de vertebrados del Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Instituto de Ciencias Biológicas.
- Almeida, P. (2013). *Diagnóstico para el diseño de una ruta de turismo de aventura en el cantón Rumiñahui*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Almendras, A., Ferrari, S., & Diez, P. (2017). Evaluación de la Avifauna Para Uso Ecoturístico en Humedales del Sur de Santa Cruz. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 9(2), 78-95. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v9i2.247>
- Amparán, R., & Téllez, J. (2005). El aviturismo en la zona rural. En *Desarrollo rural y turismo* (pp. 59-66). Jalisco: Universidad de Guadalajara & Universidad de Buenos Aires.
- Aves Quito. (2019). 10 mejores sitios para observar aves alrededor de Quito. Obtenido de: <http://avesquito.blogspot.com/2018/02/10-mejores-sitios-para-observar-aves.html>
- BirdLife International. (2019). Data Zone. Obtenido de: <http://datazone.birdlife.org/species/results?thrlev1=&thrlev2=&kw=&fam=0&gen=0&spc=&cmn=®=0&cty=0>
- CAF-Banco de Desarrollo de América Latina. (2014). *Biocomercio andino: quince historias de éxito en Colombia, Ecuador y Perú*. Lima: CAF. <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/518>
- Cadena-Ortiz, H., Varela, S., Bahamonde-Vinueza, D., Freile, J., & Bonaccorso, E. 2015. Birds of the Bosque Protector Jerusalem, Guayllabamba Valley, Ecuador. *Check List*, 11(5), 1-8. <http://dx.doi.org/10.15560/11.5.1770>
- Carmona, E. (2015). *Plan de mejoramiento turístico del sendero Cascada del Pita, en la parroquia de Rumipamba, cantón Rumiñahui*. Universidad Tecnológica Israel.
- Chandi, A., & Muñoz, Y. (2018). Aviturismo, alternativa de conservación de la avifauna de la comunidad Gualchán, provincia del Carchi. *Tierra Infinita*, 4(1), 49-68. <https://doi.org/10.32645/26028131.745>
- Colwell, R. K. (2013). *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 9. User's Guide and application.
- Cuesta, F., Peralvo, M., & Valarezo, N. (2009). *Los bosques montanos de los Andes tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático*. Quito: Iniciativa Regional de Estudios Ambientales Andinos, CONDESAN.
- eBird. (2018). Lista de aves S45328595. Cascada Cóndor Machay, Pichincha EC., Ob-

- tenido de: <https://ebird.org/view/checklist/S45328595>
- El-Mahdy, A., & Abdel-Motaal, D. (2018). Avitourism: Non-Traditional Type of Tour-Guiding: in Egypt. *Minia Journal of Tourism and Hospitality Research*, 2, 92-104.
- Espinoza, F. (2014). *Estudio de mercado para el aviturismo en la provincia del Guayas*. Guayaquil: Prefectura del Guayas – Guayas Turístico – Biocomercio Andino.
- Feinsinger, P. (2003). *El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad*. Santa Cruz de la Sierra: Editorial FAN.
- Fjeldså, J. (2007). The relationship between biodiversity and population centres: the high Andes as an example. *Biodiversity and Conservation*, 16(10), 2739-2751. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9204-4>
- Freile, J., & Rodas, F. (2008). Conservación de aves en Ecuador: ¿cómo estamos y qué necesitamos hacer? *Revista Cotinga*, 29, 48-55.
- Freile, J., & Restall, R. (2018). *Birds of Ecuador*. London: Helm Field Guides.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui. (2011). *Atlas de biodiversidad del cantón Rumiñahui*. Sangolquí: GAD Rumiñahui.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Rumipamba. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rumipamba 2012-2025*. Quito: GADP de Rumipamba.
- Guarderas, L., & Jácome, I. (2010). *Aves del cantón Rumiñahui. Tomo I*. Primera edición. Quito: Gráficas Iberia.
- Herrera, Y. (2016). *Modelo de gestión turística para la cascada Cóndor Machay, ubicada en la parroquia Rumipamba, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Herrera, S., & Lasso, S. (2014). Belleza y colorido de las aves, una experiencia incomparable en Mindo. *Revista Kalpana*, 12, 6-21.
- Hostettler, S. (2002). Tropical montane cloud forest: a challenge for conservation. *Bois et forets des Tropiques*, 274(4), 19-31.
- IUCN - Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2018). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017.3. Obtenido de: <http://www.iucnredlist.org>
- Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Cabrera, E., Chacón-Moreno, E., Ferreira, W., Peralvo, M., Saito, J., & Tovar, A. (2009). *Ecosistemas de los Andes del norte y centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDES-AN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAVH, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL.
- Lara, A. (2016). *Diseño de un sistema de conservación para el cantón Rumiñahui*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Llulluna, S. (2018). *Estudio de factibilidad para la implementación de un producto de aviturismo en la parroquia Cosanga, provincia de Napo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- MAE - Ministerio del Ambiente del Ecuador, & FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. Quito: MAE & FAO.
- McMullan, M., & Vásquez, A. (2009). *Birds of the Norwest Ecuador*. Quito: Spotfield books.
- McMullan, M., & Navarrete, L. (2017). *Fieldbook of the Birds of Ecuador, including the Galapagos Islands and common mammals*. Quito: Ratty Ediciones.
- Martínez, O., & Rochberger, J. 2007. Características de la avifauna en un gradiente altitudinal de un bosque nublado andino de La Paz, Bolivia. *Revista Peruana de Biología*, 14(2), 225-236.
- Mindo Cloudforest Foundation. (2006). *Estrategia Nacional de Aviturismo*. Quito: CORPEI.
- Muñoz, A. (2015). La contradicción del turismo en la conservación y el desarrollo en Galápagos-Ecuador. *Estudios y perspectivas en Turismo*, 24, 399-413.

- Muñoz-Pedrerros, A., & Quintana, J. (2010). Evaluación de fauna silvestre para uso ecoturístico en humedales del río Cruces, sitio Ramsar de Chile. *Revista Interciencia*, 35(10), 730-738.
- Muñoz-Pedrerros, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77, 139-156. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2004000100011>
- Palminteri, S., & Powell, G. (2001). *Visión de la biodiversidad de los Andes del norte*. Colombia: World Wildlife Fund.
- Pérez-Sato, J. A., Alcántara-Salinas, G., García-García, C. G., Rivera-Hernández, J. E., Salazar-Ortiz, J., Campos-Cerón, M., Román-Hernández, D., Balderas-San Miguel, O., & Fuentes-Moreno, A. (2018). Aviturismo en la región de las altas montañas de Veracruz, México. *Revista Agroproductividad*, 11(8), 101-108. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i8.1104>
- Price, M., Gratzer, G., Alemayehu Duguma, L., Kohler, T., Maselli, D., & Romeo, R. (editors). (2011). *Mountain Forests in a Changing World - Realizing Values, addressing challenges*. Rome: FAO/MPS and SDC.
- Remsen, J., Areta, J., Cadena, C., Claramunt, S., Jaramillo, A., Pacheco, J. Robbins, M., Stiles, F., Stotz, D., & Zimmer, K. (2018). A classification of the bird species of South America. American Ornithologists' Union. Versión 2018. Obtenido de: <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html>
- Ridgely, R., & Greenfield. P. (2006). *Aves del Ecuador: Volúmenes 1 y 2*. Quito: Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia & Fundación de Conservación Jocotoco.
- Steven, R. (2017). Mejorando los beneficios del aviturismo. Ideas y oportunidades. *Revista Decisión Point*, E03, 7-8.
- Sociedad Civil del Cantón Rumiñahui. (2001). *Plan estratégico participativo del cantón Rumiñahui 2002-2022*. Primera edición. Sangolquí.
- Suárez, F. (2013). *Propuesta para la implementación de facilidades y planta turística especializada para el desarrollo del proyecto turístico comunitario Cóndor-Machay, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha*. Universidad Internacional del Ecuador.
- Tejedor, N., Álvarez, E., Arango Caro, S., Araujo Murakami, A., Blundo, C., Boza Espinoza, T., La Torre, M., Gaviria, J., Gutiérrez, n., Jørgensen, P., León, B., López Camacho, R., Malizia, L., Millán, B., Moraes, M., Pacheco, S., Rey Benayas, J., Reynel, C., Timaná de la Flor, M., Ulloa, C., Vacas Cruz, O., & Newton A.C. (2012). Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2), 148-166.
- Vas, K. (2013). Birding trails as sustainable tourism development. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, 06(03), 23-34.
- Verástegui, I. (2013). El primer "Birding Rally Challenge". *Xilema*, 26(1), 18-24. <http://dx.doi.org/10.21704/x.v26i1.610>
- Villarreal, H., Álvarez M., Córdova S., Escobar F., Fagua G., Gast F., Mendoza H., Ospina M., & Umaña A. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá: Programa de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Caracterización del banco de semillas de cuatro agroecosistemas de la Frailesca, Chiapas, México

Characterization of the seed bank of four agroecosystems in La Frailesca, Chiapas, Mexico

Carlos Ernesto Aguilar Jiménez^{1*}, Alfredo Tolón Becerra², Franklin B. Martínez Aguilar³, José Manuel Febles González⁴, Héctor Vásquez Solís⁵, Juan Carlos López Hernández⁶.

¹ Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Campus V. Km. 7. Carretera Villaflores-Tuxtla Gutiérrez. C. P. 30470. Villaflores, Chiapas, México.

 <https://orcid.org/0000-0002-6332-1771>

² Universidad de Almería, Área de Proyectos de Ingeniería. Carretera Sacramento s/n. La Cañada de San Urbano. 04120. Almería, España.

 <https://orcid.org/0000-0002-7420-3340>

³ Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Campus V. Km. 7. Carretera Villaflores-Tuxtla Gutiérrez. C. P. 30470. Villaflores, Chiapas, México.

 <http://orcid.org/0000-0003-2666-5863>

⁴ Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

 <https://orcid.org/0000-0002-9360-1117>

⁵ Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Campus V. Km. 7. Carretera Villaflores-Tuxtla Gutiérrez. C. P. 30470. Villaflores, Chiapas, México.

 <https://orcid.org/0000-0002-3865-9922>

⁶ Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Campus V. Km. 7. Carretera Villaflores-Tuxtla Gutiérrez. C. P. 30470. Villaflores, Chiapas, México.

 <https://orcid.org/0000-0002-5662-8775>

✉ Autor para correspondencia: ejimenez@unach.mx

Resumen

El objetivo del trabajo fue caracterizar las arvenses del banco de semillas de agroecosistemas representativos de la región tropical denominada Frailesca, en el estado de Chiapas, México. Los sistemas definidos estuvieron representados por los suelos de vega (márgenes de los ríos), potreros (pastizales), terrenos intermedios para el cultivo de maíz y en sucesión secundaria (acahual). La metodología se fundamentó en la germinación directa, para lo cual se obtuvieron muestras compuestas de suelo a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm), las cuales se colocaron en charolas de 50 x 30 x 10 cm, ubicándolas en invernadero para evitar su contaminación, proporcionándoles riegos regulares. Cada sistema estuvo representado por tres réplicas, 36 unidades de muestreo totales. Las variables evaluadas fueron número de especies e individuos emergidos, densidad y dominancia relativa, diversidad florística y similitud de comunidades y efectos alelopáticos de las arvenses dominantes. Los resultados indican que los sistemas manejados intensivamente para actividades agrícolas, específicamente terrenos de vega e intermedios para el monocultivo de maíz, presentaron bancos de semillas más dinámicos, lo cual sucede en los primeros 10 cm de profundidad. Las especies de arvenses dominantes de los bancos evaluados fueron *Cyperus rotundus* L. y *Melampodium divaricatum* Rich. La diversidad florística

determinó índices similares entre los sistemas y profundidades. La mayor similitud entre comunidades se presentó en los agroecosistemas manejados con el cultivo maíz. No se determinaron efectos alelopáticos de las especies dominantes sobre la germinación y crecimiento de los cultivos representativos de la región.

Palabras clave: agroecosistemas, arvenses, reservorio, semillas.

Abstrac

The objective of the work was to determine the dynamics of the weeds of the seed bank of representative agroecosystems of the tropical region, called Frailesca, in the state of Chiapas, Mexico. The defined systems were represented by: the fertile soils (river banks), paddock (grasslands), intermediate lands for the cultivation of corn and in secondary succession (acahual). The methodology was based on direct germination, for which composite soil samples were obtained at three depths (0-10, 10-20 and 20-30 cm), which were placed in trays of the 50 x 30 x 10 cm, placing them in a greenhouse to avoid contamination, providing regular irrigation. Each system was represented by three replicates, 36 total sampling units. The variables evaluated were the number of emerged species and individuals, density and relative dominance, floristic diversity and community similarity, and allelopathic effects of the dominant weeds. The results indicate that the systems intensively managed for agricultural activities, specifically fertile and intermediate lands for the monocultivation of corn, presented more dynamic seed banks, which occurs in the first 10 cm of depth. The dominant weed species from the evaluated banks were *Cyperus rotundus* L. and *Melampodium divaricatum* Rich. Floristic diversity determined similar indices between systems and depths. The greatest similarity between communities was found among the agroecosystems managed for the culture of corn. No allelopathic effects of the dominant species on the germination and growth of the representative crops in the region were determined.

Keywords: agroecosystems, weed, reservoir, seeds.

1. Introducción

Los agroecosistemas representan sistemas naturales modificados por el hombre con el propósito de producir alimento (Sans, 2007). La intensidad y forma de manejo determinan la dinámica de los factores ecológicos y biológicos que en ellos suceden (Gutiérrez *et al.*, 2008). El crecimiento poblacional ha originado una mayor presión de uso de los recursos naturales en la agricultura. Los primeros sistemas mesoamericanos se caracterizaron por utilizar principios de agricultura itinerante, permitiendo con esto la recuperación temporal de los procesos ecológicos. La demanda de alimentos exigió incorporar nuevas áreas a la agricultura, así como el uso de formas intensivas de producción. El uso de la tecnología supuso la introducción de insumos de síntesis artificial, lo que incrementó los efectos antropogénicos sobre los recursos naturales usados en la agricultura (Gliessman, 2002). Esta estrategia modificó la dinámica de las *malezas*, las cuales han coevolucionado con su ambiente.

La dispersión de las semillas es uno de los caracteres funcionales de las especies vegetales,

son dispersadas por el viento (anemocoria), el agua (hidrocoria), los animales (epizoocoria), al ser ingeridas por los animales (endozooecoria), por la gravedad (barocoria), por los mecanismos propios de la especie (autocoria), o la combinación de estos agentes (Bedoya-Patiño *et al.*, 2010). El mecanismo de dispersión que utilizan las plantas superiores está determinado por el tipo de vida de la especie; así, las plantas herbáceas se dispersan fundamentalmente por zooecoria y autocoria (Arbeláez & Parrado-Rosselli, 2005).

El hombre es uno de los agentes más importantes para la dispersión de semillas. Sus migraciones han llevado consigo a todas partes valiosas plantas de cultivo, así como, inadvertidamente, algunas de las arvenses no deseables. El tamaño de una población ecológica está determinado por el flujo de semillas en su hábitat, que comprende tres fases: maduración de las semillas, traslado de estas desde su progenitor hasta el área en donde caen y movilidad en el reservorio de propágulos en el suelo (banco de semillas) (Granados *et al.*, 2001). Estas etapas se ven afectadas por diferentes factores y la interacción con ellos da como resultado el patrón de dispersión

de la población. La diseminación es un fenómeno precursor del establecimiento de poblaciones y tiene lugar cuando los frutos y/o semillas, una vez que han sido diseminados, germinan con la finalidad de que los individuos colonicen un nuevo territorio (Cubiña & Aide, 2001).

Las semillas de las plantas superiores podrán iniciar la colonización del ecosistema una vez que encuentren condiciones ecológicas apropiadas, fundamentalmente humedad y luz. Cuando no existen las condiciones adecuadas para la germinación, estas permanecen en latencia, la cual es considerada un periodo de interrupción de crecimiento y disminución del metabolismo durante el ciclo vital, es una estrategia adaptativa de supervivencia que se presenta en gran parte de los seres vivos frente a condiciones ambientales desfavorables (De Sousa *et al.*, 2006). En las plantas superiores puede existir latencia o interrupción de crecimiento en el tejido meristemático, así como en las semillas (Fenner & Thompson, 2005).

En una comunidad vegetal el banco de semillas es el conjunto de semillas que presentan potencial regenerativo en las comunidades vegetales (Moscoso & Diez, 2005). La formación del banco de semillas del suelo se inicia con la dispersión y finaliza con la germinación o muerte de las semillas (Walck, 2005). La presencia de diferentes tipos de bancos de semillas permite tener un amplio criterio sobre algunos mecanismos que presentan las especies para coexistir en comunidades perennes, la gran diversidad de bancos indica una variación en la forma, intensidad, distribución estacional y formas de perturbación (Cantillo *et al.*, 2008).

Thompson & Grime (1979) clasifican a los bancos de semillas del suelo de acuerdo con la viabilidad de las semillas en transitorios y persistentes; sin embargo, esta forma no aporta elementos acerca de la longevidad, ni sobre las posibles prácticas que establezcan manejos adecuados para la restauración de los ambientes. Una versión modificada de esta clasificación fue planteada por Bakker (1989), quien propone tres tipos. Transitorios: bancos cuyas especies persisten en el suelo menos de un año, Persistentes de corto plazo: bancos con semillas de especies que persisten en el suelo por lo menos un año y hasta 5 años, y Persistentes de largo plazo: bancos con semillas de especies que persisten en el suelo por lo menos 5 años. Besnier (1989) menciona dos tipos de distribución de las semillas en el banco del suelo, distribución espacial y distribución vertical,

así mismo señala que en general en los terrenos no labrados, las profundidades máximas alcanzadas por las semillas son del orden de los 30-35 cm.

La vegetación de un lugar está formada por un componente real y un componente potencial, la primera representada por los individuos de las especies presentes en el área y la segunda por las semillas y propágulos existentes en el suelo. Algunos de los beneficios del estudio del banco de semillas son: determinar la productividad ecológica de los sistemas, el papel fundamental que juegan en la recuperación de áreas fuertemente perturbadas, comprender la dinámica de las poblaciones para el establecimiento de plantas, y en comunidades vegetales anuales agrícolas ayuda a planificar las estrategias de manejo de la flora arvense que compite con las plantas cultivadas (De Souza *et al.*, 2006).

La presente investigación se realizó con el objetivo de caracterizar la flora arvense en el banco de semillas de cuatro sistemas de manejo tradicional, terrenos bajos e intermedios cultivados con maíz, pastizales y suelos en barbecho (descanso), de la Frailesca, Chiapas.

2. Materiales y métodos

2.1 Localización del área de estudio

El experimento se realizó en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V, de la Universidad Autónoma de Chiapas, municipio de Villaflores, Chiapas, México, localizada en el paralelo 16° 15' 13.9" de latitud norte y meridiano 93° 15' 14.2" longitud oeste. La altitud es de 610 msnm. De acuerdo con Köppen, modificado por García (1987), el clima que prevalece es el cálido-subhúmedo AW₁ (W") (i) g con una temperatura media anual de 22 °C y una precipitación pluvial media anual de 1.200 mm.

2.2 Diseño del experimento

Para caracterizar la dinámica del banco de semillas se definieron cuatro sistemas representativos del uso del suelo en la región Frailesca (Tabla 1). Se utilizó el método de germinación directa, consistente en lograr muestras compuestas de suelo, obteniendo quince submuestras por cada sistema, las cuales se colocaron en charolas (50 x 30 x 10 cm), mismas que se ubicaron en invernadero para evitar su contaminación, proporcionándoles riegos regulares. Cada sistema de manejo estuvo representado con

tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm), esto proporcionó 12 tratamientos, cuyas tres repeticiones otorgaron un total de 36 unidades de muestreo. Las muestras de suelo de los diferentes tratamientos se

enviaron al laboratorio de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, localizado en el estado de México, para determinar los contenidos de N, P y K, así como su textura.

Tabla 1. Tratamientos definidos para caracterizar el banco de semillas

Sistema	Características
Terreno de vega	Suelos planos aluviales localizados en las márgenes de los ríos.
Terreno intermedio de cultivo de maíz	Suelos semiplanos o de pendientes ligeras (menores de 20 %) usados para el monocultivo de maíz.
Potrero o pastizal	Suelos semiplanos o de pendientes ligeras (menores de 20 %) usados para el pastoreo de ganado bovino.
Acahual	Suelos semiplanos o de pendientes ligeras (menores de 20 %) destinados al descanso en sucesión secundaria de selva media perennifolia.

2.3 Variables evaluadas

Las variables estudiadas en el banco de semillas se midieron en dos tiempos, la primera en muestreos realizados cada 15 días, donde se cuantificó en 10 oportunidades el número de plantas emergidas. El segundo momento, fue al final del experimento (150 días) en donde se determinaron las variables: número de especies y número de individuos, la densidad y dominancia relativa de las principales especies emergidas, la diversidad florística, biomasa total verde y seca, el índice de similitud y se evaluó el potencial alelopático de las arvenses dominantes en los sistemas de manejo intensivo. Las especies emergidas se clasificaron en hoja angosta y ancha, las primeras estuvieron representadas por las poáceas y ciperáceas (denominadas localmente zacates), mientras que las segundas fueron todas las demás (llamadas monte). Para estimar la diversidad se empleó el modelo de Shannon-Wiener (1949) y finalmente se utilizó el índice de Sørensen (1957) para estimar la analogía entre comunidades.

2.4 Prueba de alelopatía

Para realizar la prueba de alelopatía se utilizó la metodología propuesta por Gliessman (2002), con este fin se colectaron las especies más representativas emergidas en los agroecosistemas, que fueron coquillo (*Cyperus rotundus* L.) y flor amarilla (*Melampodium divaricatum* Rich.). De las dos especies previamente colectadas y secadas a la sombra mínimamente

durante 72 horas, se pesaron 2,5 g y 5 g de cada arvense, colocándose en vasos de precipitados con 100 ml de agua destilada, teniendo así la proporción de 2,5 y 5 % respectivamente, remojándose por un tiempo de dos horas, para provocar la liberación de sustancias alelopáticas, pasado el tiempo, se agregó 10 ml de la solución a cada caja Petri. Para el testigo simplemente se aplicó agua destilada.

En las cajas Petri se experimentó con tres especies cultivadas (maíz, frijol y calabaza). El procedimiento de preparación de estas consistió en agregar 45 g de arena, previamente lavada con agua destilada, colocando papel higiénico en la superficie; para distribuir 10 semillas de cada especie indicada con el hipocotilo hacia adentro en cada recipiente utilizado. Las dos especies de arvenses, por tres concentraciones (2,5 y 5,0 %, además del testigo) y tres especies cultivadas (maíz, frijol y calabaza), originando un total de 18 tratamientos, mismos que estuvieron representados con tres réplicas, para obtener un total de 54 unidades de muestreo. Se sellaron las cajas cuidadosamente y se colocaron ordenadas a la oscuridad, por un lapso de 5 días, transcurrido el tiempo se contó el número de semillas emergidas por especie, así como la longitud radicular de cada individuo emergido.

2.5 Análisis de la información

Para conocer las diferencias estadísticas, se realizó el análisis de varianza bajo un diseño

de clasificación simple, utilizando el paquete de análisis estadístico SPSS, y para comprobar el efecto entre los sistemas se corrieron pruebas de medias, utilizando Tukey al 95 % de probabilidad.

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis físico-químico de los suelos

En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis físico-químico de los suelos de los sistemas estudiados, identificándose texturas migajones con variaciones en su contenido de arena, limo y arcilla, resultados típicos de la región de estudio, donde la dinámica tropical promueve los procesos de pedogé-

nesis de una forma acelerada. En cuanto al contenido de nitrógeno se observa una mayor disponibilidad en el método de ecosistema natural (acahual), seguido por el sistema de pastizal (potrero), mientras que los sistemas de vega y terrenos intermedios mostraron determinaciones menores; así mismo, se puede observar una correlación positiva entre la profundidad y las cantidades determinadas, encontrándose las mayores determinaciones en las primeras capas de suelo, disminuyendo a mayores profundidades, resultados similares son reportados por López *et al.* (2018) al caracterizar los suelos para cultivo de maíz en el mismo territorio. Para fósforo, las mayores determinaciones se establecieron en los sistemas de terrenos de vega y potrero, disminuyendo las determinaciones a mayor profundidad.

Tabla 2. Análisis físico-químico del suelo de cuatro sistemas de estudio en la Frailesca, Chiapas, México.

Sistema	Profundidad (cm)	Textura	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Acahual	0 – 10	Migajón arenoso	0,22	10	0,5
	10 – 20		0,25	2	0,2
	20 – 30		0,08	1	0,2
Vega	0 – 10	Migajón limoso	0,12	16	0,2
	10 – 20		0,06	5	0,1
	20 – 30		0,08	8	0,3
Maíz	0 – 10	Migajón arcillo arenoso	0,08	13	0,4
	10 – 20		0,06	2	0,3
	20 – 30		0,03	1	0,3
Potrero	0 – 10	Migajón arcilloso	0,16	15	0,6
	10 – 20		0,13	10	0,5
	20 – 30		0,08	5	0,4

En los sistemas de acahual y potrero se encontraron las mayores determinaciones de potasio en las primeras capas del suelo. De forma general, el sistema de no cultivo presentó las mejores determinaciones de elementos mayores, lo cual es producto de la incorporación sistemática de residuos orgánicos de la vegetación en sucesión secundaria (López-Báez *et al.*, 2019). De los tres sistemas manejados, el pastizal indicó tener una fertilidad media, debido al manejo sistemático con herbáceas y a la incorporación de residuos orgánicos de los bovinos que pastorean en él (Apráez *et al.*, 2007); el sistema de cultivo de maíz en terrenos intermedios presenta las determinaciones más bajas, debido a su manejo sistemático de forma convencional y con el monocultivo de maíz (Martínez *et al.*, 2020), lo mismo sucede en el sistema de maíz

en terrenos de vega, pero al ser suelos que reciben el aluvión de las partes más altas, estos presentan indicadores de mejor fertilidad química.

López *et al.* (2019) concluyen que la fertilidad marginal de los suelos cultivados con maíz en la municipalidad de Villaflores y Chiapas, son producto del uso del monocultivo, de la baja incorporación de materia orgánica, de los altos índice de acidez, así como de las deficiencias sistemáticas de los nutrimentos básicos y de una afectación sobre las propiedades físicas de los suelos. Sin embargo, es oportuno mencionar que la calidad de los suelos no tiene influencia en la germinación de las semillas, ya que éstas romperán su latencia cuando encuentren las condiciones adecuadas, fundamentalmente de luz y humedad.

3.2 Plantas emergidas en los agroecosistemas

En cuanto a las plantas emergidas en el banco de semillas, las especies de hoja ancha emergieron en mayor cantidad en el sistema de terreno de vega, seguidos por el terreno intermedio de maíz (Tabla 3 y Figura 1), está dinámica es producto del manejo de los sistemas, en donde al ser suelos cultivados con monocultivo de maíz, las especies con mayor área foliar (hoja ancha), tendrán mayor capacidad de captar la radiación solar en medio

de las plantas cultivadas (León & Agüero, 2001). Las especies de hoja angosta emergieron en mayor cantidad en el sistema de vega y pastizal (Tabla 4 y Figura 2), en el primer caso es producto del aluvión recibido por las partes más altas, y en el segundo es producto del manejo con pastos para la ganadería, mismo que es reincorporado por los rumiantes a través de las excretas. Yu *et al.* (2007) concluyen que las especies con semillas persistentes y redondas son más comunes en los ecosistemas manejados.

Tabla 3. Especies de hoja ancha más comunes en los bancos de semilla

Sistema	Profundidad (cm)	Especies	Densidad Relativa (%)	Dominancia Relativa (%)
Terreno de vega	0-10	<i>Melampodium divariucatum</i>	6,99	18,05
	10-20	<i>Melampodium divariucatum</i>	5,87	33,99
	20-30	-----	0	0
Terreno intermedio de cultivo de maíz	0-10	<i>Melampodium divariucatum</i>	12,93	39,07
		<i>Aldama dentata</i> Llave & Lex	11,45	20,37
	10-20	<i>Amaranthus retroflexus</i>	9,79	4,63
		Sp no identificada	38,8	26,5
Potrero o pastizal	0-10	<i>Althaea spp</i>	2,54	14,56
	10-20	Sp no identificada	48,12	38,72
	20-30	Sp no identificada	26,05	27,97
Acahual	0-10	<i>Aldama dentata</i> Llave & Lex	21,17	41,05
		<i>Euphorbia heterophylla</i>	20,98	16,31
	10-20	<i>Aldama dentata</i> Llave & Lex	13,16	34,94
	20-30	-----	0	0

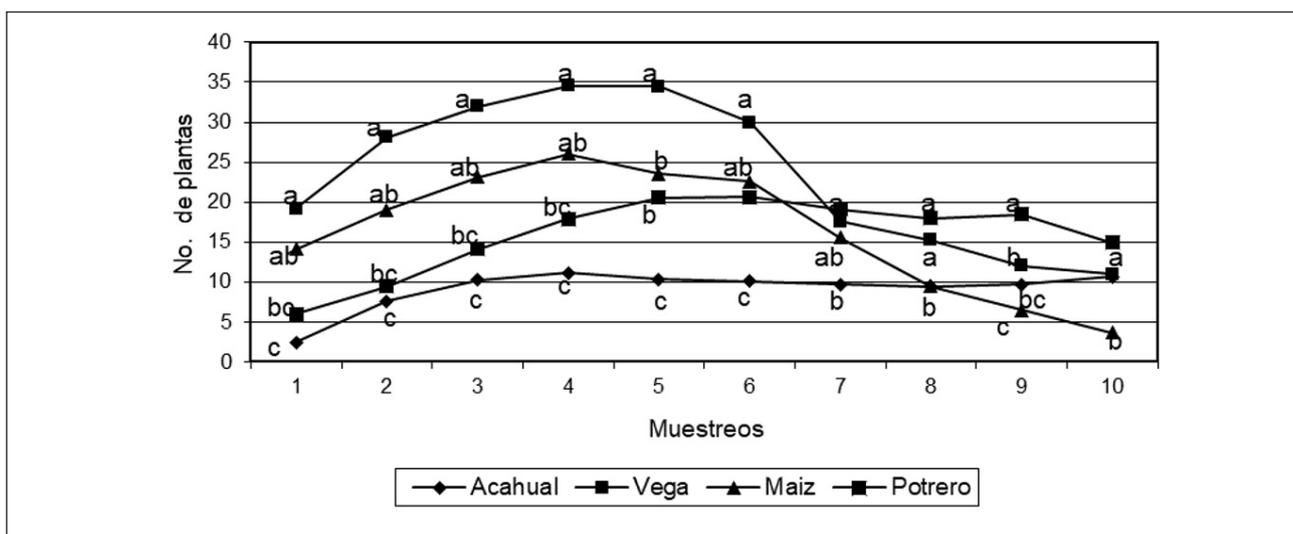


Figura 1. Plantas de hoja ancha emergidas en el banco de semillas.

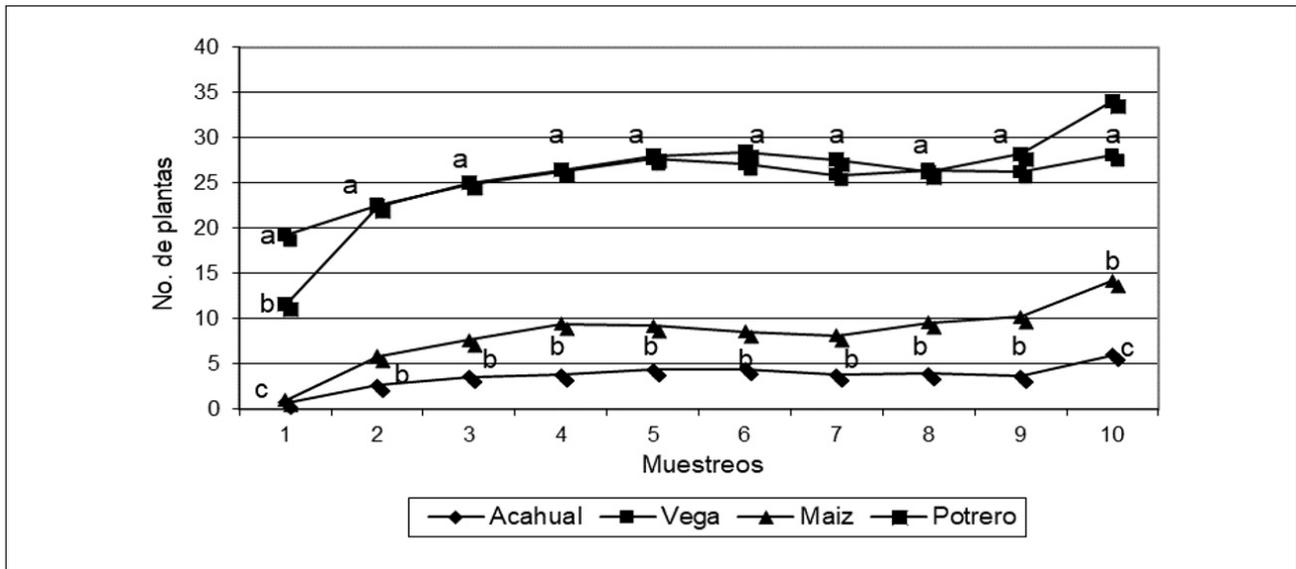


Figura 2. Plantas de hoja angosta emergidas en el banco de semillas.

Tabla 4. Especies de hoja angosta más comunes en los bancos de semilla

Sistema	Profundidad (cm)	Especies	Densidad Relativa (%)	Dominancia Relativa (%)	
Terreno de vega	0-10	<i>Cyperus rostratus</i> L.	40,83	20,03	
		<i>Cynodon dactylon</i> (L.)	16,75	15,56	
		<i>Cynodon plectostachius</i>	5,59	6,80	
	10-20	<i>Cyperus rostratus</i> L.	54,45	63,22	
20-30	<i>Cyperus rostratus</i> L.	53,05	32,54		
Terreno intermedio de cultivo de maíz	0-10	<i>Cenchrus sp</i>	32,44	15,64	
		<i>Cyperus rostratus</i> L.	24,45	17,08	
	10-20	-----	0	0	
	20-30	-----	0	0	
Potrero o pastizal	0-10	<i>Cyperus rostratus</i> L.	10,84	27,26	
		<i>Sporobolus airoides</i> (Torr.) Torr	14,78	2,33	
		<i>Cynodon plectostachius</i>	14,78	2,33	
	10-20	<i>Sorghum helepense</i>	36,16	32,54	
	20-30	<i>Cyperus rostratus</i> L.	19,2	6,56	
Acahual	0-10	<i>Sorghum helepense</i>	18,87	37,2	
	0-10	<i>Cyperus rostratus</i> L.	8,79	0,26	
		10-20	<i>Cyperus rostratus</i> L.	32,11	5,55
		20-30	<i>Sporobolus airoides</i> (Torr.) Torr	43,59	69,00
		<i>Cyperus rostratus</i> L.	18,33	27,52	

Finalmente, las especies totales (especies de hoja ancha y angosta) se cuantificaron en mayor medida en el sistema de terreno de vega, seguido por el pastizal, terrenos intermedios de maíz, y por último el terreno en sucesión secundaria (acahual) (Figura 3). La mayor emergencia de especímenes en los terrenos de vega (suelos fluvisoles), obedece a que en ellos se deposita sistemáticamente el aluvión de las partes más altas del territorio, lo que origina una mayor fertilidad del suelo, pero también una mayor dinámica biológica, lo cual se refleja en la diversidad de especies emergidas como flora arvense (Álvarez-Aquino *et al.*, 2005).

La importancia de conocer la dinámica de los bancos de semillas del suelo obedece a que este es un componente importante en la dinámica vegetal y una estrategia de sobrevivencia de las

especies a largo plazo, además, cumple un papel fundamental en la recuperación de áreas que han sufrido drásticos procesos de perturbación, siendo estos fundamentales para el mantenimiento de la diversidad florística y la sustentabilidad social y ecológica de los ecosistemas naturales y perturbados (De Souza *et al.*, 2006). Las especies vegetales presentes en cualquier ecosistema natural o modificado requieren de algunos mecanismos, destacándose: la dispersión continua o estacional de las semillas (lluvia de semillas), la acumulación de las semillas en el suelo (banco de semillas), la acumulación de plántulas (banco de plántulas), así como la acumulación de renuevos y el rebrote de estructuras dañadas (Bedoya-Patiño *et al.*, 2010). La dispersión y el banco de semillas son los que determinan en mayor medida el tipo de vegetación que coloniza los ecosistemas.

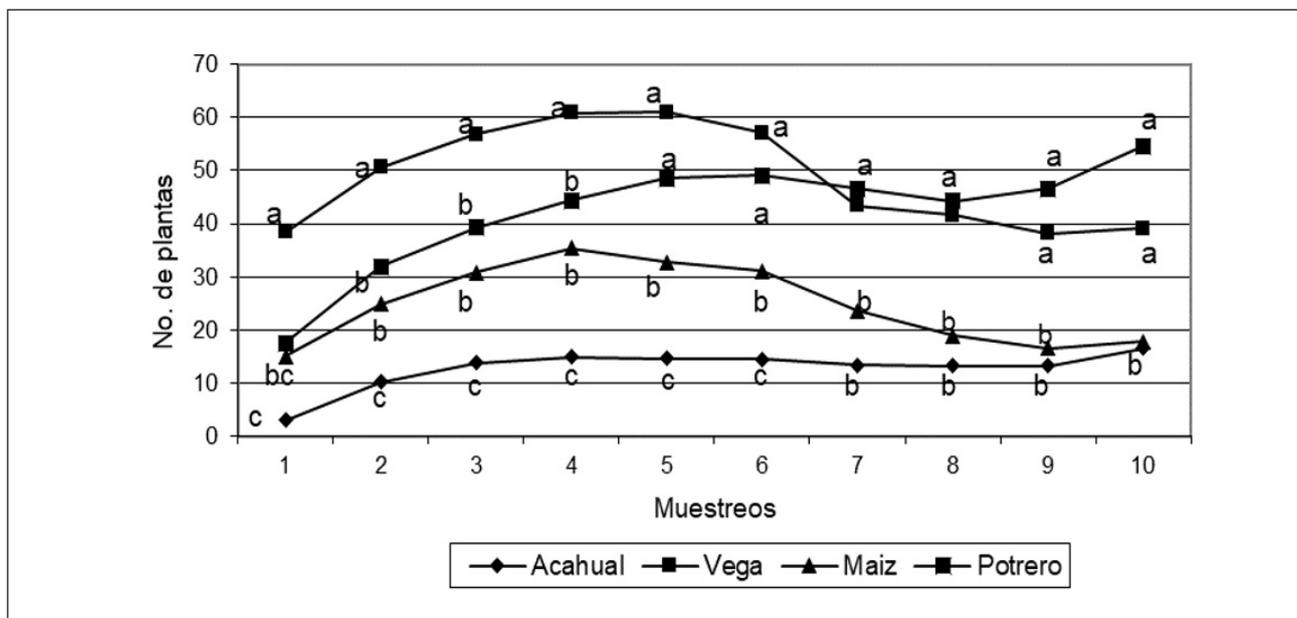


Figura 3. Plantas totales emergidas en el banco de semillas.

El banco de semillas del suelo se compone de semillas aletargadas, semillas en reposo, y de forma continua reciben los estímulos necesarios para romper el letargo y pasan a la situación de reposo, de la que salen para germinar, aunque no todas las semillas que germinan logran su supervivencia; así mismo, el reservorio se enriquece periódica o continuamente, según las circunstancias de dispersión, y también se empobrece continuamente con las semillas que desaparecen o mueren y con las que germinan (Piudo & Caveró, 2005). Un factor importante a tener en cuenta cuando se

evalúa la dinámica de los bancos de semillas de diferentes sistemas es que estas pueden llegar a desaparecer por la depredación llevada a cabo por las aves, mamíferos e insectos (hormigas, principalmente) cuando están en la hojarasca o superficie del suelo, mientras que para las que están enterradas la depredación se reduce mucho, pero algunas semillas pueden sufrir ataques por toda clase de animales, incluso nematodos, así mismo, las semillas enterradas perecen por la pérdida de viabilidad o por ataques de hongos (Price & Joyner, 1997).

3.3 Plantas emergidas en las diferentes profundidades

En cuanto a la emergencia de las diferentes especies en las tres profundidades estudiadas durante los 10 muestreos realizados, se observa en la Figura 4 una superioridad estadística de mayor presencia de especímenes en los primeros 10 centímetros. Esto nos señala que, en los bancos de semillas de las regiones tropicales, la mayor presencia de los órganos de reproducción sexual y asexual están en las capas más superficiales de los suelos manejados

y/o en barbecho (Valbuena & Trabaud, 2001). En los sistemas agrícolas de cultivos anuales de las zonas tropicales, el manejo de la flora arvense que emerge en ellos constituye uno de los elementos biológicos de mayor importancia que los agricultores deben atender, toda vez que estas plantas originan competencia por los elementos comunes con las plantas cultivadas, además, en algunos casos se presentan efectos alelopáticos, o pueden llegar a ser huéspedes de plagas y enfermedades que afectan a los cultivos (Piudo & Cavero, 2005).



Figura 4. Plantas emergidas a diferentes profundidades.

Diferentes estrategias se han estudiado y puesto en práctica para reducir el efecto negativo del banco de semillas de arvenses presentes en los suelos cultivados, destacándose el uso de herbicidas preemergentes, llamados localmente mata semillas, sin embargo, esto ha llevado a la utilización y dependencia de grandes cantidades de herbicidas sintéticos, que además de causar daños medioambientales y sobre la inocuidad alimentaria, también han promovido la resistencia de las especies de flora endémica sobre los mismos (Aguilar *et al.*, 2020). Este principio de manejo ha traído consigo la utilización de mayores volúmenes de herbicidas con efectos sobre su rentabilidad y sobre la inocuidad de la producción agrícola local. La menor emergencia de plántulas a mayor profundidad está relacionada también con el manejo de los sistemas evaluados. Godoy *et al.* (1995) encontraron mayor germinación de plántulas a menores profundidades en suelos manejados con labranza convencional, mientras que en sistemas de mínima remoción del suelo la presencia de semillas en las capas su-

periciales del banco fue menor mostrando mayor presencia a mayores profundidades, aludiendo este comportamiento al manejo del suelo.

3.3 Indicadores biológicos de los bancos de semillas

En la Tabla 5 se muestran algunos indicadores biológicos de los diferentes reservorios de semillas estudiados. Para número de especies, el terreno de vega, intermedio y el acahal fueron estadísticamente superiores, mientras que para número de individuos en los dos primeros sistemas se presentó el mayor número de especímenes, lo cual es producto del manejo sistemático que se le da al suelo con agricultura de temporada para el cultivo de maíz, lo que origina una dinámica biológica intensa. La riqueza de flora emergente en el sistema de acahal o terreno en barbecho es producto de los procesos de sucesión secundaria en donde la coexistencia de plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas aportan de manera sistemática simientes al *pool* de semillas (Pérez & Santiago, 2001).

Tabla 5. Indicadores biológicos del banco de semillas de los sistemas estudiados*

Sistema	Número de especies	Número de individuos	Índice de Diversidad (H')	Biomasa verde (g)	Biomasa seca (g)
Acahual	6,5 a	13,7 b	0,70	297,0 a	67,7 a
Terreno de vega	7,6 a	38,2 a	0,71	133,2 b	34,3 b
Terreno intermedio	5,2 b	15,1 b	0,60	118,6 b	33,8 b
Pastizal	7,4 a	46,7 a	0,69	133,1 b	29,2 b

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (Tukey 0,05)

Para la diversidad florística no se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas, lo que nos indica que en el suelo se acumula un número importante de semillas en estado de reposo, las cuales, al existir las condiciones ecológicas adecuadas, fundamentalmente humedad y luz, aprovecharán las circunstancias para iniciar con la colonización de los ecosistemas. Desde la perspectiva del manejo sostenible de los agroecosistemas y de la recuperación de ecosistemas perturbados, la diversidad florística del banco de semillas del suelo constituye un elemento de vital importancia ecológica y socioeconómica, debido a los servicios ambientales presentes y futuros que estos pueden otorgar al sistema ecológico (De Sousa *et al.*, 2006). Pla (2006) concluye que la diversidad cuantificada desde el modelo utilizado será útil cuando se utilice con fines comparativos, ya que se ha demostrado que existen sesgos con la diversidad absoluta cuantificada.

La biomasa total (verde y seca) emergida al final del ensayo en cada una de las charolas de los suelos de los sistemas evaluados, fue superior estadísticamente en el sistema de acahual o barbecho, lo cual refleja que en este sistema germinan fundamentalmente especies arbustivas y arbóreas cuya biomasa es superior a las especies herbáceas (Gordón, 2000). La dinámica biológica establecida en los sistemas estudiados está determinada por el manejo de estos, Bedoya-Patiño *et al.* (2010) mencionan que las semillas encontradas en los sistemas de sucesión secundaria y de alto grado de perturbación, son más abundantes debido a las múltiples fuentes de propágulos que existen y suceden en ellos como

producto de su manipulación sistemática. La biomasa acumulada en los sistemas ecológicos constituye un indicador ambiental de importancia ya que está directamente relacionada con la cantidad de carbono capturado, por ejemplo, Yerema-Yamallel *et al.* (2014) concluyen que los pastizales en sucesión secundaria retienen una cantidad menor de carbono, en comparación con los matorrales primarios.

3.4 Indicadores biológicos de las diferentes profundidades

En la Tabla 6 se muestran los indicadores biológicos por profundidad, observándose para el número de especies y número de individuos una dominancia en las primeras capas de suelo, lo cual nos indica que la acumulación de las semillas en el reservorio de las regiones tropicales se presenta con mayor dinámica en los primeros centímetros. Para el índice de diversidad florística no se encontraron diferencias significativas entre las tres profundidades, lo que nos señala que las plantas emergidas presentan una homogeneidad en la distribución de los individuos dentro de cada una de las especies. Finalmente, para biomasa verde y seca no se determinaron diferencias entre los distintos bancos de semillas, lo que nos indica que una vez que emergen las plantas estas inician su crecimiento y desarrollo independientemente de su tipo y profundidad de localización. Aun cuando las características fisiográficas del territorio y del tipo de suelo influyen en la profundidad de las semillas, en los sistemas perturbados estas estarán presentes en mayor cantidad y diversidad en las primeras capas de suelo (Dalling & Hubbell, 2002).

Tabla 6. Indicadores biológicos del banco de semillas a diferentes profundidades*

Profundidad (cm)	Número de especies	Número de individuos	Índice de Diversidad (H')	Biomasa verde (g)	Biomasa seca (g)
0-10	7,7 a	38,1 a	0,72	167,2	35,3
10-20	7,2 a	32,4 a	0,69	207,6	48,9
20-30	5,1 b	14,3 b	0,62	136,7	39,6

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (Tukey 0,05)

La importancia del estudio de la dinámica de los bancos de semillas es que estos actúan como filtros evolutivos, determinando los genotipos que pueden sobrevivir bajo condiciones ambientales desfavorables, constituyen la fuente para el reclutamiento de nuevas poblaciones y actúan como almacén de información genética sobre varias generaciones. La variabilidad florística que se da en los bancos de semillas, junto con una fluctuación considerable en la densidad de semillas almacenadas en el suelo a causa de las variables ambientales, provocan cambios en la capacidad de las plantas para su establecimiento (Granados & López, 2001). Es importante reconocer que, en el *pool* de semillas del suelo, muchas de ellas están en reposo sin germinar debido al efecto inducido por factores bióticos (inhibición química, periodo de latencia, actividad de microorganismos, etc.) y abióticos (luz, temperatura, humedad, etc.).

3.5 Índice de similitud de los bancos de semillas

En cuanto a la similitud entre los diferentes bancos de semillas (Tabla 7), se destaca la analogía superior al 70 % entre el sistema de terreno de vega

e intermedio para el cultivo de maíz. Lo anterior es producto del manejo similar de ambos sistemas en donde se cultiva maíz en monocultivo, y donde la estrategia fundamental es el uso de herbicidas sintéticos, los cuales van haciendo selectivas las especies que emergen en los campos cultivados. El sistema acahual presentó semejanzas del 30 % con maíz y del 15 % con vega y potrero, indicándonos que las especies presentes en estos bancos están conformadas por especies diferentes a los sistemas agrícolas de manejo intensivo. En el banco de semillas del pastizal se presentó una similitud aproximada del 30 % con los terrenos de cultivo de maíz (vega e intermedio), en donde fundamentalmente las especies de hoja angosta (poáceas) son las que se presentan de forma común en los tres bancos de semillas; resultados similares son reportados por Haretche & Rodríguez (2006) quienes estudiaron por nueve años el reservorio de semillas de un pastizal y un terreno en descanso, encontrando sucesionalmente mayor similitud en el pastizal y menor en la sucesión secundaria. Por su parte, Gordón (2000) reporta similitudes del 70 % de herbáceas en bancos de semillas de humedales tropicales de sitios diferentes.

Tabla 7. Índice de similitud de los bancos de semilla estudiados

	Acahual	Vega	Maíz	Potrero
Acahual	---	18,19	30	15,79
Vega	18,19	---	72,46	32,44
Maíz	30	72,46	---	26,47
Potrero	15,79	32,44	26,47	---

3.6 Prueba de alelopatía

Al analizar los efectos alelopáticos de las dos especies arvenses dominantes en los sistemas de cultivo intensivo, terrenos de vega e intermedios de monocultivo

con maíz, para número de especies emergidas no se encontró un efecto marcado de coquillo (*Cyperus rotundus* L.) y flor amarilla (*Melampodium divaricatum* Rich.), en ninguna de las concentraciones sobre las tres especies de semillas plantadas (calabaza, frijol y maíz) (Tabla 8).

Tabla 8. Prueba de alelopatía con las arvenses más abundantes*

Tratamiento	Concentración (%)	Cultivo	Número de especies emergidas	Longitud de la radícula (cm)
Flor amarilla	2,5	Calabaza	9,33 a	6,95 abc
	5,0		9,66 a	6,67 abc
	2,5	Frijol	10 a	8,5 ab
	5,0		8,66 ab	6,87 abc
	2,5	Maíz	9,66 a	7,12 abc
	5,0		9,33 a	8,11 abc
Coquillo	2,5	Calabaza	8,33 ab	8,36 abc
	5,0		8,33 ab	7,29 abc
	2,5	Frijol	10 a	8,76 a
	5,0		9,33 a	7,51 bc
	2,5	Maíz	9,33 a	7,51 abc
	5,0		9,33 a	7,14 abc
Testigo	0	Calabaza	9 ab	6,90 abc
	0		9,33 a	6,96 abc
	0	Frijol	9,33 a	6,02 c
	0		9,66 a	8,02 abc
	0	Testigo	9,66 a	6,75 abc
	0		10 a	6,2 bc

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (Tukey 0,05)

Para longitud de la radícula se mostró un patrón similar. Los bajos efectos alelopáticos determinados pueden deberse a una respuesta biológica de las plantas, las cuales, al percibir la presencia de compuestos secundarios (aleloquímicos), responden con

un impulso sobre la germinación y crecimiento de su radícula, resultados compartidos por Besnier (1989), mientras que Laynez-Garsaball & Méndez-Natera (2007) al estudiar el efecto alelopático de la Cyperaceae determinaron que la germinación, altura de

las plántulas, longitud de las radículas, peso seco del vástago y relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula disminuyeron proporcionalmente al aumento de la concentración de extracto, contrariamente, el peso seco de la radícula incrementó, mientras que la relación altura de la plántula/longitud de la radícula no presentó diferencias significativas en las fuentes de variación.

4. Conclusiones

La mayor densidad y dominancia relativa de las especies emergidas en el banco de semillas se pre-

sentaron en los sistemas de terrenos aluviales e intermedios con manejo de monocultivo de maíz, cuantificándose mayor cantidad de especímenes y biomasa de la flora arvense emergida; sin embargo, su diversidad florística fue similar al terreno de pastizal y en sucesión secundaria. La mayor actividad biológica del banco de semillas se presentó en los primeros 10 centímetros del suelo para todos los cuatro sistemas estudiados, reduciéndose de manera significativa a mayores profundidades. La mayor similitud se presentó entre los sistemas de manejo intensivo para cultivo de maíz, reduciéndose en comparación con el pastizal y muy significativamente con el sistema de acahual o en sucesión secundaria.

Referencias

- Aguilar Jiménez, C. E., Galdámez Gadámez, J., Martínez Aguilar, F. B., Guevara Hernández, F., & Vázquez Solís, H. (2020). Eficiencia del policultivo maíz-frijol-calabaza bajo manejo orgánico en la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 64-72.
- Álvarez-Aquino, C., Williams-Linera, G., & Newton, A. C. (2005). Disturbance Effects on the Seed Bank of Mexican Cloud Forest Fragments. *Biotropica*, 37(3), 337-342. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00044.x>
- Apraez, E., & Crespo, G., & Herrera, R. S. (2007). Efecto de la aplicación de abonos orgánicos y mineral en el comportamiento de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechs) en el Departamento de Nariño, Colombia. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(1), 75-79.
- Arbeláez, M. V., & Parrado-Rosselli, A. (2005). Seed Dispersal Modes of the Sandstone Plateau Vegetation of the Middle Caquetá River Region, Colombian Amazonia. *Biotropica*, 37(1), 64-72. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.03077.x>
- Bakker, J. P. (1989). Nature Management by Grazing and Cutting. On the ecological significance of grazing and cutting regimes applied to restore former species-rich grassland communities in the Netherlands. Dordrecht: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-2255-6>
- Bedoya-Patiño, J. G., Estévez-Varón, J. V., & Castaño-Villa, G. J. (2010). Banco de semillas del suelo y su papel en la recuperación de los bosques tropicales. *Boletín Científico del Centro de Museos*, 14(2), 77-91.
- Besnier, R. F. (1989). *Semillas: Biología y tecnología*. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Cantillo, H. E. E., Castiblanco, G. V., Pinilla, M., D. F., & Alvarado, C. L. (2008). Caracterización y valoración del potencial de regeneración del banco de semillas germinable de la reserva forestal Cárpatos (Guasca, Cundinamarca). *Colombia Forestal*, 11(1), 45-70.
- Cubiña, A., & Aide, T. M. (2001). The effect of distance from forest edge on seed rain and soil seed bank in a tropical pasture. *Biotropica*, 33(2), 260-267. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2001.tb00177.x>
- Dalling, J. W., & Hubbell S. P. (2002). Seed size, growth rate and gap microsite conditions as determinants of recruitment success for pioneer species. *Journal of Ecology*, 90(3), 557-568. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2002.00695.x>
- De Souza Maia, M., Maia, F., & Pérez, M. (2006). Bancos de semillas en el suelo. *AgriScientia*, 23(1), 33-44. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v23.n1.2689>
- Fenner, M., & Thompson, K. (2005). *The ecology of seeds*. Cambridge: Cambridge University Press.

- García. (1987). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. (4a ed.). México: Talleres de offset Larios.
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible*. Costa Rica: CATIE.
- Godoy, G., Vega, J., & Pitty, A. (1995). El tipo de labranza afecta la flora y la distribución vertical del banco de semillas de malezas. *CEIBA*, 36(2), 217-229.
- Gordón, E. (2000). Dinámica de la vegetación y del banco de semillas en un humedal herbáceo lacustrino (Venezuela). *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 25-42.
- Granados, S. D., & López, R. G. F. (2001). *Ecología de poblaciones vegetales*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Granados, S. D., López, R. G., & Gama, F. (2001). *Interacciones ecológicas de las plantas*. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Gutiérrez, C. J. G., Aguilera, G. L. I., & González, E. C. E. (2008). Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia*, 15(46), 51-87.
- Haretche, F., & Rodríguez, C. (2006). Banco de semillas de un pastizal uruguayo bajo diferentes condiciones de pastoreo. *Ecología Austral*, 16, 105-113.
- Layne-Garsaball, J. A., & Méndez-Natera J. R. (2007). Efectos de extractos acuosos de la maleza *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031. *Revista Peruana de Biología*, 14(1), 055-060.
- León, R., & Agüero, R. (2001). Efectos de tipos de labranza sobre la población de malezas en caña de azúcar. *Agronomía Mesoamericana*, 12(1), 71-78.
- López Báez, W., Reynoso Santos, R., López Martínez, J., Camas Gómez, R., & Tasistro, A. (2018). Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Frailesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 65-79. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v9i1.848>
- López Báez, W., Reynoso Santos, R., López Martínez, J., Villar Sánchez, B., Camas Gómez, R., & García Santiago, J. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 897-910. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- López-Báez W., Reynoso-Santos R., Camas Gómez R., & Santos-Clemente E. C. (2019). Caracterización de los suelos cultivados con café (*Coffea* L) en la Sierra Madre de Chiapas, México. *Agroproductividad*, 12(1), 53-58. <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1338>
- Martínez, F. B., Guevara, F., Aguilar, C. E., Pinto, R., La O, M. A., Rodríguez, L. A., & Aryal, D. R. (2020). Energy and economic efficiency of maize agroecosystem under three management strategies in the Frailesca, Chiapas (México). *Agriculture*, 10(3), 81. <https://doi.org/10.3390/agriculture10030081>
- Moscoso, M. L. B., & Diez, G. M. C. (2005). Banco de semillas en un bosque de roble de la Cordillera Central Colombiana. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(2), 2931-2943.
- Pérez, E. M., & Santiago, E. T. (2001). Dinámica estacional del banco de semillas en una sabana de los Llanos Centro Orientales de Venezuela. *Biotrópica*, 33(3), 435-446. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2001.tb00197.x>
- Piudo, M. J., & Caveró, R. Y. (2005). Banco de semillas: Comparación de metodologías de extracción, de densidad y de profundidad de muestreo. *Publicaciones de Biología, Universidad de Navarra, Serie Botánica*, 16, 71-85.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 31(8), 583-890.
- Price, M. V., & Joyner, J. W. (1997). What resources are available to desert granivores: seed rain and soil seed bank? *Ecology*, 78(3), 764-773. <https://doi.org/10.2307/2266056>
- Sans, F. X. (2007). La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas*, 16(1), 44-49. <https://doi.org/10.7818/re.2014.16-1.00>

- Shannon, C. E., & Wiener, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Illinois: University Illinois Press, Urbana.
- Sørensen, T. (1957). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons». *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, 5(4), 1-34.
- Thompson, K., & Grime, J.P. (1979). Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology*, 67(3), 893-921. <https://doi.org/10.2307/2259220>
- Valbuena, I., & Trabaud, L. (2001). Contribution of the soil seed bank to post-fire recovery of a heathland. *Plant Ecology*, 152, 175-183. <https://doi.org/10.1023/A:1011419721307>
- Walck, J., Baskin, J., Baskin, C., & Hidayati, S. (2005). Defining transient and persistent seed banks in species with pronounced seasonal dormancy and germination patterns. *Seed Science Research*, 15(3), 189-196. <https://doi.org/10.1079/SSR2005209>
- Yerena Yamallel, J. I., Jiménez Pérez, J., Alanís Rodríguez, E., Aguirre Calderón, O. A., González Tagle, M. A., & Treviño Garza, E. J. (2014). Dinámica de la captura de carbono en pastizales abandonados del noreste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1), 113-121.
- Yu, S., Sternberg, M., Kutiel, P., & Chen, H. (2007). Seed mass, shape, and persistence in the soil seed bank of Israeli coastal sand dune flora. *Evolutionary Ecology Research*, 9, 325-340.

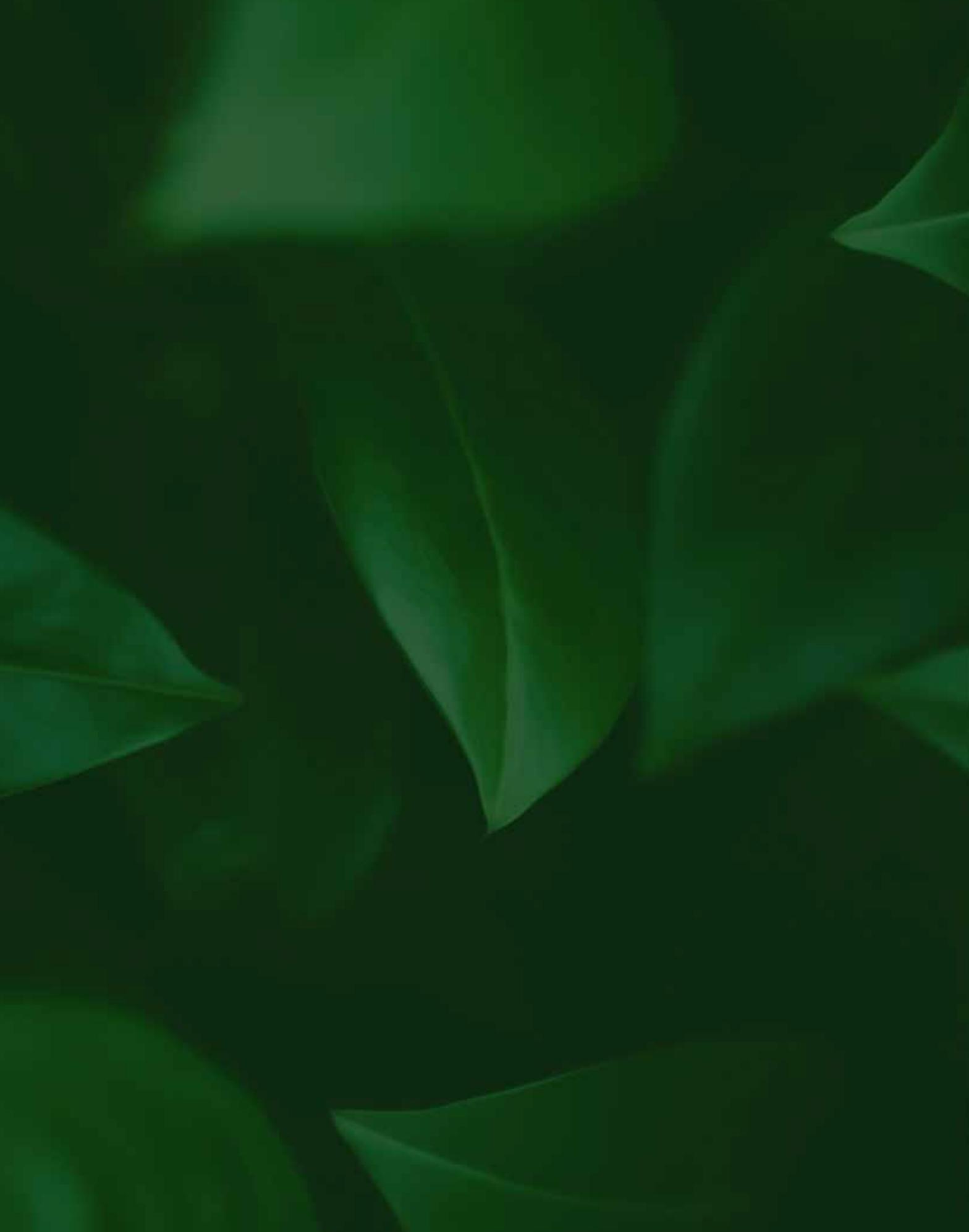
Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador

Jerónimo Leiton y Av. La Gasca s/n. Ciudadela Universitaria. 170521 Quito, Ecuador

Telf: +593 2 2556 885 / **Email:** info.fag@uce.edu.ec

Correspondencia: Para suscripciones, canje, donación y correspondencia dirigirse al Dr. Xavier Lastra,
Director Editorial "Siembra", Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Dirección de correo electrónico: siembra.fag@uce.edu.ec



siembra.fag@uce.edu.ec

Diseñado e Impreso en:

