

e-ISSN 2477-8982
p-ISSN 1390-6895

 **LA TÉCNICA**
Revista de las Agrociencias



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
MANABÍ
Fundada en 1952

13
VOLUMEN
Núm. 1



ENERO - JUNIO 2023

ECUADOR

Autoridades

 Luis Santiago Quiroz Fernández, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Rector

 Mara Jacqueline Molina de Lozano, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Vicerrectora Académica

 Alex Alberto Dueñas Rivadeneira, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Director del Instituto de Investigación

Equipo editorial

 Joan Manuel Rodríguez Díaz, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Director de la revista

 Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador


Editora General

Editores de sección

 Ana María Santana Piñeros, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Acuicultura y pesca

 Liudmila Shkiliova, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agricultura y silvicultura

 Juan Carlos Vélez Chica, MSc.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agroeconomía

 Wagner Antonio Gorozabel Muñoz, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agroindustria

 Mirna Cecilia Oviedo, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Ciencias de la vida

 Yulien Fernández Romay, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Producción y salud animal

 Henry Pacheco, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Protección del ambiente



Cuerpo editorial

- iD** Juan Manuel Vera, Blgo.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Acuicultura y pesca
- iD** Jesús Díez Dapeña, PhD.
Universidad de Córdoba, España
Acuicultura y pesca
- iD** Francisco López Lozano, PhD.
Universidad de Córdoba, España
Acuicultura y pesca
- iD** Osvaldo Alberto Fosado Téllez, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Carlos Alfredo Salas Macías, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Rolando León Aguilar, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Freddy Zambrano Gavilanes, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Lenin Oswaldo Vera Montenegro, PhD.
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, Ecuador
Agroeconomía
- iD** Frank Intriago Flor, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agroeconomía
- iD** Ulbio Eduardo Alcívar Cedeño, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agroindustria
- iD** Yordanis Gerardo Puerta de Armas, PhD.
Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, México
Protección del ambiente
- iD** Mario Javier Bonilla Loor, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agroindustria
- iD** José Guerrero Casado, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Ciencias de la vida
- iD** Gerardo José Cuenca Nevárez, Mg.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Ciencias de la vida
- iD** Edis Macías Rodríguez, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Producción y salud animal
- iD** Marina Dalila Zambrano Aguayo, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Producción y salud animal
- iD** Sixto Leonardo Reyna Gallegos, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Ciencias de la vida
- iD** William Méndez Mata, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Protección del ambiente
- iD** Juan Luis Cedeño Pozo, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Producción y salud animal

Consejo editorial

- iD** Rouverson Pereira da Silva, PhD.
Universidad Estatal Paulista de Brasil, Brasil
- iD** Wilson Orlando Pozo Guerrero, PhD.
Universidad de Guayaquil, Ecuador
- iD** Débora Simón Baile, PhD.
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador
- iD** Wilmer Sepúlveda, PhD.
Grupo de Investigación IPER, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Colombia
- iD** Jorge Simón Pérez de Corcho Fuentes, PhD.
Universidad Central del Ecuador, Ecuador
- iD** Ángel Guzmán Cedeño, PhD.
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López", Ecuador
- iD** Mayra Beatriz Gómez Patiño, PhD.
Instituto Politécnico Nacional, Ecuador
- iD** Manuel Dagoberto Acevedo Pérez, PhD.
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba
- iD** Luis Ramón Bravo Sánchez, PhD.
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
- iD** Alexander Díaz Arias, PhD.
Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- iD** Ciolys Beatriz Colmenares de Ortega, PhD.
Departamento de Estadística, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela
- iD** Tomás Díaz Valdés, PhD.
Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, México

- iD** María Herminia Cornejo, PhD.
Universidad Estatal de la Península de Santa Elena, Ecuador
- iD** Pedro Antonio Valdés Hernández, PhD.
Universidad Agraria de La Habana, Cuba
- iD** Eunice Pérez Sánchez, PhD.
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México
- iD** Matteo Radice, PhD.
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
- iD** Juan Antonio Reyes Agüero, PhD.
Instituto de Investigación de Zonas Desérticas (IIZD), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
- iD** Ely Fernando Sacón Vera, PhD.
Escuela Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador
- iD** Ángel Villegas Monter, PhD.
Profesor-Investigador Titular, Programa de Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Estado de México, México
- iD** Cecilia Beatriz Peña Valdivia, PhD.
Profesora-Investigadora Emérita, Programa de Posgrado en Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Estado de México, México
- iD** Gretty Rosario Ettiene Rojas, PhD.
Departamento de Química, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela
- iD** Yaillet Alberbas, PhD.
Docente-Investigadora, Universidad Central de las Villas, Cuba
- iD** María Andrade Rodríguez, PhD.
Profesora-Investigadora, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México
- iD** Lourdes Casas Cardoso, PhD.
Docente-Investigadora, Universidad de Cádiz, Andalucía, España
- iD** Darisol Lisbeth Pacheco Rivera, PhD.
Docente-Investigadora, Departamento de Botánica, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia
- iD** Maria da Conceição Branco da Silva, PhD.
LAQV-REQUIMTE/Departamento de Ciências Químicas, Faculdade de Farmácia, Universidade Do Porto, R. Jorge Viterbo Ferreira, 228, 4050-313, Porto, Portugal
- iD** Célia Amorim, PhD.
LAQV-REQUIMTE/Departamento de Ciências Químicas, Faculdade de Farmácia, Universidade Do Porto, R. Jorge Viterbo Ferreira, 228, 4050-313, Porto, Portugal
- iD** María Dolores Saquete, PhD.
Instituto Universitario de Ingeniería de los Procesos Químicos, Universidad de Alicante, Alicante, E-03080, Spain
- iD** Nuria Boluda-Botella, PhD.
Instituto Universitario de Ingeniería de los Procesos Químicos, Universidad de Alicante, Alicante, E-03080, Spain
- iD** Rafael Luque, PhD.
Department of Chemistry, College of Science, King Saud University, P.O. Box 2455, Riyadh, Saudi Arabia
- iD** Alina M. Balu, PhD.
Departamento de Química Orgánica, Universidad de Córdoba, Edificio Marie Curie (C-3), Campus de Rabanales, Ctra. Nnal. IV-A, Km 396, E14014, Córdoba, Spain
- iD** Luis Ernesto Arteaga, PhD.
Laboratory of Thermal and Catalytic Processes (LPTC), Wood Engineering Department, Faculty of Engineering, Universidad del Bio-Bio, Concepción 4030000, Chile
- iD** Daniella Carla Napoleão, PhD.
Chemical Engineering Department, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil
- iD** Jesús Rafael Salazar Miquilena, MSc.
Universidad Central de Venezuela
- iD** Santiago Miguel Ulloa Cortázar, PhD
Universidad de las fuerzas armadas, ESPE, Ecuador
- iD** Aán Guillermo Ramírez García, PhD
Universidad Autónoma Chapingo, Mexico
- iD** Jorge Ortega Alcalá, PhD
Universidad de Zulia, Venezuela
- iD** Marta Maria Menezes Bezerra Duarte, PhD
Chemical Engineering Department, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil

Equipo Técnico

iD Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, PhD.
Instituto de Investigación, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Editor Técnico

iD Víctor Andrés López Tuarez, Ing.
Departamento de TICs, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Editor Técnico/Web Master OJS

iD Orly Bermello Zamora, Ing.
Dirección de Comunicaciones, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Diseño/Diagramación



ÍNDICE

ACUICULTURA Y PESCA

Análisis de la captura de *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848) en Ecuador durante el 2019

Analysis of the capture of *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848) in Ecuador during 2019

Jurgen Suárez-Torres, Mercy Preciado, Gabriela Vergara

1-8

AGRICULTURA Y SILVICULTURA

Técnicas de manejo de enfermedades poscosecha en frutos de cítricos

Post-harvest disease management techniques in citrus fruits

Cristhian Jesús Chávez Caicedo, Jessenia Rosanna Castro Olaya, Adriana del Carmen Celi Soto, Dorys Terezhina Chirinos Torres

9-17

Comportamiento de insectos exudívoros en plantas del estado Zulia, Venezuela

Behavior of exudivorous insects on plants in Zulia State, Venezuela

Antonio Vera, Maritza Martínez, Eloy León, Mauricio García, Rafael Maldonado

18-23

Citoquininas en el crecimiento de cultivares de plátano *Musa* AAB en el primer ciclo de producción

Cytokinins in the growth of *Musa* AAB banana cultivars in the first production cycle

Leonardo Avellán-Vásquez, Silvia Alcívar-Vite, Angélica Pazmiño-Anzules, José Randy Cedeño-Zambrano

24-29

Comparación de los métodos doble anillo y pozo invertido en la determinación de conductividad hidráulica

Comparison of the double ring and inverted well methods in the determination of hydraulic conductivity

Freddy Carlos Gavilánez Luna, Luis Saúl San Martín Larrea

30-36

Evaluación de *Bacillus amyloliquefaciens* en el control de *Botrytis cinerea* en *Rosa* sp.

Evaluation of *Bacillus amyloliquefaciens* in the control of *Botrytis cinerea* in *Rosa* sp.

Sandra Verónica Campués Cholca, Lucía del Rocío Vásquez Hernández, Telmo Fernando Basantes Vizcaíno, Galo Jacinto Pabón Garcés

37-46

AGROINDUSTRIA

Elaboración de un preparado hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir de Ilex guayusa Loes.

Preparation of a water-soluble preparation in the form of a powdery solid from Ilex guayusa Loes.

Sting Brayan Luna-Fox, Reinaldo Rigoberto Álvarez Castro, Nelly Jazmín Peñafiel-Bonilla, Matteo Radice, Laura Scalvenzi, Yasiel Arteaga-Crespo, Orestes Darío López Hernández, Luis Ramón Bravo-Sánchez

47-56

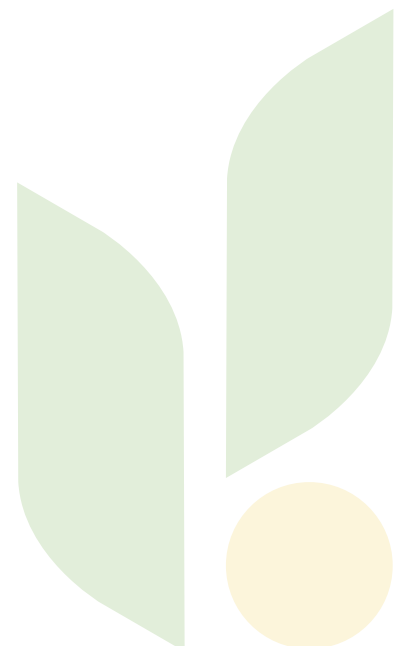
PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL

Identificación de garrapatas (Acari: Ixodidae) en sistemas de producción bovina doble propósito del Cantón Chone, Provincia de Manabí, Ecuador

Ticks (Acari: Ixodidae) identification in dual purpose cattle production systems from Chone Canton, Manabí Province, Ecuador

María Lugo Almarza, Jhoana Zambrano Aveiga, Carolina Fonseca Restrepo, Francisco Angulo Cubillán

57-60





Análisis de la captura de *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848) en Ecuador durante el 2019

Analysis of the capture of *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848) in Ecuador during 2019

Autores

✉ ¹Jurgen Suárez-Torres

✉ ²Mercy Preciado

✉ ^{1*}Gabriela Vergara

¹Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Avenida Juan Tanca Marengo y Avenida Raúl Gomez Lince, Guayaquil, Ecuador.

²Instituto Nacional de Investigaciones en Acuicultura y Pesca, Letamendi 102 y la Ría, Guayaquil, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Suárez-Torres, J., Preciado M. y Vergara G. (2023). Análisis de la captura de *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848) en Ecuador durante el 2019. *La Técnica*, 13(1), 1-8. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5289>

Recibido: Noviembre 5, 2022

Aceptado: Diciembre 20, 2022

Publicado: Diciembre 27, 2022

Resumen

La merluza (*Merluccius gayi*) es un recurso de importancia económica sometido a una fuerte presión pesquera, en la cual aún existen vacíos sobre su estado de utilización. Se analizó las capturas de la merluza (*M. gayi*) en la costa ecuatoriana durante 2019, con base en los reportes de observadores pesqueros y bitácoras de pesca obtenidos del Instituto Nacional de Investigaciones en Acuicultura y Pesca. La captura de los individuos fue realizada con malla de arrastre de 3,5 pulgadas de luz de malla, se determinó la cantidad de individuos capturados y la estructura de tallas. Se encontró que, la temporada de pesca industrial de merluza se desarrolló de enero a agosto, realizando 18.071 viajes, con una captura total de 2.133.985,40 kg, el puerto que registró el mayor número de desembarques fue Santa Rosa. Adicionalmente, la operatividad máxima de la flota merluquera se observó entre febrero y abril, meses donde se registraron los valores más altos de captura por unidad de esfuerzo (CPUE), siendo febrero cuando se obtuvo la máxima captura (46,73%). La estructura de tallas de los individuos capturados osciló entre 19 y 75 cm de longitud, con mayor incidencia en los intervalos 33 a 38 cm de largo (50,86%) y 27 a 32 cm de largo (29,17%), la talla promedio fue de $34,69 \pm 4,65$ cm. El 21,83% de la captura total estuvo constituida por tallas debajo de la L50 (32 cm). No se evidenciaron variaciones en la estructura de tallas en función de la profundidad, siendo 36,00 cm la talla con mayor captura, a profundidades entre 50 a 100 y 150 a 200 m. Las mayores capturas se realizaron en profundidades menores o iguales a 100 m durante la franja horaria de las 12:00 a 16:00 horas.

Palabras clave: CPUE; merluza; pesquería industrial; puerto de Santa Rosa.

Abstract

Hake (*Merluccius gayi*) is an economically important resource that is subject to heavy fishing pressure, and although it is a widely studied fishery, there are still gaps in its utilization status. We analyzed the catches of hake (*M. gayi*) on the Ecuadorian coast during 2019, based on the reports of fishery observers and fishing logs obtained from the National Institute of Aquaculture and Fisheries Research (Instituto Nacional de Investigaciones en Acuicultura y Pesca). The capture of individuals was carried out with trawl mesh of 3.5 inches mesh size, the number of individuals caught and the size structure were determined. Among the main results, it was found that the industrial hake fishing season lasted from January to August, with 18,071 trips, with a total catch of 2,133,985.40 kg, where the port that recorded the highest number of landings was Santa Rosa. Additionally, the maximum operability of the whiting fleet was observed between February and April, months where the highest values of catch per unit of effort (CPUE) were recorded, with February being the month with the highest catch (46.73%). The size structure of the individuals caught ranged from 19 to 75 cm in length, with the greatest incidence in the ranges 33 to 38 cm in length (50.86%) and 27 to 32 cm in length (29.17%), the average length was 34.69 ± 4.65 cm. It should be noted that 21.83% of the total catch consisted of sizes below L50 (32 cm). There were no variations in the size structure as a function of depth, with 36.00 cm being the size with the largest catch, mainly at depths between 50 and 100 and 150 and 200 m. The largest catches were made at depths less than or equal to 100 m during the 12:00 to 16:00 hours.

Keywords: CPUE; south Pacific hake; industrial fisheries; Santa Rosa port.



Introducción

Las aguas que rodean al territorio ecuatoriano son megadiversas, debido a las altas concentraciones de nutrientes, producto de las interacciones de diferentes masas y corrientes de agua (Stevenson, 1981); características que favorecen a la producción primaria y que, consecuentemente, permiten el desarrollo de una variedad de especies, entre las cuales destacan las de importancia comercial. En este contexto, la familia Merlucciidae es objeto de una alta explotación pesquera, especialmente a nivel industrial, donde las especies más importantes son *Merluccius gayi*, *M. australis*, *M. hubbsi*, entre otras, las cuales son capturadas en el Océano Pacífico (Lloris et al., 2003; Coello et al., 2017; Pilay y Torres, 2018).

A nivel nacional, el Golfo de Guayaquil es un vasto ambiente costero donde se concentra la mayor actividad pesquera de Ecuador (Paredes, 2000), siendo *M. gayi* una de las especies con mayor aprovechamiento y comercialización (Tello, 2014; Coello et al., 2017; Pilay y Torres, 2018). Esta especie es batidemersal (García et al., 2014), es decir que, habita en un intervalo vertical entre los 50 y 500 m de profundidad y su distribución se restringe al Pacífico sur, desde el Golfo de Guayaquil hasta el sur de Chile (Galleguillos et al., 1999; Wosnitza-Mendo et al., 2009). No obstante, Lloret-Lloret et al. (2020) han señalado el uso de modelos de predicción donde se consideren variables ambientales, así como también la profundidad o la temperatura del agua como necesarias para predecir con mayor propiedad la distribución de las presas. A nivel específico, la talla promedio para sexos combinados (machos y hembras) se ha determinado en 36,2 cm; sin embargo, las hembras alcanzan mayores tallas que los machos, donde las tallas mínimas y máximas para los machos se encuentran entre 26,0 cm y 48,0 cm de largo, con un promedio de 34,9 cm. Mientras que, las tallas de las hembras oscilan entre 28,0 cm y 72,0 cm de largo, con un promedio de 38,3 cm (Toledo, 2017).

La talla de madurez sexual (L50) es un parámetro de gran importancia en términos de regulación pesquera y conservación de los recursos; sin embargo, en *M. gayi* existen amplias discrepancias, estableciendo tallas de madurez sexual entre 31 y 38,9 cm (Balbontín y Fischer, 1981; Alarcón y Arancibia, 1993; Cerna y Oyarzún, 1998; Tascheri et al., 2005; Martínez-Ortiz et al., 2013; Toledo, 2017; Pilay y Torres, 2018), lo que denota la importancia de realizar estudios de orden pesquero y biológico permanentes.

Con relación a su ecología, esta especie se caracteriza por ser carnívora, alimentándose principalmente de peces, crustáceos y moluscos, y en ocasiones, puede mostrar comportamiento caníbal (Alamo y Espinoza, 1997; Blaskovic y Espinoza, 2011; Coello et al., 2016). Pazmiño (2019) mencionó que la dieta de *M. gayi* en Ecuador estuvo constituida por 13 ítems presas, siendo

los principales grupos los malacostracos, peces teleósteos y cefalópodos.

Con referencia a su explotación pesquera, esta inició de manera industrial en abril de 2013 como alternativa a la prohibición de la pesca de arrastre (Pilay y Torres, 2018), para la cual existen regulaciones en términos de talla mínima de captura y períodos de veda reproductiva. Además, hay información acerca de los principales puertos de desembarque, siendo estos Posorja (Guayas), Anconcito (Santa Elena) y Puerto de Bolívar (El Oro); aunque, no se ha definido el puerto de mayor flujo. Consecuentemente, tomando como referencia su importancia a nivel socioeconómico, fue necesario definir la captura del recurso merluza (*M. gayi*) en la costa ecuatoriana durante el periodo 2019, con el objetivo de conocer el estado de la pesquería, y que sirva de base para el diseño de estrategias de conservación y lineamientos pesqueros, determinando posibles zonas de desove, y sitios de mayor incidencia de adultos o juveniles.

Metodología

El estudio se realizó con datos proporcionados por el Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP), con base en los reportes de observadores a bordo y bitácoras de pesca procedentes de la flota industrial polivalente (camarón-merluza) en la costa ecuatoriana, realizados de enero a agosto de 2019, e incluyó información como: coordenadas geográficas del sitio de pesca, tipo de red, profundidad máxima y mínima, cantidad de individuos capturados con malla de arrastre (3,5 pulgadas de luz de malla), longitud total y peso. Cabe indicar que, la captura de los individuos se realizó con una malla de arrastre. Con esta información se elaboraron histogramas de frecuencia para determinar la estructura de tallas (longitud en cm) capturadas de *M. gayi*, aplicando la regla de Sturges para establecer el intervalo de clase talla.

Además, se calculó la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), donde la unidad de esfuerzo fue el tiempo de arrastre de la faena de pesca. Los cálculos se realizaron mediante la siguiente fórmula:

$$CPUE = \frac{B}{T}$$

Donde, la CPUE fue la captura por unidad de esfuerzo de la especie, expresada en $t \cdot h^{-1}$; B fue el peso en toneladas de la especie objetivo para un lance y T fue el tiempo de arrastre en horas (Quinn y Deriso, 1999). Además, se analizaron los números de lances realizados por las embarcaciones, teniendo como lances efectivos 3.252 y lances nulos 896.

Resultados y discusión

Las faenas de pesca durante el 2019 se desarrollaron únicamente de enero a agosto, con una captura de 756.425 kg de merluza. La mayor captura se realizó en los meses de febrero (48,42%)

Captura de *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848) en Ecuador

y abril (23,24%); mientras que, la menor captura se obtuvo en junio (0,83%); sin embargo, la mayoría de los meses mostraron porcentajes inferiores al 10,00% (figura 1).

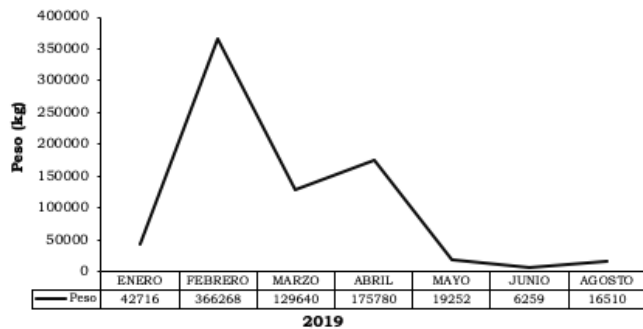


Figura 1. Captura mensual de *Merluccius gayi* en la costa ecuatoriana durante 2019.

Los reportes de pesca indicaron que, la captura total se estimó en 1.161.637 kg, de los cuales 82.962 kg correspondieron a fauna acompañante y 322.250 kg fueron considerados descarte. Sin embargo, al considerar la cantidad de individuos capturados, la merluza registró un total de 2.134.533 individuos; mientras que, la fauna acompañante capturada estuvo constituida por 1.097.234 individuos, lo que representó una proporción de 1,95:1.

En este sentido, de acuerdo con los reportes y bitácoras de pesca analizados se evidenció que, la temporada de pesca de merluza en Ecuador continental se desarrolló de enero a agosto, aunque, la legislación vigente estipuló que, la época de veda reproductiva correspondió entre el 15 de septiembre hasta el 31 de octubre (ACUERDO Nro. MAP-SRP-2018-0071-A). Las capturas mostraron amplias variaciones a nivel mensual; sin embargo, en febrero se registró el máximo de capturas con el 46,73%; mientras que, el mínimo se reportó en junio, con el 1,01%.

La disminución en capturas desde marzo hasta agosto podría indicar que la población se encontraba iniciando su proceso de maduración previo al periodo de máxima actividad reproductiva establecido de septiembre a diciembre y un incremento del índice gonadosomático en septiembre y octubre (Coello et al., 2017; Pilay y Torres, 2018). Ello estaría relacionado con una menor actividad alimenticia (Ballón et al., 2008), lo que implicó un menor desplazamiento del recurso en la columna de agua en búsqueda de alimento, y consecuentemente, una disminución de interacción con el arte de pesca. Sin embargo, hubo la posibilidad de que la especie realizó migraciones tróficas y de reproducción, como se ha observado en otras especies del mismo género (Angelescu et al., 1987; Macchi et al., 2007; Fernández-Peralta, 2011).

Con relación al intervalo de tallas se observó que, los individuos capturados presentaron longitudes que oscilaron entre 19,00 y 75,00 cm de largo, con una talla media de captura de $34,69 \pm 4,65$ cm, estando la mayor captura en el intervalo de 33,00 a 39,00 cm de largo, con un porcentaje de 54,96%, seguido del rango 26,00 a 32,00 cm de largo representando el 29,90% (figura 2). Cabe destacar

que, únicamente el 1,56% de la captura total se encontró en tallas superiores a los 47,00 cm. Tomando en consideración que, la talla de madurez sexual establecida para *M. gayi* fue de 32,00 cm, se determinó que, gran parte de la captura se encontraba sexualmente madura (78,17%); sin embargo, hubo incidencia de juveniles en la población capturada (21,83%).

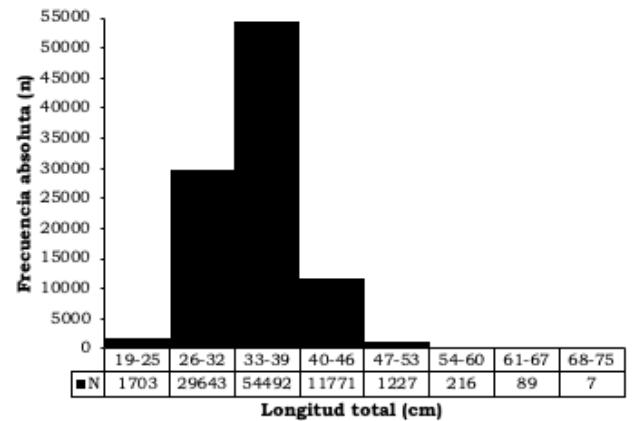


Figura 2. Histograma de tallas de *Merluccius gayi* capturadas por la flota merlucera en la costa ecuatoriana durante el 2019.

El peso de la pesca objetivo fue mayor a la fauna acompañante; aunque, en número de individuos la proporción fue similar, lo cual fue producto de la baja selectividad de las redes de arrastre (Kelleher, 2004; Feekings et al., 2012), en conjunto con una mayor actividad extractiva caracterizada por un incremento de horas de arrastre y números de lances hasta conseguir una pesca con valor comercial. De tal manera, que el esfuerzo pesquero estuvo relacionado con la disponibilidad del recurso y, en consecuencia, cada embarcación debió cumplir con una cuota de pesca para que los viajes fueran rentables y probablemente continuaran realizando lances hasta cumplirla, lo cual influyó directamente en la proporción de fauna acompañante capturada. Cabe destacar que, entre los descartes usualmente se encontraron individuos con tallas inferiores a la mínima de captura y organismos de importancia ecológica (Quijije, 2018), lo que, tuvo influencia sobre la sostenibilidad del recurso y de la estructura comunitaria marina.

De acuerdo con la investigación realizada por Pérez y Castañeda (2018), las tallas de los individuos capturados de *M. gayi* estuvieron comprendidas entre 12,00 y 48,00 cm de largo; mientras que, en este estudio se registró un intervalo de talla entre 19,00 y 75,00 cm de longitud. La diferencia en los intervalos de tallas observadas entre ambos estudios podría deberse a que, la flota merlucera en Ecuador empleó redes de arrastre de 15,24 mm de ojo de malla, lo que permitió el escape de individuos de tallas pequeñas. No obstante, la estructura de tallas mostró una disminución de capturas entre los 57 y 75 cm de largo, lo que podría ser resultado de la presión pesquera ejercida sobre este recurso, aunque es importante considerar que, la pesquería dirigida específicamente a merluza se ha establecido y tecnificado recientemente (Pilay y Torres, 2018).

Adicionalmente, aun ante la madurez sexual considerada, que fue de 32 cm (Martínez-Ortiz et al., 2013), hubo diferentes tallas establecidas, tal fue el caso señalado por Cerna y Oyarzún (1998) y Toledo (2017), quienes establecieron una talla media de madurez sexual superior a 38 cm, lo que implicó que, la mayor incidencia de captura se dio en individuos juveniles con el 82,8%. En este contexto, Cerna (2011) demostró la madurez temprana de esta especie (talla y edad), lo cual fue característico de pesquerías altamente explotadas, debido a que la presión pesquera se ejerció típicamente sobre la población joven; otro factor de importancia fue el efecto de los factores endógenos (competencia intraespecífica, canibalismo) y exógenos sobre el recurso, siendo necesarios más estudios sobre los parámetros ecológicos que permitan una mejor evaluación de los stocks y el manejo adecuado del recurso.

Entre los puertos autorizados para el desembarque de las embarcaciones merluceras se encontraron Puerto Bolívar, El Palmar, Posorja, Anconcito, Puerto López, y Manta, los cuales estuvieron distribuidos en las provincias de El Oro, Guayas, Santa Elena y Manabí. Cabe destacar que, la provincia de Santa Elena es la que cuenta con más puertos operativos y autorizados, con un total de tres. Sin embargo, mediante autorizaciones emitidas por la Autoridad Pesquera de Ecuador se realizaron desembarques de emergencia en los puertos de Guayaquil, La Libertad, Santa Rosa de Salinas, Puerto El Morro y General Villamil Playas, concentrándose estos en la Provincia del Guayas. Con relación a los desembarques, se registró que, el 42,00% de las capturas fueron desembarcadas en el puerto de Santa Rosa, seguido de Anconcito con un 30,00%, por otra parte, el menor porcentaje de desembarque se realizó en Puerto López, con el 6,00% (figura 3).

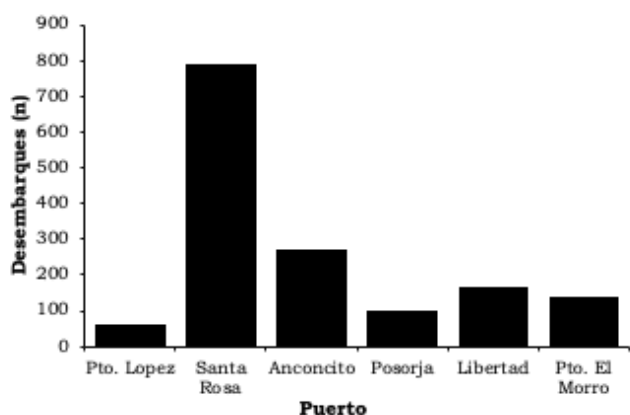


Figura 3. Número de desembarques de la flota merlucera por puertos de desembarque en la costa ecuatoriana durante el 2019.

El mayor puerto de desembarque se estableció en Santa Rosa con un 42,00% del total, probablemente esto se debió a su cercanía al golfo de Guayaquil, área que fue la principal zona de operación de la flota merlucera. Adicionalmente, este puerto ha sido tradicionalmente considerado como la principal caleta pesquera tanto artesanal como industrial (Álvares et al., 2019), y cuenta con facilidades de transporte y comercialización de los recursos capturados. Es importante recalcar que, aun cuando fue el puerto de mayor desembarque, no cuenta con la infraestructura y manejo sanitario óptimo, lo que hace menester el mejoramiento y mantenimiento de las instalaciones y recursos del puerto, así como, la capacitación permanente a los pescadores y comerciantes sobre las prácticas de manejo de los recursos pesqueros desde su desembarque hasta su comercialización, con el propósito de asegurar la calidad e inocuidad de los productos comercializados, y además, mitigar los posibles impactos ambientales de las actividades que allí se desarrollan.

La flota merlucera en Ecuador continental estuvo constituida por 25 embarcaciones de tipo tangoneras, las cuales, según los datos analizados, realizaron arrastres de hasta 5 horas. A nivel de capturas y desembarques, las embarcaciones mostraron amplias variaciones entre sí; en este contexto, las embarcaciones Don Marcelo y Jorge Luis fueron las que realizaron la mayor cantidad de desembarques, estableciendo sus rutas principalmente en la zona del Golfo de Guayaquil. En concordancia con lo expuesto anteriormente, el puerto de Santa Rosa fue la principal zona de desembarque de la flota merlucera (tabla 1).

La temporada de captura en Ecuador continental en el 2019 se desarrolló desde enero hasta agosto, donde se reportó un total 18.071 viajes, durante los cuales se ejecutaron 3.252 lances efectivos y 896 lances nulos (considerados nulos cuando la red se enfangaba o se enredaba). El mes de febrero registró la mayor cantidad de viajes, lo cual coincidió con la mayor captura de merluza; mientras que, junio representó el mes con la menor cantidad de viajes realizados por la flota merlucera (figura 4). Cabe destacar que, aun cuando en mayo se registró un total de 210 viajes, la captura se consideró baja.

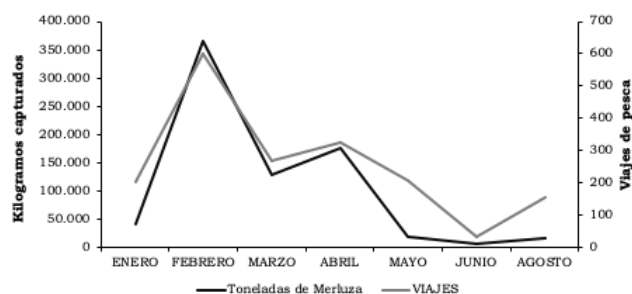


Figura 4. Kilogramos capturados y número de viajes mensuales de la flota merlucera en Ecuador durante el 2019.

Tabla 1. Lista de las embarcaciones y número de desembarques efectuados por puerto de la flota merlucera operando en la costa de Ecuador durante 2019.

Embarcación	Puerto de desembarque						Total
	Anconcito	Puerto López	Santa Rosa	Posorja	Libertad	Puerto Morro	
Ana Julia	25		25			2	52
Bismark	15	2		5	20		42
Carina			35				35
Cazela L			15				15
Cesar Paul		25				6	31
Ciudad de Quito	1		15				16
Don Manuel	2		39		12		53
Don Marcelo	45		44		28	17	134
Estrella de Mar		4	95				99
Géminis	36		6		30	22	94
Gloria Elena			15				15
Guadalupe	25			15	15		55
Jorge Luis	25		59	22			106
José Carlos	6	8			22	28	64
José Manuel	4		74		1	22	101
María Lavinia	2			19			21
Miguel Antonio			45		3		48
Neptuno	34	15		17	6	14	86
Pacífico			88		5		93
Raysa	26		26	22			74
Rosa Steffanía	2	8	68		11		89
San Pablo	8		53	1		16	78
Willy First	10		38				48
Elena	7		20		11		38
Ivonne		2	29			12	43
TOTAL	273	64	789	101	164	139	1.530

La captura por viaje varió mensualmente, con capturas de valores entre 6,00 y 42,00 t por viaje, donde, en concordancia con lo antes expuesto, febrero y abril fueron los meses de mayor captura. La máxima operatividad de la flota se registró de febrero a abril, con 25 embarcaciones realizando faenas de pesca; mientras que, este número se redujo a 10 en el mes de junio.

Los lances validos tuvieron una duración como mínimo de 00:15 h y como máximo 5:49 h; aunque, la mayoría de las embarcaciones realizaron arrastres de 1 a 2 h, lo que coincidió

con una mayor captura (figura 5). En el periodo analizado se registró como un lance efectivo y como máximo 118 lances por viaje; determinando un promedio de 12,9 lances por viaje. La captura promedio de merluza durante los meses de pesca estuvo entre 0,8 y 2,6 t por lance por día, siendo el promedio de captura mensual de 0,9 t.

Con relación con las horas en las que se realizaron las faenas de pesca, se observaron mayores capturas entre las 08:00 y las 16:00, obteniéndose durante este periodo de tiempo una captura

entre 900.000 a 1.555.530 kg; mientras que, el rendimiento desde las 17:00 hasta las 00:00 disminuyó entre 210.687 y 242.584 kg. Cabe destacar que, el mayor porcentaje de capturas se realizó entre las 12:00 y las 14:00. En referencia a la estructura de tallas, esta osciló entre 33 y 36 cm de largo en todas las profundidades (tabla 2).

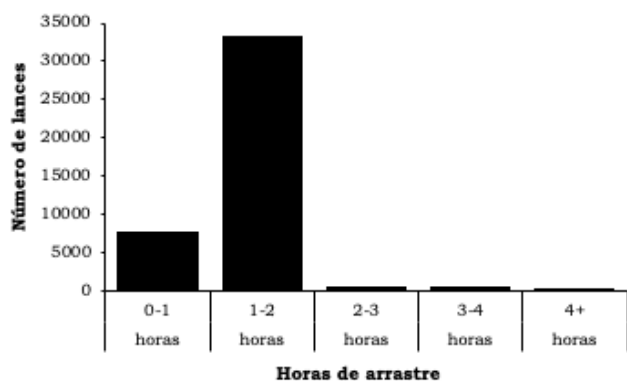


Figura 5. Lances y tiempo de arrastre de la flota merluquera en Ecuador durante el 2019.

Tabla 2. Individuos capturados e intervalos de talla por profundidad de pesca de la flota merluquera en la costa ecuatoriana durante 2019.

	Profundidad (m)			
	0 - 50	50 a 100	100 a 150	150 a 200
Individuos capturados	43,546	36,593	423,325	7,302
Intervalo de tallas	19 a 66	20 a 75	24 a 72	26 a 69
Talla promedio	34,21 ± 4,37	34,23 ± 4,37	36,56 ± 5,17	36,96 ± 5,98

La mayor captura se realizó entre las 12:00 y las 16:00, en profundidades desde los 24,7 m hasta los 100 m, lo cual estuvo determinado por los movimientos verticales de la especie y sus hábitos alimenticios. En este contexto, la merluza tuvo un cambio ontogénico en su dieta, la cual pasó de ser principalmente zooplanctófaga en juveniles a la incorporación de peces en tallas superiores a los 36 cm de largo (Pazmiño, 2019), con una marcada migración vertical nocturna (Carpentieri et al., 2005), ya que, se alimentaron de presas pelágicas de mayor tamaño (Alheit y Pitcher, 2012) con una conducta de depredador por

emboscada (Payá, 2003), resultado de las demandas energéticas necesarias para la maduración gonadal, explicando así, las bajas capturas registradas durante las jornadas nocturnas.

La CPUE (expresada en t·h⁻¹) de las embarcaciones merluqueras presentó un promedio mensual de 0,48 (t·h⁻¹), donde los valores mensuales fluctuaron entre 0,15 y 0,91 (t·h⁻¹). A nivel mensual, se observó un mayor esfuerzo pesquero en los meses de febrero a abril, en los cuales, la flota merluquera trabajó a su máxima operatividad (25 embarcaciones), siendo marzo, el mes que presentó el valor más alto reportado (CPUE = 0,92) (tabla 3).

Tabla 3. Registro mensual del número de lances, captura en toneladas de merluza, horas de arrastre y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la flota merluquera en la costa ecuatoriana durante el 2019.

Mes	Número de lances	Captura de merluza (T)	Tiempo de arrastre (h)	CPUE
Enero	14.762	130,80	867,5	0,15
Febrero	16.938	997,30	1.216,1	0,82
Marzo	2.978	383,93	418,1	0,92
Abril	6.960	465,54	654,4	0,71
Mayo	911	601,98	157,9	0,38
Junio	654	214,58	96,2	0,22
Agosto	2613	748,19	427,1	0,16

En concordancia con los meses de mayor captura, los resultados de la CPUE indicaron que, el mayor esfuerzo se observó entre febrero y abril, con un valor máximo en marzo (CPUE= 0,92). Además, la CPUE mostró una disminución progresiva hacia el final de la temporada de pesca en agosto (CPUE= 0,16). De esta manera, se determinó que, los meses de mayor operatividad de la flota merluquera coincidieron con los meses de mayor captura del recurso. Tomando en consideración el comportamiento de las flotas pesqueras en el país, fue posible este redireccionamiento, para el esfuerzo hacia la captura de otros recursos (Coello et al., 2017), lo que implicó que fue necesario analizar las capturas de merluza como descarte o fauna acompañante en otras pesquerías, con el propósito de conocer el estado de sus poblaciones.

Finalmente, se considera que, la merluza sostiene presión tanto de la pesquería artesanal (Coello et al., 2017) como industrial, ya que constituye como un recurso rentable; consecuentemente, es prioritario realizar monitoreos constantes con relación a los indicadores de condición del stock, especialmente de los cambios de reclutamiento (Gatica y Cubillo, 2004), ya que, su variabilidad en términos de biomasa total estuvo fuertemente influenciado por la fuerza de las clases anuales que se reclutaron a la pesquería,

así como, de factores ecológicos, tales como, frecuencia de desoves y canibalismo entre reclutas y stock desovante (Payá, 2003). Paralelamente, fue prioritario estandarizar y ampliar la toma de datos provenientes de los registros de los observadores pesqueros y bitácoras de pesca, así como, definir políticas de acceso a la información de las diferentes entidades que realizaron monitoreos pesqueros, con la finalidad de evaluar correctamente los recursos, permitiendo así conocer la condición y sostenibilidad de las poblaciones en el tiempo.

Conclusiones

La temporada de merluza en Ecuador continental se desarrolla de enero a agosto, con una máxima operatividad de la flota merluquera ejercida por 25 embarcaciones. El mayor esfuerzo pesquero se observó entre febrero y abril, registrándose en febrero la mayor captura en términos de peso. Adicionalmente, se determina que, Santa Rosa es el principal puerto de desembarque de este recurso. La composición de tallas oscila entre 19 y 75 cm de largo, con incidencia de 29,90% de individuos por debajo de la talla media de madurez sexual, y una drástica disminución de individuos con tallas superiores a 56 cm de largo. La mayor captura de merluza se registra durante las jornadas diurnas, especialmente, desde las 12:00 hasta las 16:00, a profundidades entre 24,7 y 100 m, lo cual es consistente con la ecología de la especie. La captura de fauna acompañante es similar en términos de peso con una proporción 1,95:1.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Alamo, A., y Espinoza, P. (1997). Espectro alimentario de la Merluza Peruana durante el otoño de 1997. Crucero BIC Humboldt 9705-06, Callao a Puerto Pizarro.
- Alarcón, R., y Arancibia, H. (1993). Talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en la merluza común, *Merluccius gayi gayi* (Guichenot, 1848). *Cienc. Tec. Mar*, 16(1), 33-45.
- Alheit, J. y Pitcher, T. J. (Eds.). (2012). *Hake: biology, fisheries and markets* (Vol. 15). Springer Science & Business Media.
- Angelescu, V., Prensky B. e INIDEP. (1987). *Ecología trófica de la merluza comun del mar argentino (merlucciidae merluccius hubbsi). parte 2 dinamica de la alimentación analizada sobre la base de las condiciones ambientales la estructura y las evaluaciones de los efectivos en su area de distribución*. República Argentina Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero.
- Balbontín, F. y Fischer. W. (1981). Ciclo sexual y fecundidad de merluza, *Merluccius gayi gayi*, en la costa de Chile. *Rev. Biol. Mar*, 17(3), 285-334.
- Ballón, M., Wosnitza-Mendo, C., Guevara-Carrasco, R., y Bertrand, A. (2008). The impact of overfishing and El Niño on the condition factor and reproductive success of Peruvian hake, *Merluccius gayi peruanus*. *Progress in Oceanography*, 79(2-4), 300-307.
- Blaskovic, V., y Espinoza, P. (2011). *Dieta de la merluza peruana en el verano 2004*. Crucero BIC Olaya 0401-02.
- Carpentieri, P., Colloca, F., Cardinale, M., Belluscio, A., y Ardizzone, G. D. (2005). Feeding habits of European hake (*Merluccius merluccius*) in the central Mediterranean Sea. *Fishery Bulletin*, 103(2), 411-416.
- Cerna, J. and Oyarzún, C. (1998). Size of first sexual maturity and batch fecundity in the Chilean hake (*Merluccius gayi*, Guichenot 1848) for the area of the industrial fishery of Talcahuano, Chile. *Investigaciones Marinas*, 26, 31-40.
- Cerna, F. (2011). *Variación del crecimiento somático y la madurez de merluza común (Merluccius gayi gayi) en el Pacífico Sur-Oriental frente a Chile ¿una respuesta compensatoria o evolutiva?*. Tesis de Magister en Ciencias con mención en Pesquerías, Universidad de Concepción, Concepción, 65 p.
- Coello, D., Cajas, J., Elías, E., y Buchelli, R. (2016). Plancton y relaciones tróficas de *Cynoscion analis*, *Isopisthus remifer* y *Merluccius gayi*, en la zona marino costera del Ecuador. *Revista Ciencias del Mar y Limnología*, 10(2), 38-53.
- Coello, D., Herrera, M., Castro, R., Medina, C., y Salcedo, J. (2017). Caracterización de la pesquería artesanal de merluza (*Merluccius gayi*) en la caleta pesquera de Santa Rosa (provincia de Santa Elena). *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 11(1), 12-21.
- Feeckings, J., Bartolino, V., Madsen, N. y Catchpole, T. (2012). Fishery discards: factors affecting their variability within a demersal trawl fishery. *PLoS One*, 7(4), e36409.
- Fernández-Peralta, L., Salmerón, F., Rey, J., Puerto, M. A., y García-Cancela, R. (2011). Biología reproductiva de las merluzas negras (*Merluccius polli* y *M. senegalensis*) en aguas de Mauritania. *Ciencias Marinas*, 37(4B), 527-546.
- Galleguillos, R., Troncoso, L., y Oyarzún, C. (1999). Parentesco evolutivo en las merluzas del Pacífico sur *Merluccius gayi*, *Merluccius australis* y *Merluccius hubbsi* (Pises: Merlucciidae). *Revista Chilena de Historia Natural*, 72, 315-324.
- García, M., Gilces, I., Lavayen, F., Daza, C., Bermudez, C., Avila, E., y Cevallos, A. (2014). *Pesquería del recurso merluza (Merluccius gayi) en el Ecuador Continental 2013*. Informe Viceministerio de Acuicultura y Pesca.
- Gatica, C., y Cubillos, L. (2004). Análisis talla-estructurado de los cambios de abundancia en *Merluccius gayi gayi* entre 1992 y 2000. *Investigaciones Marinas*, 32(1), 71-87.



Kelleher, K. (2004). *Discards in the world's marine fisheries: an update*. Rome, Italy: Fisheries and Agriculture Organisation. Fisheries Technical Paper, 470.

Lloret-Lloret, E., Navarro, J., Giménez, J., López, N., Albo-Puigserver, M., Pennino, M. G. and Coll, M. (2020). The seasonal distribution of a highly commercial fish is related to ontogenetic changes in its feeding strategy. *Frontiers in Marine Science*, 7, 1068.

Lloris, D., y Matallanas, J. (2003). *Merluzas del mundo (Familia Merlucciidae): Catálogo comentado e ilustrado de las merluzas conocidas*. No. 2. Food & Agriculture Org.

Macchi, J. G., Pájaro, M. y Dato, C. (2007). Spatial variations of the Argentine hake (*Merluccius hubbsi* (Marini, 1933)) spawning shoals in the Patagonian area during a reproductive season. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 42(3), 345-356.

Martínez-Ortiz, J., García-Domínguez, M., Díaz-Benítez, M., Muñoz-Quimi, A., Hurtado-Angulo, F., Marriott Bravo, F., Castro-Almeida, R. y Bermúdez-Moreira, C. (2013). *Pesquería experimental a escala comercial del recurso Merluza (Merluccius gayi)(Guichenot, 1848) fuera de las ocho millas de la Costa Continental del Ecuador*. Plan Piloto. Inf. Tec. MAGAP-INP-2013-0758-OF.

Paredes, J. (2000). *Aprovechamiento de la riqueza marino costera como alternativa para el desarrollo nacional*. Master's thesis, IAEN.

Payá, I. (2003). *Asesoría biológica para el manejo de la pesquería de merluza común (Merluccius gayi gayi): Evaluación del stock y análisis de riesgo*. Actividad pesquera y de acuicultura en Chile, p. 189-207.

Pazmiño Realpe, A. E. (2019). *Hábitos alimentarios de Merluccius gayi en el Golfo de Guayaquil, Ecuador, durante marzo-agosto de 2018*. (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil).

Pilay, D., y Torres, A. (2018). Pesquería artesanal y aspectos reproductivos de merluza *Merluccius gayi* en el puerto pesquero de Anconcito en la provincia de Santa Elena durante el 2014. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 12(2), 75-82.

Quijije Calderón, P. R. (2018). *Fauna acompañante de pesca industrial polivalente dirigida a camarones rojo (Penaeus brevivirostris) y café (Penaeus californiensis) en la costa ecuatoriana*. (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil).

Quinn, T. J., y Deriso, R. B. (1999). *Quantitative fish dynamics*. Oxford University Press. New York, 542 p.

Stevenson, M. R. (1981). *Variaciones estacionales en el Golfo de Guayaquil, un estuario tropical*. Instituto Nacional de Pesca.

Tascheri, R., Sateler, J., González, J., Merino, J., Catasti, V., Olivares, J., Young, Z., Saavedra, J., Toledo, C., y Contreras, F. (2004). *Programa de seguimiento del estado de situación de las principales pesquerías nacionales*. Pesquería demersal zona centro sur y aguas profundas, 2004. SUBPESCA-IFOP, 345 pp.

Tello Macas, J. L. (2014). *Relación: longitud vs. edad de Merluccius gayi durante octubre 2013-marzo 2014*. (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2014.).

Toledo Delgado, J. W. (2017). *Aspectos reproductivos de la Merluza (Merluccius gayi) en la estación lluviosa en el Golfo de Guayaquil*. (Master's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales).

Wosnitza-Mendo, C., Soto, M. B., Rodríguez, C. B., y Carrasco, R. G. (2009). Cambios en el área de distribución de la merluza peruana: efecto de la pesquería y El Niño. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 24(1-2), 29-38.

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Jurgen Suárez-Torres	Diseño de la investigación, revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos.
Mercy Preciado	Base de datos.
Gabriela Vergara	Análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito, corrección de estilo.





Técnicas de manejo de enfermedades poscosecha en frutos de cítricos

Post-harvest disease management techniques in citrus fruits

Autores

- ✉ ¹Cristhian Jesús Chávez Caicedo
- ✉ ^{1*}Jessenia Rosanna Castro Olaya
- ✉ ¹Adriana del Carmen Celi Soto
- ✉ ¹Dorys Terezhina Chirinos Torres

Facultad de Ingeniería Agronómica, Carrera de
Agronomía, Universidad Técnica de Manabí,
Lodana, Manabí, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Chávez Caicedo, C. J., Castro
Olaya, J. R., Celi Soto, A. del C. y Chirinos Torres,
D. T. (2023). Técnicas de manejo de enfermedades
poscosecha en frutos de cítricos. *La Técnica*, 13(1),
9-17. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5179>

Recibido: Septiembre 12, 2022

Aceptado: Enero 14, 2023

Publicado: Marzo 15, 2023

Resumen

A nivel mundial la producción de cítricos ha incrementado debido a la creciente demanda por parte de países productores y exportadores. Sin embargo, las pérdidas poscosecha son un reto para los citricultores, en especial las causadas por los hongos *Penicillium digittatum* y *P. italicum*; además de los microorganismos causantes de enfermedades precosecha, que persisten en el tiempo y se presentan durante el almacenamiento de los cítricos. La investigación tuvo como objetivo recopilar información sistémica, aplicativa y de gran utilidad sobre técnicas de manejo de enfermedades poscosecha en frutos de cítricos (*Citrus* spp.) en Ecuador. Una de las técnicas de manejo, es el uso de fungicidas sintéticos, en especial el Imidazol y Bencimidazol y las sales, como ortofenil fenato de sodio. Entre las opciones biológicas, se usan hongos, bacterias y levaduras con capacidad antagonista y antifúngica. Dentro de las medidas físicas, se emplea el almacenamiento en condiciones de baja temperatura, que varía de acuerdo a la especie de cítricos y la luminosidad, sugiriéndose como una excelente medida de manejo para los hongos causantes de la pudrición, *P. digittatum* y *P. italicum*. El manejo de enfermedades poscosecha debe contar con un plan que incluya al menos dos medidas de control.

Palabras clave: producción; almacenamiento; pérdidas; enfermedades; control físico; químico y biológico.

Abstract

Worldwide, citrus production has increased due to the growing demand from producing and exporting countries. However, postharvest losses are a challenge for citrus growers, especially those caused by the fungi *Penicillium digittatum* and *P. italicum*; in addition to the microorganisms that cause pre-harvest diseases, which persist over time and occur during citrus storage. The objective of the research was to compile systemic, applicable and useful information on postharvest disease management techniques for citrus fruits (*Citrus* spp.) in Ecuador. One of the management techniques is the use of synthetic fungicides, especially Imidazole and Benzimidazole and salts such as sodium orthophenyl phenate. Among the biological options, fungi, bacteria and yeasts with antagonistic and antifungal capacity are used. Among the physical measures, storage under low temperature conditions is used, which varies according to citrus species and luminosity, and is suggested as an excellent management measure for the rot-causing fungi, *P. digittatum* and *P. italicum*. Postharvest disease management should have a plan that includes at least two control measures.

Keywords: production; storage; losses; diseases; physical; chemical and biological control.



Introducción

Los cítricos son cultivados en un gran número de países dentro de una amplia región geográfica (Naqvi, 2004), cuya creciente y dinámica tendencia de producción permite afirmar que constituyen los frutales más extensivamente producidos en el mundo (Zhong y Nicolosi, 2020) con un área cosechada que en el año 2020 ascendió a 8.607.004 ha y una producción de 144.755.629 t (FAO, 2022). Zhong y Nicolosi (2020) señalaron que entre los principales países productores de cítricos resaltan China, Brasil y Estados Unidos, con naranjas (*Citrus sinensis* L. Osbeck), mandarinas (*C. reticulata* Blanco y *C. unshiu* Marc.), toronjas (*C. paradisi* Macfadyen), limones (*C. limon* L. Burmann f.), y limas (*C. aurantifolia* Christm. Swingle) como los cinco grupos de cítricos de mayor importancia económica.

La producción de estos importantes frutales puede verse afectada por plagas y enfermedades tanto en precosecha (Naqvi, 2004; Zhao et al., 2015), como en poscosecha (Hanif y Ashari, 2021), lo que conlleva a que parte de la producción se transforme en pérdidas y desperdicios, que generalmente en frutas y verduras ocurre en cinco etapas claves de la cadena de suministro de alimentos: producción agrícola, manipulación y almacenamiento poscosecha, procesamiento, distribución y consumo (Ron et al., 2018). Cuando los frutos se cosechan, estos presentan cambios relacionados con el fenómeno de la senescencia, y se caracterizan por pérdidas en el contenido de clorofila que son responsables del color verde de los cítricos, además de una elevada transpiración que conduce al marchitamiento, reacciones de fermentación (producción de etanol), pérdidas de valor nutricional y sensibilidad al ataque de microorganismos causantes de pudriciones (Muñoz, 2011).

En países desarrollados, las pérdidas por manejo poscosecha se consideran entre 5 y 10%, mientras que en países en desarrollo se incrementan entre 25 y 34% (Sonkar et al., 2008; Hanif y Ashari, 2021). Dentro de las principales causas de pérdidas, se incluyen la descomposición patológica, así como las pérdidas parciales por respiración o transpiración, que son consecuencia de la manipulación brusca de frutos durante la cosecha o el transporte inadecuado (Ashebre, 2015). Aunque ha existido un aumento en la producción de cítricos, las pérdidas económicas ocasionadas por las enfermedades de poscosecha representan actualmente uno de los principales problemas en la fruticultura mundial (Murray et al., 2019). En el caso de la pérdida de frutos en poscosecha, la descomposición por causa de patógenos es total.

Entre los principales patógenos asociados a cítricos, se mencionan a *Penicillium digitatum* (Pers.) Sacc., y a *P. italicum* Wehmer, como causantes de la podredumbre verde y azul, respectivamente (Naqvi, 2004; Ballester, 2007; Iqbal et al., 2017). Adicionalmente, las inadecuadas técnicas y escasas metodologías de manejo de enfermedades poscosecha alteran las propiedades de los

cítricos, permitiendo que hongos como, *Alternaria citri* Ellis & N. Pierce, *A. alternata* (Fr.) Keissl., *Botrytis cinerea* Whetzel, *Colletotrichum gloesporioides* (Penz.) Penz. y Sacc., *Geotrichum candidum* Link, *Rhizopus stolonifer* Vuillemin, *R. oryzae* Went & H.C. Prinsen Geerligs, *Phytophthora citrophthora* (R.E. Sm. & E.H. Sm.) Leonian, colonicen, desarrollen y se diseminen dentro y fuera de los frutos (Tuset, 2015). Por lo tanto, la incidencia de las podredumbres depende de una combinación de factores, tales como, las características intrínsecas del fruto, entre ellas los compuestos volátiles (Droby et al., 2008; Wang et al., 2012) y el manejo durante la recolección y posterior manipulación poscosecha.

En el caso de los cítricos, la principal estrategia para el control de hongos es la aplicación de fungicidas órgano-sintéticos, como ortofenilfenato sódico, tiabendazol, imazalil o guazantina (Kanetis et al., 2008; Ritenour et al., 2022). No obstante, el uso continuado de este tipo de fungicidas presenta varias limitaciones importantes, como la aparición de cepas resistentes (Boubaker et al., 2009; Erasmus et al., 2015), las restricciones regulatorias sobre la aceptación de residuos en países importadores de cítricos y el posible efecto perjudicial de estos compuestos sobre la salud y el ambiente (Jurak et al., 2021).

Otro procedimiento utilizado para prolongar la vida de los frutos cítricos una vez cosechados, es el almacenamiento refrigerado, previo a un preenfriamiento de los frutos, favoreciendo la permanencia por más días en almacenamiento a temperaturas de $6 \pm 0,5$ °C (Genovese et al., 2020). El flujo de aire caliente, constituye otra alternativa, la cual, permite una máxima prevención de la pérdida de biomasa y previene la descomposición del fruto (Wan et al., 2020).

En Ecuador, las pérdidas por manejo poscosecha están alrededor del 50% (Valarezo, 2014), y es poca la información disponible de estudios que detallen técnicas de este tipo de manejo. Entonces es importante realizar un compilado de las técnicas existentes para ofrecer al citricultor de Ecuador alternativas de manejo posterior a la cosecha. Expresada la problemática, la presente investigación tuvo como objetivo recopilar información sistémica, aplicativa y de gran utilidad sobre técnicas de manejo de enfermedades poscosecha en frutos de cítricos (*Citrus* spp.) en Ecuador.

Metodología

Para la elaboración del artículo de revisión, se usaron las bases de datos Springer, Scielo, Latindex, Dialnet, Google Académico donde se buscó trabajos de investigación colocando palabras claves como criterio de revisión: poscosecha, enfermedad, cítricos, cosecha, producción, *P. digitatum*, *P. italicum*, fungicida, almacenamiento, frío, calor, manejo poscosecha de cítricos, microorganismos antagonistas, *Pseudomonas*, *Trichoderma*, levaduras, bioquímicos, aceites esenciales, fungicida botánico, bioinsecticidas, Ecuador.

Desarrollo

Enfermedades poscosecha

Los cítricos, presentan enfermedades causadas por patógenos desde la floración hasta la cosecha y posteriormente por patógenos poscosecha que afectan la producción del cultivo y deterioran considerablemente la calidad del fruto (Naqvi, 2004); existen enfermedades precosecha, causadas por patógenos que infectan el fruto, pero que, por causas diversas, permanecen latentes o inactivas hasta después de la recolección y el almacenamiento (Brown, sf.; Naqvi, 2004). Este es el caso de la pudrición negra, reportada inicialmente en naranjo, pero actualmente afecta a la mayoría de los cítricos (Pierce, 1902; Umer et al., 2021), cuyo agente causal es *Alternaria* (Pierce, 1902).

Peever et al. (2005) indicaron que el hongo asociado a la mancha negra fue *A. alternata*. Las infecciones de este patógeno fueron latentes principalmente en las ramas y también en las flores (El-Otmani et al., 2011; Camiletti et al., 2022). Este patógeno ingresa por el pedúnculo del fruto, afectando los sacos de pulpa (endocarpio) y posteriormente la cáscara (exocarpio o epicarpio; Pierce, 1902). El-Otmani et al. (2011) indicaron que la enfermedad de la mancha marrón, que infectó la superficie del fruto, fue causada por *A. alternata*.

Otras enfermedades precosecha, incluyendo sus agentes causales fueron la pudrición gris (*B. cinerea*), la marrón (*P. citrophthora*), las pedunculares (*Diplodia natalensis* P. Evans y *Phomopsis citri* Fawcett), la antracnosis (*C. gloeosporioides*), entre otras, cuya incidencia fue menor y únicamente pueden resultar importantes en ciclos de producción, zonas o condiciones concretas (Zhao et al., 2015; Saito, 2017).

Las enfermedades poscosecha en los cítricos, pueden iniciarse por la infección del fruto durante la fase de crecimiento; otras enfermedades se originan en lesiones que se crean durante la cosecha y posterior manipulación del fruto (Eckert, 1978). Todas fueron consideradas enfermedades de poscosecha debido a que independientemente del momento en que puedan iniciar la infección del fruto, evitaron su llegada en buenas condiciones al destino final que fue el consumidor (Fallik, 2021).

Los principales agentes patógenos que causaron enfermedades poscosecha en cítricos, fueron: *P. digitatum* (Pers. Fr.) Sacc, *P. italicum*, y *Geotrichum citri-aurantii* Butler, podredumbre ácida (Mercier y Smilanick, 2005), aunque fue poco común su presencia puede causar grandes pérdidas en época de lluvia (Mercier y Smilanick, 2005; Wang et al., 2018). *Phyllosticta citricarpa* (teleomorfo: *Guignardia citricarpa*), es un hongo ascomiceto, agente causal de la mancha negra de los cítricos, que infecta a casi todas las especies económicamente importantes, causando graves pérdidas económicas en la producción de África, Asia, Australia y América del Sur (EFSA, 2014).

Aunque existen algunas enfermedades poscosechas, las causadas por *P. digitatum* y *P. italicum*, fueron las más comunes y destructivas (Ecker, 1989), debido a la reproducción masiva de esporas asexuales, que contribuyen a la epidemia del moho (Wang et al., 2014). Existen varios factores que favorecen la

infección del fruto como: heridas en la corteza, un avanzado estado de maduración y condiciones ambientales adecuadas para el crecimiento del hongo (temperatura de 24 °C y humedad del aire en 80%) (EFSA, 2014).

Penicillium digitatum pertenece al Reino: Fungi, División: Ascomycota, Clase: Eurotiomycetes, Orden: Eurotiales, Familia: Trichocomaceae (Palou, 2014). Este hongo muestra un rango de hospedantes notablemente limitado, pudiendo infectar principalmente frutos maduros pertenecientes a la familia Rutaceae (Henrique et al., 2019). Las esporas de *P. digitatum* pueden activarse rápidamente y comenzar la colonización después de entrar en contacto con las heridas de los cítricos. En frutos de naranjo, la incidencia de pudrición puede llegar a 80% en 48 h y el 100% a las 60 h (Qian et al., 2019). Luego de la activación de las esporas, el desarrollo fúngico adicional, como la germinación de las esporas, el crecimiento de los tubos germinales, la formación de conidióforos, filíidas y nuevos conidios, se completan en dos días, a partir de este momento, las heridas de los cítricos también se pudrirán (Wang et al., 2014; Qian et al., 2019).

Mediante y luego de la infección, los genes asociados con factores patogénicos, como las enzimas que degradan la pared celular, el etileno, los ácidos orgánicos y los efectores, fueron significativamente regulados o expresados en el ADN del patógeno (Yang et al., 2019). A esto se suma la capacidad de *P. digitatum* para enfrentar la producción de peróxido de hidrógeno por parte del huésped, debido al aumento de la producción de catalasa (Henrique et al., 2019).

En el caso de *P. italicum*, al igual que *P. digitatum*, pertenece al Reino: Fungi, División: Ascomitoca, Clase: Eurotiomycetes, Orden: Eurotiales, Familia: Trichocomaceae. Este hongo, a diferencia de *P. digitatum*, presenta otros huéspedes, enumerados en la base de datos de hongos del USDA-ARS, incluyendo aguacate, mango, camote, caqui, melón, tomate, *Prunus* spp., *Pyrus* spp., trigo y uva (Farr y Rossman, 2013). Presenta conidióforos que se originan en el sustrato u ocasionalmente en hifas superficiales y son terverticilados, hialinos, generalmente con las ramas adpresas, con estípites y métulas de 100-250 × 3,5-5,0 μm más o menos cilíndricos, de paredes lisas, con tres a seis filíides cada uno (Palou, 2014).

En cuanto a la infección en cítricos, los principales factores de virulencia y colonización conocidos en esta interacción fitopatológica fueron promovidos por las enzimas hidrolíticas poligalacturonasas (PG) producidas por *P. italicum* que provocaron maceración de tejidos o pudrición de frutos. Estas enzimas funcionaron mejor a pH más bajos y, dado que *P. italicum* fue capaz de acidificar el ambiente con la acumulación de ácidos orgánicos, especialmente ácido cítrico, la actividad de estas enzimas se ve favorecida durante la infección (Prusky et al., 2004). Otro mecanismo de la infección por *P. italicum* es la regulación a la baja de las expresiones génicas de la glicoproteína rica en hidroxiprolina (HRGP) y la proteína similar a la germinación (GLP), que están relacionadas con la pared celular del fruto (Li et al., 2019).

A nivel transcripcional, *P. italicum* induce la modificación de la pared celular al aumentar la expresión de los genes



XTH21, *XTH29*, *XTH33* y *Expansin-A16*, que contribuyen a la degradación de la pared celular. Aunque existe un aumento en la producción de lignina, que está relacionado con un mecanismo de defensa de los cítricos, la infección del fruto por *P. italicum* es exitosa (Li et al., 2019).

Técnicas químicas de manejo de enfermedades poscosecha de cítricos

Entre las técnicas químicas para el control de las enfermedades poscosecha en cítricos, los fungicidas sintéticos son los más usados (Wang et al., 2018; Ladino, 2020). Entre los fungicidas más utilizados en poscosecha de cítricos se encuentran el imazalil (IMZ), el tiabendazol (TBZ), el ortofenilfenato sódico (SOPP) todos ellos con una eficacia media o alta contra *Penicillium* spp. La guazatina, eficaz contra *G. citri-aurantii*, y el fosetil-Al, eficaz contra *P. citrophthora* (Camarasa, 2012; Pássaro et al., 2012; D'Aquino et al., 2013; Erasmus et al., 2015).

El imazalil, se ha evaluado en limón Meyer, con aplicación por aspersión e inmersión, obteniéndose mayor porcentaje de inhibición de crecimiento al cuarto y octavo día, siendo la mejor dosis 0,5 g·L⁻¹ del tratamiento químico (Ladino, 2020). En naranja Valencia, inoculada con *P. digitatum* y tratada con el fungicida imazalil en dosis de 1500 mg·L⁻¹, se redujo la incidencia de la pudrición a menos del 15%, siendo más efectivo en el biotipo sensible (Lado et al., 2011). Erasmus et al. (2015), usando naranja Valencia y tratamiento curativo y preventivo con varios fungicidas, encontraron que el imazalil tuvo un control y acción de protección de alrededor del 90% en cepa sensible, mientras que, en cepas resistentes y altamente resistentes, la efectividad fue baja.

Entre los fungicidas usados, orto-fenil-fenol sódico y el pirimetanil controlan mejor a los aislados resistentes, mientras que su uso con acción preventiva, solo el pirimetanil tuvo un efecto de 50% en cepas resistentes y altamente resistentes. Se han determinado alternativas para mejorar el control y evitar la resistencia, entre éstas, específicamente la rotación con otras moléculas químicas como el pirimetanil (PYR) o fludioxonil (FLU) y a su vez en combinación con sales como el sorbato potásico (SP) y el bicarbonato sódico (BCS) que resultaron efectivos al reducir la incidencia y el porcentaje de frutos con esporulación en aislados resistentes al IMZ sin afectar a la calidad y biomasa del fruto (Lado et al., 2011). Al ser un fungicida de uso frecuente, actualmente hay cepas resistentes al fungicida, y al evaluar en ellas la efectividad del producto, este fue bajo (Lado et al., 2011; D'Aquino et al., 2013; Lado et al., 2013).

El uso de insecticidas bioquímicos, a base de aceites esenciales es trascendental (Velásquez et al., 2014; Ladino, 2020), su efectividad en la inhibición del crecimiento de los patógenos varía de acuerdo al aceite, la dosis utilizada y la especie del cítrico (Yahyazadeh et al., 2009). Entre los aceites esenciales

estudiados como alternativas de control de *P. digitatum* y *P. italicum*, se encuentra el aceite de mandarina, y las sustancias activas Carvacrol y Timol, obtenidos de orégano y tomillo, que a nivel in vitro inhibieron el crecimiento de los hongos y la esporulación entre un 50 y 100%. Entre los hongos evaluados, el más susceptible fue *P. digitatum* (Velásquez et al., 2014). Según estudios in vitro realizado por González (2013), los aceites de canela y clavo de olor en dosis de 500 µL en 1 L de medio de cultivo PDA, presentaron un 100% de inhibición del crecimiento de *P. digitatum* y *P. italicum*.

Otros componentes, son los péptidos microbianos y se usan como antibióticos (Jenssen et al., 2006), y se reportan excelentes resultados (Wang et al., 2018), al igual que las sales orgánicas e inorgánicas (Youssef et al., 2012). En el caso de su uso en cítricos, Wang et al. (2018) usaron el péptido cecropina para inhibir el crecimiento de los patógenos, encontrando que en concentraciones de 8 µmol·L⁻¹, los hongos *P. digitatum*, *P. italicum* y *G. candidum* no crecieron. En el caso de los péptidos, en especial, el PAF, un hexapéptido, el cual no induce resistencia en los cítricos, más bien daña la membrana de micelio y esporas (Wang et al., 2021).

Técnicas biológicas en el manejo de enfermedades poscosecha de cítricos

En los cítricos se han descrito más de 20 tipos diferentes de enfermedades poscosecha, que han sido la principal causa de deterioro del fruto y provocaron pérdidas económicas (Chen et al., 2019). Las principales enfermedades patológicas en poscosecha de cítricos, fueron causadas principalmente por hongos (Eckert, 1978), los cuales, produjeron micotoxinas, entre las que se incluyeron agentes potencialmente cancerígenos como la citrinina y la patulina (Frisvad 2018; Dukare et al., 2019), así como compuestos termogénicos, como las triptokuivalinas (Ariza et al., 2002) por lo que representan una amenaza para la salud (Dukare et al., 2019).

Los hongos patógenos en poscosecha de cítricos interactúan con otros microorganismos (Visintin et al., 2010), y en atención a las interacciones positivas y negativas, que puedan ocurrir, se buscan microorganismos que puedan ser usados en el manejo de enfermedades fúngicas poscosecha (Visintin et al., 2010; Hao et al., 2011), debido a que los microorganismos son una de las principales fuentes de productos naturales con actividades biológicas útiles, es decir, antifúngicos potenciales, antibióticos, agentes anticancerígenos, tensioactivos (Demain, 2014). Entre los microorganismos estudiados como alternativa de control de las enfermedades, están los hongos, bacterias y levaduras (Hao et al., 2011; Luo et al., 2012; Lu et al., 2013; Pu et al., 2014; Toffano et al., 2017).

Algunos microorganismos, entre ellos, las levaduras presentaron acción preventiva en la infección de *P. digitatum* y *P. italicum*,

y estimularon los mecanismos de defensa de los cítricos. Entre ellas, las levaduras *Cryptococcus laurentii* (Kufferath Skinner), y *Rhodospodium paludigenums* (Fell & Tallman), que pueden reducir la incidencia de la enfermedad hasta un 15%, y el tamaño de la lesión no superó los 3 mm (Lu et al., 2013). *Rhodospodium paludigenums* aumentó los mecanismos de defensa de los frutos de cítricos, entre ellas algunas enzimas como: β 1,3-glucanasa, fenilalanina amoniaco-liasa, peroxidasa y polifenoloxidasa (Lu et al., 2013). Otra levadura con potencial biocontrol para *P. digitatum*, es *Clavispora lusitaniae* 146, que en concentraciones de 2 al 5% la eficiencia de protección puede llegar al 100%, además la protección mejora a mayores tiempos de incubación y concentraciones de esporas $5,19 \times 10^8$, $2,66 \times 10^9$, and $1,33 \times 10^{10}$ CFU·mL⁻¹ (Díaz et al., 2020). Luo et al. (2012) examinaron la capacidad de biocontrol de la levadura *Pichia membranifaciens* (E.C. Hansen), para controlar *P. italicum* y *P. digitatum* durante el almacenamiento, notando una menor incidencia de enfermedades en frutos cítricos sumergidos en 1×10^8 CFU·mL⁻¹ de *P. membranifaciens*, además, en los frutos sumergidos o inoculados con *P. membranifaciens* aumentaron el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, peroxidasa (POD), polifenoloxidasa (PPO), actividades de fenilalanina amoniaco-liasa (PAL), quitinasa (CHI) y β 1,3-glucanasa en la cáscara de cítricos, las cuales se correlacionaron con el inicio de la resistencia inducida.

Pu et al. (2014) utilizaron la levadura *Kloeckera apiculata* cepa 34-9 para el control biológico; en atención que en estudios anteriores demostraron que *K. apiculata* produjo alcohol aromático feniletanol, y su investigación encontraron que *K. apiculata* se adhería y formaba un biofilm en la superficie de los cítricos, lo que constituyó una barrera mecánica interpuesta entre la superficie de la herida y el patógeno. Toffano et al. (2017) evaluaron la efectividad de los COVs producidos por *Saccharomyces cerevisiae* para controlar el hongo filamentoso *Phyllosticta citricarpa*; e informaron que *P. citricarpa* expuesto a la mezcla sintética de estos COVs, afectó negativamente al fitopatógeno.

Panebianco et al. (2015) descubrieron que la cepa 34-9 de *K. apiculata*, es una levadura antagonista con actividad de control biológico contra las enfermedades poscosechas de los cítricos. La cepa CMAA-1112 de la levadura *Candida membranifaciens* redujo la severidad de enfermedad a través de la inducción de resistencia en el fruto (Terao et al., 2017). Por otra parte, Guedez et al. (2010) indicaron que *Trichoderma* spp. presentó actividad de control biológico contra *P. digitatum*, quienes también usaron quitosano y bicarbonato.

Visintin et al. (2010) obtuvieron microorganismos bioactivos de la microflora epífita de frutos recolectados de huertos con un manejo integral de enfermedades y buenas condiciones sanitarias, obteniendo 20 aislamientos bacterianos y 18 levaduras. El porcentaje de la microflora bioactiva varió de acuerdo al fruto cítrico, toronja (*Citrus grandis* (L.) Osbeck), mayormente levaduras (71%). De pomelo (*C. paradisi* Macfadyen), obtuvieron 50% de bacterias y 50% de levaduras, mientras que en naranjas (*C. sinensis* (L.) Osbeck) y mandarinas (*C. reticulata*

Blanco) predominaron las bacterias. Las cepas nativas que aislaron y evaluaron para el control de *P. digitatum*, presentaron efecto de antibiosis.

Especies de bacterias del género *Bacillus* han sido reportadas como inhibidores del crecimiento de una serie de patógenos vegetales a través de antagonismo, cuyo modo de acción fue la competencia por los nutrientes o el espacio, aunque no se puede excluir la interacción directa (Hong et al., 2014). Abraham et al. (2010) demostraron que las cepas de *B. subtilis* (Ehrenberg Cohn) tuvieron típicamente la capacidad de sobrevivir en superficies de limones y algunas fueron antagonistas a patógenos.

Hao et al. (2011) mencionaron que la cepa HF-01 de la bacteria *B. amyloliquefaciens* puede ser aislada de las superficies de cítricos, mandarina, caracterizándose por su actividad antifúngica, y por el hecho de ser un antagonista efectivo de los principales patógenos poscosecha. Otras bacterias como *Pseudomonas* spp., presentan actividad de biocontrol contra *P. digitatum* en limones y naranjas (Panebianco et al., 2015). Por otro lado, Luo et al. (2012) trabajando con la levadura biocontrol *Pichia membranifaciens* demostraron que controlaron diversas enfermedades fúngicas poscosechas de diferentes frutos en cítricos.

Técnicas poscosecha de origen físico

Pássaro et al. (2012) indicaron que la conservación a temperaturas bajas (3-5 °C para naranjas y mandarinas y 10-14 °C para limas, limones y pomelos, siempre con un 90-98% HR) fue un sistema físico complementario a otros tratamientos antifúngicos. Sin embargo, el almacenamiento a bajas temperaturas, puede afectar la calidad del fruto, el cual varía en función de la especie y las variedades de la especie (Ghasemnezhad et al., 2008; Balaguera y Palacios, 2018). El almacenamiento en estas condiciones no ejerció por sí mismo una actividad fungicida, pero sí una acción fungistática de inhibición o retraso del crecimiento de los patógenos. Por otro lado, ralentizó la actividad metabólica del fruto y retrasó la senescencia, ayudando así a mantener la resistencia natural del fruto a la infección (Pássaro et al., 2012).

Los principales tratamientos físicos antifúngicos se basaron en la aplicación de calor, ya sea mediante aire o agua caliente (Palou 2013). Los tratamientos más convencionales de curado en cítricos consistieron en la exposición de los frutos a temperaturas superiores a 30 °C y HR superiores al 90% durante 1-3 días. En relación a la influencia de temperatura, a 25 °C, *P. digitatum* y *P. italicum* alcanzaron el 100% de esporas germinadas dentro de las 15 h posteriores a la inoculación, mientras que su germinación se retrasó y disminuyó cuando la temperatura decayó a 10 y 4 °C o sobrepasó los 37 °C (Plaza et al., 2003).

Nunes et al. (2007) verificaron que el curado a 40 °C durante 18 horas permitió reducción total de la podredumbre verde y azul en naranja Valencia de diferentes orígenes y conservadas a 5 °C durante 5 días seguidas de 20 °C durante 7 días; asimismo, observaron que este curado no afectó negativamente la calidad de las naranjas (Nunes, 2007). Otro tratamiento gaseoso ensayado es la fumigación de cítricos con amoníaco (Montesinos-Herrero, 2011). La aplicación de 3.000 ppm de amoníaco a 22 °C durante 6 horas controló satisfactoriamente la podredumbre verde en naranjas y limones. Además, este sistema de control se mostró sinérgico con la aplicación de IMZ a dosis muy bajas.



Conclusiones

Las nuevas tecnologías que se investigan para el manejo de enfermedades poscosecha, entre ellas el uso de bioquímicos, biológicos y físicos son excelentes alternativas de manejo de las enfermedades poscosecha. Sin embargo, el uso de una sola medida no es suficiente, siendo necesario la aplicación de al menos dos medidas de manejo. Estos métodos de control enfatizan la prevención de enfermedades; no obstante, cada método utilizado reduce el porcentaje de daño en cierta cantidad, por lo que la combinación de los mismos resultaría una combinación eficaz, ciertamente esta alternativa debería evaluarse a profundidad para evitar daños posteriores en la calidad del fruto y la salud.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Ashebre, K. (2015). Pre-harvest and post-harvest factors affecting citrus fruit and post-harvest treatments. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5, 19-29.
- Ariza, M. R., Larsen, T. O., Duus, J. Ø. y Barrero, A. F. (2002). *Penicillium digitatum* metabolites on synthetic media and citrus fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 6361-6365.
- Abraham, A. O., Laing, M. D. and Bower, J. P. (2010). Isolation and in vivo screening of yeast and *Bacillus* antagonists for the control of *Penicillium digitatum* of citrus fruit. *Biological Control*, 53(1), 32-38. doi:10.1016/j.biocontrol.2009.12.
- Balaguera, H. y Palacios, E. (2018). Comportamiento poscosecha de frutos de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco) var. Arrayana: efecto de diferentes tratamientos térmicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 369-378. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7702>.
- Ballester, A. (2007). *Resistencia frente a la infección por Penicillium digitatum durante la poscosecha de los frutos cítricos bases moleculares y metabolismo de fenilpropanoides*. Valencia: Universitat de Valencia (Tesis doctoral). Universitat de Valencia, España.
- Brown, G. (s.f.). *Citrus disease-posharvest*. Florida Department of Citrus. Lake Alfred. 145-150.
- Boubaker, H., Saadi, B., Boudyach, E. and Benaoumar, A. (2009). Sensitivity of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* to Imazalil and Thiabendazole in Morocco. *Plant Pathology Journal*, 4, 152-158.
- Camarasa, A. (2012). *Beneficios de tiabendazol en conservación*. Encuentro de los profesionales en sanidad vegetal. pp. 104-105. España: Phytoma.
- Camiletti, B., Lichtemberg, P., Paredes, J., Carraro, T., Velascos, J. and Michailides, T. (2022). Characterization, pathogenicity, and fungicide sensitivity of *Alternaria* isolates associated with preharvest fruit drop in California citrus. *Fungal Biology*, 126 (4), 277-289.
- Chen, J., Shen, Y., Chen, C. and Wan, C. (2019). Inhibition of key citrus postharvest fungal strains by plant extracts in vitro and in vivo: A review. *Plants* 8, 26.
- D'Aquino, S., Angioni, A., Suming, D., Palma, A. and Schirra, M. (2013). Residue levels, persistence and effectiveness of imazalil against a resistant strain of *Penicillium digitatum* when applied in combination with heat and sodium bicarbonate. *Commun. Agric Appl. Biol. Sci.*, 78(2):139-149. PMID: 25145234.
- Demain, L. (2014). Importance of microbial natural products and the need to revitalize their discovery. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 41, 185-201. DOI 10.1007/s10295-013-1325
- Droby, S., Eick, A., Macarisin, D., Cohen, L., Rafael, G., Stange, R., McColumb, G., Dudai, N., Nasser, D., Wisniewski, M. and Shapira, R. (2008). Role of citrus volatiles in host recognition, germination and growth of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 386-396.
- Dukare, A. S., Paul, S., Nambi, V. E., Gupta, R. K., Singh, R., Sharma, K. and Vishwakarma, R. K. (2019). Exploitation of microbial antagonists for the control of postharvest diseases of fruits: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 59, 1498-1513.
- Eckert, J. (1978). Post-harvest diseases of citrus fruits. *Agriculture*, 9, 225-232.
- Eckert, J. and Eaks, I. (1989). *Postharvest disorders and diseases of citrus fruits*. pp. 179-260. In: The citrus industry. Reuther, W., Calavan, E., Carman, G. (Eds.). Berkeley: University of California Press.
- Erasmus, A., Lennox, Ch., Korsten, L., Lesar, K. and Fourie, P. (2015). Imazalil resistance in *Penicillium digitatum* and *P. italicum* causing citrus postharvest green and blue mould: Impact and options. *Postharvest Biology and Technology*, 107, 66-76. doi:10.1016/j.postharvbio.2015.05.008
- European Food Safety Authority (EFSA). (2014). Scientific opinion on the risk of *Phyllosticta citricarpa* (*Guignardia citricarpa*) for the EU territory with identification and evaluation of risk reduction options. *EFSA Journal*, 12, 2-243.

- Farr, D. and Rossman, A. (2013). Fungal databases, systematic mycology and laboratory. ARS, USDA: <https://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/>.
- Frisvad J. (2018). A critical review of producers of small lactone mycotoxins: Patulin, penicillic acid and moniliformin. *World Mycotoxin J.*, 11, 73-100. doi: 10.3920/WMJ2017.2294.
- Forsyth, J. and Damiani, J. (2016). *Encyclopedia of foods sciences an nutrition*. Baja California, USA: Edición Second.
- Ghasemnezhad, M., Marsh, K., Shilton, R., Babalar, M. and Woolf, A. (2008). Effect of hot water treatments on chilling injury and heat damage in 'satsuma' mandarins: Antioxidant enzymes and vacuolar ATPase, and pyrophosphatase. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 364-371.
- González, R. (2013). *Aplicación de esencias de canela y clavo como alternativa a los fungicidas de síntesis en el control de las podredumbres de limón*. Cartagena, Colombia.
- Guédez, C., Cañizalez, L., Castillo, C., Olivar, R. and Maffei, M. (2010). Alternativas para el control de hongos poscosecha en naranjas valencia (*Citrus sinensis*). (2. f.-2. Retrieved July 30, Ed.). *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 34(2), 43-47.
- Hanif, Z. and Ashari, H. (2021). *Post-harvest losses of citrus fruits and perceptions of farmers in marketing decisions*. E3S Web of Conferences, 306, 02059. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130602059>.
- Henrique, J., Moraes, J., Guilherme de Moraes, J. and Pacheco, T. (2019). *Penicillium digitatum* infection mechanisms in citrus: What do we know so far? *Biología Fúngica*, 123(8), 584-593.
- Hoa, W., Li, H., Hu, M., Yang, L. and Rizwan-ul-Haq, M. (2010). Integrated control of citrus green and blue mold and sour rot by *Bacillus amyloliquefaciens* in combination with tea saponin. *Postharvest Biology and Technology*, 59, 316-323.
- Hong, P., Hao, W., Luo, J., Chen, S., Hu, M. and Zhong, G. (2014). Combination of hot water, *Bacillus amyloliquefaciens* HF-01 and sodium bicarbonate treatments to control postharvest decay of mandarin fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 88, 96-102.
- Iqbal, Z., Iqbal, J., Abbas, I. and Kamran, M. (2017). Innovative strategies for eco-friendly management of citrus blue mold disease caused by *Penicillium italicum* Whemer. *Agriculture & Food*, 5, 361-365.
- Jenssen, H., Hamill, P. and Hancock, R. E. (2006). Peptide antimicrobial agents. *Clin. Microbiol. Rev.*, 19, 491-511. doi: 10.1128/CMR.00056-05
- Jurak, G., Bosnir, J., Dikic, D., Mojsovic, A., Pavlinic, I., Racz, A., Jukic, T., Stubljar, D. and Starc, A. (2021). The risk assessment of pesticide ingestion with fruit and vegetables for consumer's health. *Hindawi International Journal of Food Science*, 8 p.
- Kanetis, L., Förster, H. and Adaskaveg, J. E. (2008). Baseline sensitivities for new postharvest fungicides against *Penicillium* spp. on citrus and multiple resistance evaluations in *P. digitatum*. *Plant Dis.* 92, 301-310. doi:10.1094 / PDIS-92-2-0301
- Ladino, E. (2020). *Evaluación del fungicida imazalil en el control de Penicillium spp., en limón Meyer (Citrus meyerii Y)*. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas, Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito, Ecuador.
- Lado, J., Luque, E., Blanco, O. y Pérez-Faggiani, E. (2011). Evaluación de alternativas para el control poscosecha de aislamientos de *Penicillium digitatum* resistentes a imazalil. *Agrociencia Uruguay*, 15, 55-63.
- Lado, J., Perez, E., De Nigris, A., Dol, I. y Knochen, M. (2013). Residuos en frutos de naranja del fungicida imazalil aplicado en poscosecha y su efecto en el control de moho verde. *Agrociencia Uruguay*, 17(2), 83-90.
- Li, T., Shi, D., Wu, Q., Yin, C., Li, F., Shan, Y. and Jiang, Y. (2019). Mechanism of cellwall polysaccharides modification in harvested 'Shatangju' Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruit caused by *Penicillium italicum*. *Biomolecules*, 9, 1-13.
- Lu, L., Lu, H., Wu, C., Fang, W., Yu, C., Ye, C. and Zheng, X. (2013). *Rhodosporidium paludigenum* induces resistance and defense-related responses against *Penicillium digitatum* in citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 196-202.
- Luo, Y., Zeng, K. and Ming, J. (2012). Control of blue and green mold decay of citrus fruit by *Pichia membranefaciens* and induction of defense responses. *Sci. Hortic.*, 135, 120-127.
- Mercier, J. and Smilanick, J. (2005). Control of green mold and sour rot of stored lemon by biofumigation with *Muscodor albus*. *Biological Control*, 32, 401-407.
- Montesinos-Herrero, C., Smilanick, J. L., Tebbets, J. S., Walse, S. and Palou, L. (2011). Control of citrus postharvest decay by ammonia gas fumigation and its influence on the efficacy of the fungicide imazalil. *Postharvest Biol. Technol.*, 59(1), 85-93.
- Murray, R., Candan, A. y Vázquez, D. (2019). *Manual de poscosecha de frutas*. Manejo integrado de patógenos. Buenos Aires: INTA.
- Muñoz Lazcano, A. A. (2011). *Derterminación del tiempo de frigo conservación y calidad de frutos de limón mexicano de clones sin espina y sin semilla*. (Master's thesis).
- Nunes, C., Usall, J., Manso, T., Torres, R., Olmo, M. and García, J. M. (2007). Effect of high temperature treatments on growth of *Penicillium* spp. and their development on 'Valencia' oranges. *Food Science and Technology International*, 13(1), 63-68.



- Naqvi, S. A. M. H. (2004). *Diagnosis and management of pre and post-harvest diseases of citrus fruit*. In: Naqvi, S. A. M. H. (Ed.). *Diseases of fruits and vegetables Volume I*. Springer, Dordrecht.
- El-Otmani, M. and Ait-Oubahou, A. (2011). *Citrus spp.: orange, mandarin, tangerine, clementine, grapefruit, pomelo, lemon and lime*. pp. 437-514. In: Yahia, E. *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Oxford: Woodhead Publishing Limited.
- Pássaro, C., Nunes, C. and Palou, L. (2012). *Control of postharvest diseases*. pp. 286-305. In: Garcés, L. (Ed.). *Citrus: cultivation, post-harvest and industrialization*. Caldas: Lasallian University Corporation
- Palou, L. (2013). *Heat treatments for the control of citrus postharvest green mold caused by Penicillium digitatum*. pp. 508-514. In: Mendez, A. (Ed.). *Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education*. Bajadoz, España. Formatex.
- Palou, L. (2014). *Penicillium digitatum, Penicillium italicum (Green Mold, Blue Mold)*. pp. 45-102. In: Bautista, S. (Ed.). *Postharvest Decay*. Elsevier Inc.
- Panebianco, S., Vitale, A., Polizzi, G., Scala, F. and Cirvilleri, G. (2015). Enhanced control of postharvest citrus fruit decay by means of the combined use of compatible biocontrol agents. *Biological Control*, 84, 19-27. doi:10.1016/j.biocontrol.2015.02.001.
- Peever, T., Carpenter-Boggs, L., Timmer, L., Carris, L. and Bhatia, A. (2005). Citrus black rot is caused by phylogenetically distinct lineages of *Alternaria alternata*. *Phytopathology*, 512-518.
- Pierce, N. (1902). Black rot of oranges. *Botanical Gazette*, 234-235.
- Plaza, P., Usall, J., Teixidó, N. and Viñas, I. (2003). Effect of water activity and temperature on germination and growth of *Penicillium digitatum*, *P. italicum* and *Geotrichum candidum*. *Journal of Applied Microbiology*, 94, 549-554.
- Pu, L., Jingfan, F., Kai, C., Chao-an, L. and Yunjiang, C. (2014). Phenylethanol promotes adhesion and biofilm formation of the antagonistic yeast *Kloeckera apiculata* for the control of blue mold on citrus. *FEMS Yeast Res.*, 14, 536-546.
- Prusky, D., McEvoy, J., Saftner, R., Conway, W. and Jones, R. (2004). Relationship between host acidification and virulence of *Penicillium* spp. on apple and citrus fruit. *Phytopathology*, 94, 44-51.
- Qian, X., Yang, Q., Zhang, Q., Abdelhai, M. H., Dhanasekaran, S., Serwah, B. N. A., Gu, N.; and Zhang, H. (2019). Elucidation of the initial growth process and the infection mechanism of *Penicillium digitatum* on postharvest citrus (*Citrus reticulata* Blanco). *Microorganisms*, 7, 485, 1-15. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7110485>
- Ritenour, M., Zhang, J., Cano, L. and Dewdney, M. (2022). *2022-2023 Florida citrus production guide: Decay control of Florida fresh citrus*. UF/IFAS Extension publications doi.org/10.32473/edis-ch081-2022
- Ron, P., Amnon, L., Leon, T., Harker, R. and Buzby, J. (2018). Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers homes: Quantifications, causes, and means of prevention. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 135-149.
- Saito, S. and Xiao, C. (2017). Emerging post-harvest fruit root diseases of mandarins. *Citrograph*, 8, 44-47.
- Sonkar, R., Sarnaik, D., Dikshit, S., Saroj, P. and Huchche, A. (2008). Post-harvest management of citrus fruits: A review. *Journal Food Science Technology*, 45(3), 199-208.
- Terao, D., de Lima Nechet, K., Silva Ponte, M., Nunes Maia, A. de H., Delgado de Almeida Anjos, V. and Halfeld-Vieira, B de A. (2017). Physical postharvest treatments combined with antagonistic yeast on the control of orange green mold. *Sci. Hortic.*, 224, 317-323.
- Toffano, L., Fialho, M. B. and Pascholati, S. F. (2017). Potential of fumigation of orange fruits with volatile organic compounds produced by *Saccharomyces cerevisiae* to control citrus black spot disease at postharvest. *Biol. Control*, 108, 77-82.
- Thirunavukkarasu, S. A., Kumar, N. V. and Rawat, V. (2020). A review on techniques of various post-harvest treatments on *Citrus* spp. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 9(11), 2670-2680.
- Tuset, J. (2015). Perspectivas del control de podredumbres en poscosechas de cítricos. *Revista Levante Agrícola de España*, 277-280.
- Umer, M., Mubeen, M., Ateeq, M., Shad, M., Atiq, M., Kaleem, M., Iqbal, S., Shaikh, A., Ullah, I., Khan, M., Kalhor, A. and Abbas, A. (2021). Etiology, epidemiology and management of citrus black rot caused by *Alternaria citri*- an outlook. *Plant Protection*, 05, 105-115.
- Valarezo-Concha, A., Valarezo Cely, O., Mendoza-García, A.; Álvarez-Plúa, H. (2014). *Guía técnica sobre el manejo de los cítricos en el litoral ecuatoriano*. Portoviejo, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias-Estación Experimental Portoviejo. Manual Técnico N° 101.

- Velásquez, M., Álvarez, R., Tamayo, P. y Carvalho, C. (2014). Evaluación in vitro de la actividad fungistática del aceite esencial de mandarina sobre el crecimiento de *Penicillium* sp. *Corpoica Ciencia Tecnológica Agropecuaria*, 15, 7-14.
- Visintin, G., Fállico, L. y García, B. (2010). Manejo de mohos poscosecha de cítricos mediante antagonistas microbianos. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 40, 187-214.
- Wan, C., Kahramanoglu, I., Chen, J., Gan, Z. and Chen, C. (2020). Effects of hot air treatments on postharvest storage of newhall navel orange. *Plants*, 9, 1-15.
- Wang, M., Sun, X., Zhu, C., Xu, Q., Ruan, R., Yu, D. and Li, H. (2014). *PdbrlA*, *PdabaA* and *PdwetA* control distinct stages of conidiogenesis in *Penicillium digitatum*. *Research in Microbiology*, 166, 56-65.
- Wang, H., Tao, N., Huang, S. and Liu, Y. (2012). Effect of Shatangju (*Citrus reticulata* Blanco) essential oil on spore germination and mycelium growth of *Penicillium digitatum* and *P. italicum*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 15(5), 715-723.
- Wang, W., Liu, S., Deng, L., Ming, J., Yao, S. and Zeng, K. (2018). Control of citrus post-harvest green molds, blue molds, and sour root by the Cecropin A-Melittin Hybrid Peptide BP21. *Front. Microbiol.*, 1-9.
- Wang, W., Feng, G., Li, X., Ruan, C., Ming, J. and Zeng, K. (2021). Inhibition of three citrus pathogenic fungi by peptide PAF56 involves cell membrane damage. *Foods*, 10:2031, 1-11. doi: 10.3390/foods10092031
- Wang, X., Chen, G., Huang, F., Zhang, J., Hide, K. D. and Li, H. (2012). *Phyllosticta* species associated with citrus diseases in China. *Fungal Divers*, 52(1), 209-224.
- Yahyazadeh, M., Zare, R., Omidbaigi, R., Faghieh-Nasiri, M. and Abbasi, M. (2009). Control of *Penicillium decay* on citrus fruit using essential oil vapours of thyme or clove inside polyethylene and nano-clay polyethylene films. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 84, 403-409.
- Yang, Q., Qian, X., Dhanasekaran, S., Boateng, N. A. S., Yan, X., Zhu, H., He, F. and Zhang, H. (2019). Study on the infection mechanism of *Penicillium digitatum* on postharvest citrus (*Citrus reticulata* Blanco) based on transcriptomics. *Microorganisms*, 7(12), 672.
- Youssef, K., Ligorio, A., Sanzani, S., Nigro, F. and Ippolito, A. (2012). Control of storage diseases of citrus by pre- and postharvest application of salts. *Postharvest Biology and Technology*, 72, 57-63.
- Zhao, W., Bai, J., McCollum, G. and Baldwin, E. (2015). High incidence of preharvest colonization of huanglongbing symptomatic *Citrus sinensis* fruit by *Lasiodiplodia theobromae* (*Diplodia natalensis*) and exacerbation of postharvest fruit decay by that fungus. *Applied and Environmental Microbiology*, 81, 364-372.
- Zhong, G. and Nicolosi, E. (2020). *Citrus origin, diffusion, and economic importance*. pp. 5-21. Gentile, A., La Malfa, S. and Deng, Z. (Eds.). *The Citrus Genome*. Compendium of Plant Genomes. Cham, Switzerland: Springer.

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Cristhian Jesús Chávez Caicedo	Propuesta de tema y búsqueda de artículos relacionados a la temática, escritura de referencia.
Jessenia Rosanna Castro Olaya	Propuesta de tema y búsqueda de artículos relacionados a la temática, análisis de la información recopilada, revisión del documento e incorporación de información.
Adriana del Carmen Celi Soto	Revisión del documento e incorporación de información y referencias bibliográficas.
Dorys Terezhina Chirinos Torres	Revisión del documento e incorporación de información y referencias bibliográficas.





Comportamiento de insectos exudívoros en plantas del estado Zulia, Venezuela

Behavior of exudivorous insects on plants in Zulia State, Venezuela

Autores

- ✉ ^{1*}Antonio Vera
- ✉ ²Maritza Martínez
- ✉ ¹Eloy León
- ✉ ¹Mauricio García
- ✉ ¹Rafael Maldonado

¹Laboratorio de Ecología, Centro de Investigaciones Biológicas, Facultad de Humanidades y Educación, Universidad del Zulia, Apartado 526, Maracaibo 4001-A, estado Zulia, Venezuela.

²Centro de Investigaciones en Química de los Productos Naturales “Dra. Gladys León de Pinto”, Facultad de Humanidades y Educación, Universidad del Zulia, Apartado 526, Maracaibo 4001-A, estado Zulia, Venezuela.

*Autor de correspondencia.

Citacion sugerida: Vera, A., Martínez, M., León, E., García, M. y Maldonado, R. (2023). Comportamiento de insectos exudívoros en plantas del estado Zulia, Venezuela. *La Técnica*, 13(1), 18-23. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5376>

Recibido: Diciembre 09, 2022

Aceptado: Marzo 08, 2023

Publicado: Marzo 16, 2023

Resumen

La investigación amplía la información sobre la exudivoría como interacción animal-planta cuyos estudios y conocimientos científicos generados son muy escasos en el país. Se determinó el comportamiento de insectos exudívoros en plantas del estado Zulia, Venezuela. La investigación se realizó en los municipios Maracaibo y Santa Rita, estado Zulia, Venezuela durante el periodo de sequía (enero-marzo, 2017). La producción del exudado se estimuló mediante la práctica de heridas en el tallo. Se llevaron a cabo dos visitas semanales a las plantas con exudados (durante tres semanas), entre 9:00 am y 12:00 del mediodía, y se constató el desplazamiento (recorridos) de los insectos sobre el exudado, su recolecta, almacenaje en regiones del cuerpo e ingesta (consumo) del mismo. Se determinaron taxonómicamente nueve morfoespecies, como *Polybia occidentalis*, *Dysdercus* sp., un escarabajo Curculionidae, *Componotus* sp., *Crematogaster* sp. y *Zacriptocerus* sp., no ingirieron ni recolectaron exudados de *Cochlospermum vitifolium* ni de *Sterculia apetala*. *Trigona* sp. 1 tomó el exudado de *Bursera tomentosa*, formó pequeñas esferas y lo recolectó en la parte dorsal de su tercer par de patas, mientras que *Trigona* sp. 2 probablemente se alimentó de la goma de *Eucalyptus camaldulensis*. *Melipona favosa* recolectó exudado de *Mangifera indica* en sus patas traseras y lo consumió. Se concluyó que existen especies visitantes de los exudados, *M. favosa* es exudívora, mientras que *Trigona* sp. 1 al recolectar el exudado en su cuerpo, se estima que lo utilice en el nido.

Palabras clave: exudado; exudivoría; *Melipona favosa*; *Trigona*; resina.

Abstract

The research expands the information on exudivory as an animal-plant interaction whose studies and scientific knowledge generated are very scarce in the country. The behavior of exudivorous insects on plants in the state of Zulia, Venezuela, was determined. The research was conducted in the municipalities Maracaibo and Santa Rita, Zulia state, Venezuela during the drought period (January-March, 2017). Exudate production was stimulated by practicing stem wounding. Two weekly visits to the plants with exudates were carried out (during three weeks), between 9:00 am and 12:00 noon, and the displacement (traverses) of the insects on the exudate, its collection, storage in body regions and ingestion (consumption) of the exudate were noted. Nine morphospecies were taxonomically determined, such as *Polybia occidentalis*, *Dysdercus* sp., a Curculionidae beetle, *Componotus* sp., *Crematogaster* sp. and *Zacriptocerus* sp. did not ingest or collect exudates of *Cochlospermum vitifolium* or *Sterculia apetala*. *Trigona* sp. 1 took the exudate of *Bursera tomentosa*, formed small spheres and collected it on the dorsal part of its third pair of legs, while *Trigona* sp. 2 probably fed on the gum of *Eucalyptus camaldulensis*. *Melipona favosa* collected *Mangifera indica* exudate on its hind legs and consumed it. It was concluded that there are exudate visitor species, *M. favosa* is exudivorous, while *Trigona* sp. 1 collected the exudate on its body and is estimated to use it in the nest.

Keywords: exudate; exudivory; *Melipona favosa*; *Trigona*; resin.

Introducción

Los exudados o gomas son secreciones de plantas superiores originadas a nivel del tallo y las ramas como respuesta a heridas naturales y/o mecánicas. Químicamente se definen como polímeros complejos, heteropolisacáridos ácidos, que incluyen además una fracción proteica y en algunos casos, otra lipídica (Martínez et al., 2016).

Estos exudados son de gran importancia en la sociedad dada sus aplicaciones como emulsionantes, gelificantes, espesantes, adhesivos, inhibidores de cristalización, encapsulantes, entre otros usos en diversas industrias (Nussinovitch, 2010).

La producción de estos exudados en las comunidades vegetales a nivel silvestre, representan una buena fuente de energía metabólica para algunos animales incluyendo a los insectos. La exudivoría es una categoría dietética aplicada a los animales gomívoros que consumen predominantemente exudados de plantas (gomas) durante todo el año o en un periodo o estación en particular.

En tal sentido, la investigación de Roubik (1992) ha señalado a insectos visitantes florales, que toman de las plantas otras fuentes de recursos vegetales como las resinas y exudados; y de acuerdo a Chow et al. (2005) algunos se especializan en la recolección de tales secreciones como resinas, aceites, gomas y tilos, que son ricas en carbohidratos.

Por otro lado, se ha reportado que el hemíptero reduvido *Apiomerus flaviventris* recolectó la resina del arbusto perenne *Encelia farinosa* (Asteraceae) en el Parque Estatal del Desierto de Anza Borrego, California, Estados Unidos, y la utilizó en el recubrimiento y protección de sus huevos; de esta manera los resguardó y evitó que éstos fueran atacados por depredadores onnivóros (Choe y Rust, 2007).

El trabajo de Boff et al. (2008) destacó el registro de 19 especies de insectos visitantes que recolectaron e ingirieron la goma de *Terminalia argentea* (Combretaceae) en Brasil y el estudio de Weissmann y Schaefer (2015) describió a la “abeja productora de miel” *Apis mellifera* recolectando el látex de *Azorina vidualii* (Campanulaceae) en el archipiélago Azores en España.

Además de ello, Ávila-Núñez et al. (2016) señalaron que la chinche de las resinas, *Heniartes stali* recolectó y manipuló el exudado (fluido pegajoso) secretado por los tricomas glandulares de la mora andina *Rubus cf. adenotrichos* (Rosaceae) de los Andes venezolanos, en el estado Mérida, y además se ha indicado que este insecto reduvido empleó este material “pegajoso” (adherente) para atrapar a sus presas (Ávila-Núñez et al., 2017).

Por otra parte, Scaccini y Pozzebon (2021) reportaron a *Polistes dominula*, *Vespa crabro*, *Formica (Serviformica) cunicularia* y *Lasius emarginatus* alimentándose de los exudados de *Fraxinus*

ornus (Oleaceae) en una investigación experimental llevada a cabo en la Universidad de Padua, Legnaro, Italia.

La presente investigación es importante y tiene alcances considerables dado que ésta indaga y amplía el conocimiento sobre el vacío de información existente de esta interacción animal-planta, en particular de la exudivoría (tipo de herbivoría), como hábito de alimentación (interacción trófica) entre insectos y este tipo de recurso vegetal (exudados, gomas, látices, resinas), así como también otros usos. También se destaca que los trabajos relacionados a esta temática científica son escasos, y en Venezuela, en el estado Zulia se ha indagado muy poco.

Además, es importante resaltar que el actual estudio científico emplea la valiosa información generada y disponible en el reciente trabajo de Vera et al. (2020) sobre especies productoras de exudados de diferentes familias botánicas inventariadas en las comunidades vegetales de las zonas de vida de bosque seco y bosque muy seco tropical, estado Zulia. Al hacer uso de esta información previa, la presente investigación sobre insectos exudívoros permitiría realizar un enlace entre el conocimiento botánico y la conducta insectívora para disponer de información inédita sobre este tipo de interacción animal-planta.

El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento de insectos exudívoros en plantas del estado Zulia, Venezuela.

Metodología

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en dos áreas de estudio; la primera de éstas fue la zona sur del bosque xerófilo de la Reserva de Fauna Silvestre Ciénaga de La Palmita e Isla de Pájaros, localizada en la Costa Oriental del Estrecho del Lago de Maracaibo, municipio Santa Rita, estado Zulia, Venezuela. En esta zona destacaron comunidades vegetales integradas por especies xerófilas espinosas, cactáceas y deciduas adaptadas a condiciones climáticas semiáridas.

La segunda zona de estudio correspondió a las áreas verdes de los jardines internos de la Facultad de Humanidades y Educación, Universidad del Zulia (LUZ), Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. Ambas áreas de estudio correspondieron a zonas de vida de bosque muy seco tropical (b-msT) (Ewel y Madriz, 1968).

Muestreos, recolecta e identificación de las especies

Los muestreos se realizaron mensualmente durante el periodo de sequía enero-marzo de 2017. La exudación se estimuló mediante la práctica de heridas mecánicas realizadas a nivel del tallo de árboles silvestres: un individuo de “incienso” *Bursera tomentosa* (Jacq.) Triana & Planch. (Burseraceae) y seis ejemplares de “bototo” *Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Spreng. (Bixaceae) de la Reserva de Fauna Silvestre (RSF) antes mencionada.

También se hicieron heridas en árboles sembrados de “eucalipto” *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (Myrtaceae), un individuo, “mango” *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae), un individuo, y “cacaíto” *Sterculia apetala* (Jacq.) H. Karst. (Sterculiaceae), seis individuos, en los jardines de la Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad del Zulia.

Las heridas se practicaron en forma de surco de 10 x 2 x 2 cm aproximadamente, en dirección horizontal, y en sentido perpendicular al eje principal vertical del tallo, a la altura del pecho (1,6 m); para ello se usó una pequeña hacha de mano (“hachuela”), de acuerdo a Vera et al. (2020).

El exudado se produjo, en promedio, 7 días después de la práctica de las heridas. Una vez que la secreción vegetal estuvo presente en las incisiones del tallo, se empleó la observación directa para la determinación del comportamiento de los insectos.

Se llevaron a cabo dos visitas semanales a las plantas con exudados en sus heridas (durante 3 semanas), y éstas se realizaron entre 9:00 am y 12:00 del mediodía, y tales observaciones directas se llevaron a cabo por 2 o 3 investigadores (observadores), y las mismas tuvieron una duración entre 5 y 15 minutos. Esto dependía si el insecto se posaba sobre la herida, recolectaba parte del exudado y lo depositaba en partes de su cuerpo, luego volaba (abandonaba el área del tallo con exudado) y de nuevo regresaba y se posaba y se desplazaba (caminaba) sobre el área de la secreción.

Durante el mencionado espacio de tiempo, se constataron aspectos de la conducta de los insectos basados en: desplazamiento (recorridos) de los animales posados sobre el material secretado, recolecta del exudado por el insecto, su almacenaje en regiones anatómicas del cuerpo e ingesta (consumo) del mismo por medio de las piezas bucales del animal. También se tomaron fotografías sobre la conducta de los insectos y para ello se empleó una cámara digital marca SONY Cyber-shot ZEISS Full HD 1080 de 7,2 Mega Pixels.

Los insectos se recolectaron para su traslado al laboratorio, a fin de realizar su determinación (identificación), hasta la categoría taxonómica más específica posible. Ésta fue llevada a cabo por Jesús Camacho, Museo de Artrópodos, Universidad del Zulia (MALUZ).

La determinación taxonómica de las especies vegetales se realizó a través de la confrontación con muestras preservadas del Herbario de la Universidad del Zulia “Omar Zambrano C.” (HERZU) de la Facultad de Agronomía de la misma universidad.

Resultados y discusión

La investigación determinó la presencia de nueve morfoespecies de insectos asociadas a los exudados de las especies vegetales *B. tomentosa*, *C. vitifolium*, *E. camaldulensis*, *M. indica* y *S. apetala* (tabla 1).

Los hallazgos revelaron que los individuos de la avispa *Polybia occidentalis* Olivier, la chinche *Dysdercus* sp. Guerin-Ménéville y las hormigas *Componotus* sp. Mayr, *Crematogaster* sp. Lund y *Zacriptocerus* sp. se posaron y se desplazaron (describieron recorridos caminando) sobre las heridas con exudado de los

Tabla 1. Morfoespecies de insectos asociados a los exudados de plantas en el estado Zulia, Venezuela.

Especie vegetal	Tipo de exudado ¹	Especie de insecto	Nº de insectos	Hora de visita
<i>Bursera tomentosa</i>	Goma-resina	<i>Trigona</i> sp. 1	6	11:30 a 12:00 m
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Goma-resina	<i>Crematogaster</i> sp.	7	11:30 a 12:00 m
<i>C. vitifolium</i>	Goma-resina	Indeterminada ²	3	11:30 a 12:00 m
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Kino	<i>Trigona</i> sp. 2	5	11:00 am
<i>Mangifera indica</i>	Goma-resina	<i>Melipona favosa</i>	1	10:30 am
<i>Sterculia apetala</i>	Goma-resina	<i>Camponotus</i> sp.	7	9:00 a 10:00 am
<i>S. apetala</i>	Goma-resina	<i>Crematogaster</i> sp.	6	9:00 a 10:00 am
<i>S. apetala</i>	Goma-resina	<i>Dysdercus</i> sp.	6	9:00 a 10:00 am
<i>S. apetala</i>	Goma-resina	<i>Polybia occidentalis</i>	4	9:00 a 10:00 am
<i>S. apetala</i>	Goma-resina	<i>Zacriptocerus</i> sp.	5	9:00 a 10:00 am

¹Vera et al., 2020, ²Curculionidae (Coleoptera).

árboles de *S. apetala*; esta misma situación se presentó con el escarabajo Curculionidae *Latreille* y la hormiga *Crematogaster* sp. sobre el exudado de *C. vitifolium*.

Durante las observaciones realizadas en dichos grupos de insectos, se constató que éstos no tomaron, no ingirieron y tampoco recolectaron en alguna zona de su cuerpo parte del exudado producido por estas dos especies vegetales; por tal razón fueron catalogados como visitantes.

Tales hallazgos, registrados en la presente investigación sobre las especies visitantes, fueron similares a los señalados para *Polistes cf. nimpha*, *Vespula germanica*, *Crematogaster scutellaris* y *Tapinoma subboreale* las cuales se comportaron como especies visitantes ocasionales ante los exudados de *F. ornus* (Scaccini y Pozzebon, 2021). Esta situación se podría interpretar como que hubo una especificidad fisiológica entre la calidad del aporte nutricional y/o metabólico del exudado y el requerimiento energético del insecto, así como también una correspondencia intrínseca entre el hábito de vida del insecto y la utilidad o uso que éste pueda hacer del material vegetal recolectado; lo que originó que hubo secreciones vegetales que no fueron afines a especies entomológicas particulares (específicas).

El árbol de *B. tomentosa* (Burseraceae) produjo un exudado oleoso y fragante, a nivel del cual se encontraron seis individuos de la abeja sin aguijón (ASA) *Trigona* sp. 1. (figura 1). Se observó que los insectos de esta especie de abeja se mantuvieron durante gran parte del tiempo de duración de la observación de la visita posados y recorriendo (“caminando”) a nivel de la herida con el exudado (aproximadamente 10 minutos), lo recolectaron formando pequeñas esferas que finalmente depositaron en la parte dorsal del tercer par de patas (posiblemente en la corbícula) y no se evidenció que lo consumieran (figura 2). Sin embargo,

y aunque no se precisó la ingesta de la secreción vegetal, fue probable que ésta si hubiera ocurrido dado el largo espacio de tiempo que los individuos de *Trigona* sp. 1 permanecieron sobre el exudado de *B. tomentosa*.



Figura 1. Herida en surco del tallo de “incienso” *Bursera tomentosa*. Se muestra a tres individuos de *Trigona* sp. 1 posados sobre el exudado.



Figura 2. Individuo de *Trigona* sp. 1 con exudado de *Bursera tomentosa* recolectado en forma de pequeñas esferas en el tercer par de patas (flechas rojas).

Existen estudios que indicaron que las abejas recolectaron una variedad de exudados vegetales incluyendo ceras cuticulares, mucílagos, gomas, resinas y látices; como el caso, de individuos de *A. mellifera* que recorrieron las ramas de *A. vidalii* (Campanulaceae), buscaron pequeñas heridas donde recientemente se había producido látex y lo recolectaron activamente con sus proboscis, patas intermedias y posteriores (Weissmann y Schaefer, 2015). De manera análoga, las ninfas y adultos de *H. stali* recolectaron el material (exudado pegajoso) de los tricomas glandulares de *R. cf. adenotrichos* con las patas delanteras, lo transfirieron a las patas medias y finalmente lo almacenaron en una zona visiblemente pilosa de las patas posteriores (Ávila-Núñez et al., 2016; Jiménez-Pomárico et al., 2019).

Por otra parte, se observaron cinco individuos de *Trigona* sp. 2 (ASA) en *E. camaldulensis* (Myrtaceae), probablemente consumiendo su exudado (tabla 1). La observación directa sobre el comportamiento de estas cinco abejas sin aguijón duró aproximadamente 7 minutos, tiempo durante el cual se constató que los insectos se encontraron posados, recorriendo y caminado por toda el área de la herida con exudado. La relativa larga duración de la permanencia de los insectos sobre el exudado sugirió que *Trigona* sp. 2 pudiera haber consumido dicha secreción vegetal.

A nivel del exudado de *M. indica* (Anacardiaceae) se encontró un individuo de la abeja *Melipona favosa* y se constató que su conducta consistió en acercarse al tallo, descender, posarse sobre la herida, caminar sobre el exudado, recolectarlo y depositarlo en sus patas traseras (tercer par de patas). Además de acumular dicha secreción vegetal en su cuerpo, este individuo de *M. favosa* también consumió exudado, ya que empleó su estructura bucal lamedora (proboscis) para proyectarla y así tomar parte del material secretado e ingerirlo; este hecho permitió catalogar a *M. favosa* como una especie exudívora.

Luego de la ingesta del exudado, el individuo de *M. favosa* voló y se retiró momentáneamente a una distancia corta de la superficie de la herida, se mantuvo suspendido en el aire con el movimiento permanente y “activo” de las alas (hovering) y ejecutando dicha conducta se acercó otra vez a la herida, extendía su proboscis y de esta manera consumió de nuevo el exudado.

En este mismo sentido, existen reportes que indicaron que las abejas sin aguijón del género *Melipona* y *Trigona* utilizaron las resinas y gomas vegetales para recubrir la entrada de sus nidos (Michener, 1974; Roubik, 1989; Nates-Parra, 1995). Esto podría indicar que las abejas *M. favosa*, *Trigona* sp. 1 y *Trigona* sp. 2., señaladas en esta investigación de la región zuliana, transportaron los exudados hasta sus colmenas para tal fin.

Boff et al. (2008) han señalado que la abeja *T. branneri* utilizó el exudado de *Terminalia argentea* (Combretaceae) como una fuente de alimento, dada su baja concentración de proteínas y azúcares reductores y el elevado contenido de carbohidratos complejos de alto peso molecular que contribuyen al almacenamiento de reservas energéticas. Este comportamiento se asocia con la conducta de *M. favosa*, la cual se observó tomando con su estructura bucal lamedora el exudado de *M. indica*.

Con relación al comportamiento de *Trigona* sp. 1 con el exudado de *B. tomentosa*, Boff et al. (2008) indicaron que *T. branneri* además de ingerir el exudado líquido de *T. argentea*, esta especie también lo recolectó y lo almacenó seco en su cuerpo, específicamente a nivel de las corbículas. Aunado a esto, Barquero-Elizondo et al. (2019) han reportado que las abejas sin aguijón (ASA) están asociadas a la flora en regiones tropicales y subtropicales que les

proporcionan alimento, sitios para anidamiento, resinas, savia y exudados.

Estos rasgos comparables y muy parecidos en la conducta de estas abejas sin aguijón *Trigona* sp. 1 y *T. banneri* indicó que ambas especies exhibieron un comportamiento similar como insectos de hábitos exudívoros.

Conclusiones

La investigación reveló que existen especies visitantes de los exudados y otras como *M. favosa* que es exudívora, mientras que *Trigona* sp. 1 se mantuvo muy activa al recolectar en su cuerpo el exudado, lo cual se estima que lo emplee con otros fines a nivel del nido o colmena.

Recomendaciones

Ampliar la investigación a otras especies vegetales, incrementar el periodo de muestreos y emplear técnicas más sofisticadas de observación del comportamiento de los insectos en contacto con los exudados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Jesús Camacho del Museo de Artrópodos, Universidad del Zulia (MALUZ), por la colaboración prestada en la determinación taxonómica de los insectos.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Ávila-Núñez, J. L., Naya, M., Otero, L. D. and Alonso-Amelot, M. E. (2016). A resin bug (Reduviidae: Harpactorinae: Apiomerini) harvesting the trichome secretion from an Andean blackberry. *Neotropical Biodiversity*, 2(1), 151-158.
- Ávila-Núñez, J. L., Naya, M., Otero, L. D. and Alonso-Amelot, M. E. (2017). Sticky trap predation in the Neotropical resin bug *Heniartes stali* (Wygodzinsky) (Hemiptera: Reduviidae: Harpactorinae). *Journal of Ethology*, 35, 213-219.
- Barquero-Elizondo, A. I., Aguilar-Monge, I., Méndez-Cartín, A. L., Hernández-Sánchez, G., Sánchez-Toruño, H., Montero-Flores, W., Herrera-González, E., Sánchez-Chaves, L. A., BarrantesVásquez, A., Gutiérrez-Leitón, M., Mesén-Montano, I. y Bullé-Bueno, F. (2019). Asociación entre abejas sin aguijón (Apidae, Meliponini) y la flora del bosque seco en la región norte de Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(1), 70-91 DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.53-1.4>.
- Boff, S., Garciolli, G., Boaretto, A. G. y Marques, M. R. (2008). Insetos visitantes de gomas exudadas por *Terminalia argentea* Mart & Zucc (Combretaceae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 52(3), 477-479.
- Choe, D.-H. and Rust, M. K. (2007). Use of plant resin by a bee assassin bug, *Apiomerus flaviventris* (Hemiptera: Reduviidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 100(2), 320-326.
- Chow, J. K., Akhtar, Y. and Isman, M. B. (2005). The effects of larval experience with a complex plant latex on subsequent feeding and oviposition by the cabbage looper moth: *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). *Chemoecology*, 15, 129-133.
- Ewel, J. y Madriz, A. (1968). *Zonas de vida de Venezuela*. Caracas, Venezuela: Editorial Sucre. Recuperado de: https://books.google.cl/books/about/Zonas_de_vida_de_Venezuela.html?id=U2Y_AAAAYAAJ&hl=es-419&output=html_text
- Jiménez-Pomárico, A., Ávila-Núñez, J. L., Oliveros-Bastidas, A., Rojas Márquez, F., Avendaño, M., Uzcátegui, D., Mendoza-Briceño, R. V., Dávila-Vera, D., Rojas, L. B. and Aparicio, R. (2019). Chemical and morpho-functional aspects of the interaction between a Neotropical resin bug and a sticky plant. *Rev. Biol. Trop.*, 60(3), 454-465.
- Martínez, M., Vera, A., Parra, J., Beltrán, O. and Morillo, A. (2016). Physicochemical and functional properties of bototo gum exudate *Cochlospermum vitifolium*. *International Journal of Food and Allied Sciences*, 2(2): 42-48.
- Michener, C. D. (1974). *The social behavior of the bees*. Cambridge: Bel Knop Press of Harvard University Press.
- Nates-Parra, G. (1995). Las abejas sin aguijón del género *Melipona* (Hymenoptera: Meliponinae) en Colombia. *Bol. Mus. Ent. Univ. Valle*, 3(2), 21-33.
- Nussinovitch, A. (2010). *Plant gum exudates of the world: sources, distribution, properties, and applications*. USA: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Roubik, D. W. (1989). *Ecology and Natural history of tropical bees*. Cambridge: University Press.
- Roubik, W. D. (1992). *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge: Tropical Biology series.
- Scaccini, D. and Pozzebon, A. (2021). Invasive brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) facilitates feeding of European wasps and ants (Hymenoptera: Vespidae, Formicidae) on plant exudates. *Eur. J. Entomol.*, 118, 24-30.
- Vera, A., Martínez, M., Vera, A. M. y Maldonado, R. (2020). Especies vegetales productoras de exudados de la Ciudad Universitaria "Antonio Borjas Romero", Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 37(Supl. 1), 68-77.
- Weissmann, J. and Schaefer, H. (2015). Honeybees (*Apis mellifera*) collect latex of Azores bellflowers (*Azorina vidalii*, Campanulaceae). *Arquipelago-Life and Marine Sciences*, 32, 87-89.

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Antonio Vera	Dirección general de la investigación, labores de campo y de laboratorio.
Maritza Martínez	Asesoría sobre los diferentes tipos de exudados.
Eloy León	Apoyo en las labores de campo y de laboratorio.
Mauricio García	Asesoría sobre la taxonomía y la conducta entomológica.
Rafael Maldonado	Apoyo en las labores de campo y de laboratorio.



Citoquininas en el crecimiento de cultivares de plátano *Musa* AAB en el primer ciclo de producción

Cytokinins in the growth of *Musa* AAB banana cultivars in the first production cycle

Autores

- ✉ ^{1*}Leonardo Avellán-Vásquez
- ✉ ²Silvia Alcívar-Vite
- ✉ ²Angélica Pazmiño-Anzules
- ✉ ¹José Randy Cedeño-Zambrano

¹Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen, Ecuador.

²Investigadoras independientes, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citacion sugerida: Avellán-Vásquez, L., Alcívar-Vite, S. Pazmiño-Anzules, A. y Cedeño-Zambrano, J. R. (2023). Citoquininas en el crecimiento de cultivares de plátano *Musa* AAB en el primer ciclo de producción. *La Técnica*, 13(1), 24-29. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5785>

Recibido: Mayo 21, 2023

Aceptado: Junio 06, 2023

Publicado: Junio 23, 2023

Resumen

Se realizó una investigación en El Carmen, Manabí, Ecuador, entre las coordenadas geográficas 0°13'57,0" S y 79°30'50,00" W, con el objetivo de evaluar la influencia de las citoquininas en dos cultivares en una plantación nueva, durante su primer ciclo de producción; se planteó un diseño de parcelas divididas donde en las parcelas principales se ubicaron las variedades del plátano 'Barraganete' y 'Dominico Hartón' y en las subparcelas las dosis de citoquininas (0,20; 0,16; 0,12 y un testigo con 0,00 cm³), los datos se tomaron en la emisión del belloteo y cosecha, se evaluaron parámetros agronómicos y productivos de las plantas. Se encontraron diferencias estadísticas (P<0,05) entre las dosis de citoquinina para el área foliar, en donde la dosis de 0,12 cm³ presentó el valor más alto con 1,52 cm²; la interacción de los factores determinaron diferencias estadísticas (P<0,05) entre la biomasa del pseudotallo y el número de hojas, el cultivo de plátano 'Barraganete' con 0,12 cm³ alcanzó 87,11 kg de biomasa en el pseudotallo, mientras que el plátano 'Dominico Hartón' redujo la producción de hojas con la disminución de las dosis de citoquinina, y en el 'Barraganete' la cantidad de hojas incrementó con las dosis bajas; en cuanto al rendimiento solo la biomasa de los dedos exportable presentó diferencias significativas (P<0,05) en cuanto a la interacción de los factores y las dosis de citoquinina, siendo el cultivo de 'Dominico Hartón' con 0,16 y 0,12 cm³ los tratamientos con mayor biomasa en esta variable.

Palabras clave: citoquinina; plátano; raíces; fitohormonas.

Abstract

An investigation was carried out in El Carmen, Manabí, Ecuador, between the geographical coordinates 0°13'57.0" S and 79°30'50.00" W, with the objective of evaluating the influence of cytokinins on two cultivars in a new plantation, during their first production cycle; A split-plot design was used where in the main plots were located the banana varieties 'Barraganete' and 'Dominico Hartón' and in the sub-plots the doses of cytokinins (0.20, 0.16, 0.12 and a control with 0.00 cm³), the data were taken in the emission of acorns and harvest, agronomic and productive parameters of the plants were evaluated. Statistical differences (P<0.05) were found between the doses of cytokinin for leaf area, where the dose of 0.12 cm³ presented the highest value with 1.52 cm²; the interaction of the factors determined statistical differences (P<0.05) between the biomass of the pseudostem and the number of leaves, the 'Barraganete' plantain crop with 0.12 cm³ reached 87.11 kg of biomass in the pseudostem, while the 'Dominico Hartón' plantain reduced the production of leaves with the decrease of the doses of cytokinin, and in the 'Barraganete' the quantity of leaves increased with the low doses; In terms of yield, only the biomass of exportable fingers showed significant differences (P<0.05) with respect to the interaction of the factors and the doses of cytokinin, with the 'Dominico Hartón' crop with 0.16 and 0.12 cm³ being the treatments with the highest biomass in this variable.

Keywords: cytokinin; banana; roots; phytohormones.

Introducción

América Latina y el Caribe actualmente representan uno de los principales exportadores de frutas cultivadas, la región posee condiciones climáticas propicias y tierras altamente productivas, tanto para musáceas, piñas, papayas, aguacates y mangos entre otros, aportando con el 25% de la producción global, en el año 2018, se registró un rendimiento que superó las 54 millones de toneladas en estas frutas, según los datos reportador (Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador, 2018).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, 2020) ha señalado que el plátano, al igual que otros cultivos, a menudo enfrentan problemas fitosanitarios que afectan su correcto crecimiento, especialmente en las raíces, cuya función es proporcionar anclaje y sostén a la planta para evitar su volcamiento y pérdida de productividad (Rodríguez, 2018); no obstante, los nematodos e insectos, como el picudo negro y amarillo, pueden atacar el sistema radical de las musáceas, especialmente cuando el desarrollo vegetal de las plantas es insuficiente debido a deficiencias nutricionales en las plantas o en el suelo.

Durante años el uso de nematicidas, insecticidas y fertilizantes de origen sintético, han reducido el ataque de plagas y enfermedades en cierta medida; sin embargo, esto ha ocasionado una degradación del suelo y la contaminación de fuentes hídricas cercanas, lo que limita la absorción de los nutrientes presentes en la superficie y disponibles para las plantas (Criado et al., 2021).

Cuando se aplican nematicidas al suelo y se dispersan en todo el ecosistema, las consecuencias ambientales pueden afectar los sistemas bióticos, incluyendo animales y plantas, esto puede aumentar el riesgo biológico para los seres humanos que consumen productos vegetales o proteína animal contaminada, lo que puede resultar en toxicidad (Del Puerto et al., 2014).

En la actualidad, la agricultura moderna y las necesidades alimentarias mundiales demandan tecnologías y recursos agrícolas más eficientes para aumentar la productividad de los agricultores; no obstante, es importante que estas tecnologías tengan en cuenta los aspectos ambientales y ecológicos para cuidar del suelo y del agrosistema de manera efectiva, sin descuidar el rendimiento y el beneficio económico del sistema productivo (Moreno et al., 2018).

Una opción para aumentar la biomasa vegetal en los cultivos incluidos los plátanos, son las aplicaciones de citoquininas, que son un grupo de fitohormonas que estimulan la división y diferenciación celular, al utilizarlas en los cultivos, estas benefician directamente el desarrollo y formación de las partes de las plantas, como las raíces, hojas y flores, lo que a su vez

puede tener un impacto indirecto en la fructificación (Checca, 2018).

Este trabajo de investigación se realizó para comprender cómo la aplicación de citoquininas puede influir en el desarrollo de estas dos variedades de plátano; 'Barraganete', el cuál es ampliamente distribuido, y el 'Dominico Hartón', en el cantón El Carmen y otros lugares, como El Vergel (Simba y Álvarez, 2018).

Materiales y métodos

El presente estudio de investigación se realizó en una finca localizada en la vía Chone-Santo Domingo, a la altura del km 38 en el cantón El Carmen perteneciente a la provincia de Manabí; el trabajo se llevó a cabo en dos cultivares de plátano, 'Barraganete' y 'Dominico Hartón', se aplicaron tres dosis de citoquinina 0,20; 0,16; 0,12 y un testigo con 0,00 cm³ por cada litro de agua; para el establecimiento de los cultivares se emplearon un total de 3.643,2 m² de superficie en distanciamientos entre plantas de 1,15 m e hileras de 4 m, se utilizaron 792 plantas en total, distribuidas entre ocho tratamientos y tres repeticiones por cada uno, en total se obtuvieron 24 unidades experimentales con 33 plantas en cada una; se planteó un diseño de parcelas divididas, las variedades de plátanos se ubicaron en las parcelas principales mientras que las dosis de citoquinina en las parcelas secundarias o subparcelas, la comparación de las medias se realizó con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad; el trasplante se realizó en hoyos con 30 x 30 x 30 cm de profundidad, ancho y longitud; el control de las arvenses se efectuó cuando estas alcanzaron una altura aproximada de 15 cm con el uso de glifosato en dosis de 2.000 cm³·ha⁻¹, la práctica del deshoje se realizó con la eliminación de las láminas foliares necrosadas y las partes afectadas por la Sigatoka Negra cada dos semanas, el deschante y el deshije se hizo de la misma manera; se aplicó la fertilización de manera estandarizada para ambos cultivares con las siguientes dosis: nitrógeno 122, fósforo 33, potasio 188, magnesio 33, azufre 16, boro 0,82 y zinc 0,82 kg·ha⁻¹ (2.174 plantas·ha⁻¹), para determinar el área foliar se utilizó la fórmula:

Área foliar= largo de la lámina x ancho de la lámina x 0,8 (Martínez, 1984).

Resultados y discusión

Se determinaron diferencias significativas (P>0,05) para las dosis de citoquina para la variable de área foliar el momento de la emisión de la bellota; sin embargo, para la variable cultivares de plátano y la interacción de los factores no hubo diferencias significativas (P>0,05), el análisis estadístico de los tratamientos (figura 1) determinó que las plantas con 0,12 cm³·L⁻¹ presentaron la mayor área foliar.

Según Cedeño et al. (2022) las variaciones en el área foliar de los cultivares de plátano y las dosis de citoquinina aplicadas

pueden explicarse por el hecho de que el desarrollo foliar inicial fue intenso, pero se redujo progresivamente debido a factores como la disminución de la producción de hojas, el tamaño de las mismas y su longevidad, que estuvieron determinados por la diferenciación foliar que ocurre en las primeras etapas del crecimiento vegetal, tal como lo señalaron Vargas et al. (2015).

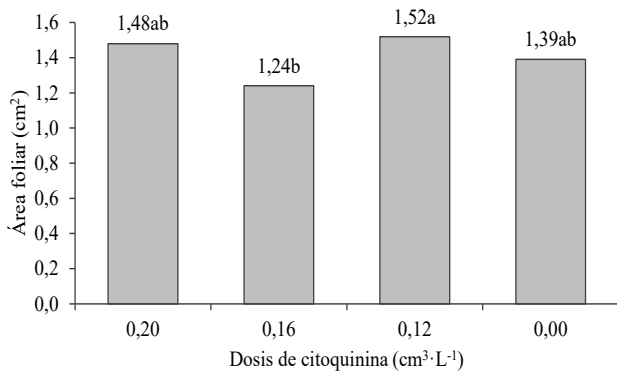


Figura 1. Área foliar de cuatro dosis de citoquinina al momento del belloteo del cultivo de plátano en el cantón El Carmen.

En el estudio realizado, se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en la biomasa del pseudotallo entre los diferentes tratamientos aplicados a los cultivares de plátano. El tratamiento con plátano ‘Barraganete’ en dosis de $0,12 \text{ cm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ de citoquinina obtuvo la mayor biomasa en esta etapa del cultivo (figura 2), seguido de los demás tratamientos, excepto el ‘Dominico Hartón’ con $0 \text{ cm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ de citoquinina, que presentó la biomasa más baja y con una diferencia estadísticamente significativa.

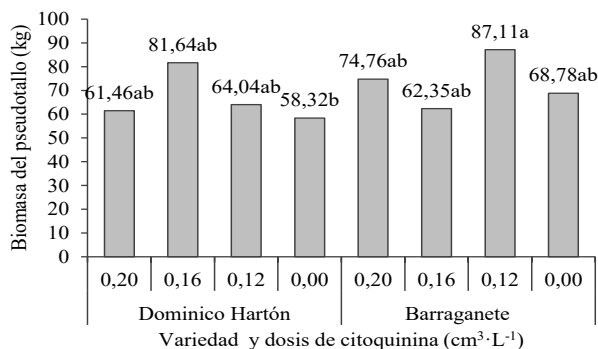


Figura 2. Biomasa del pseudotallo de dos variedades de plátano y cuatro dosis de citoquinina al belloteo del cultivo.

Albán (2014) sostuvo que el uso de las citoquininas en hortalizas y frutos tuvo una respuesta más efectiva cuando se utilizaron dosis adecuadas, que suelen ser bajas, ya que las plantas absorben menos de lo que se les suministró. Esto explicó por qué las plantas presentaron una respuesta significativa a la citoquinina en los tratamientos en los que se utilizó una dosis óptima en el estudio.

También se encontró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) en la cantidad total de hojas emitidas por los cultivos de plátano hasta la cosecha, con relación a la interacción entre la variedad de plátano y la dosis de citoquinina aplicada. La figura 3 mostró que el efecto de esta interacción difirió entre las

variedades de plátano, siendo el plátano ‘Dominico Hartón’ el que disminuyó la producción de hojas con la disminución de las dosis de citoquinina, mientras que en el ‘Barraganete’ la cantidad de hojas incrementó con la dosis baja de citoquinina.

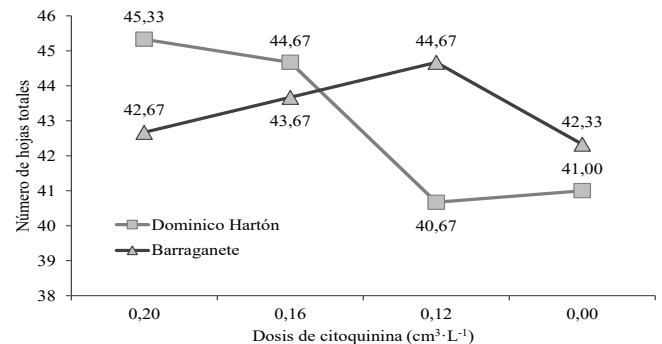


Figura 3. Interacción de las variedades y dosis de citoquinina en la emisión de hojas totales del plátano.

La relación entre la cantidad de hojas y la dosis de citoquinina mostró un patrón decreciente en los tratamientos con dosis bajas y sin citoquinina, mientras que se observó un aumento en el número de hojas en los tratamientos con dosis altas, esto se puede explicar por la función de las citoquininas como una fitohormona que estimuló la división celular, lo que llevó a la producción de una mayor cantidad de hojas, como lo señalaron Bermúdez et al. (2019).

No se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en las variables número de dedos exportables y no exportables, biomasa de dedos no exportables, entre las variedades de plátano, dosis de citoquinina y entre sus interacciones; sin embargo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la biomasa de los dedos exportables, en la dosis de citoquinina y en la interacción de los factores, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Respuesta de las variedades y dosis de citoquinina en los parámetros productivos de los dedos del plátano.

Variedad	Citoquinina	Dedos exportables (número)	Biomasa de los dedos exportables (g)	Dedos no exportables (número)	Biomasa de los dedos no exportables (g)
‘Dominico Hartón’	T1	25,00 a	356,70 ab	4,33 a	305,24 a
	T2	23,00 a	392,84 a	5,67 a	264,37 a
	T3	23,67 a	403,98 a	4,33 a	353,85 a
	T4	23,67 a	291,86 b	9,33 a	437,20 a
	T5	29,00 a	362,22 ab	2,33 a	251,66 a
‘Barraganete’	T6	27,33 a	362,44 ab	1,67 a	377,77 a
	T7	26,33 a	354,84 ab	1,67 a	307,39 a
	T8	28,33 a	363,69 ab	2,33 a	298,40 a

Medias con iguales letras indican que no hubo diferencias estadísticas.

En la figura 4 se puede observar que la variedad ‘Dominico Hartón’ obtuvo las biomásas más altas en los dedos exportables con las dosis de $0,12$ y $0,16 \text{ cc} \cdot \text{L}^{-1}$ de citoquinina, mientras

que en las demás variedades no se encontraron diferencias significativas, este hallazgo contrastó con lo planteado por Sotomayor y Mendoza (2015) quienes sostuvieron que la influencia de las citoquininas en el rendimiento del fruto del plátano fue limitada, ya que durante la cosecha se favoreció principalmente el desarrollo de las raíces. Cabe destacar que no se encontraron diferencias significativas en el número de dedos exportables y no exportables, ni en la biomasa de los dedos no exportables con relación a las dosis de citoquinina y variedades de plátano.

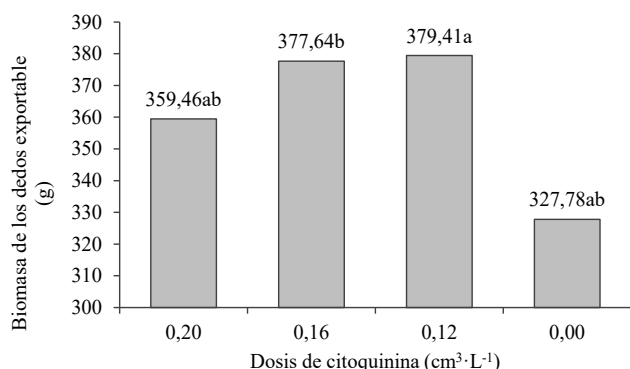


Figura 4. Biomasa de los dedos exportables con aplicación de cuatro dosis de citoquininas en dos variedades de plátano.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó que la citoquinina no influyó significativamente en la biomasa de los dedos del plátano, es interesante señalar que este comportamiento del fruto ante la acción de hormonas vegetales fue diferente al que se ha registrado en estudios previos, como el realizado por Aristizábal et al. (2008) en el que evaluaron el efecto del ácido giberélico en el racimo del ‘Dominico Hartón’ y no encontraron diferencias significativas en la biomasa, aunque se encontraron biomasa promedio de 345 g.

No se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) en el rendimiento del racimo, el número de dedos por racimo, el número de manos por racimo y la biomasa del racimo para las variables de los factores de la variedad de plátano, la dosis de citoquinina y su interacción (tabla 2). Sin embargo, estos resultados difirieron de los indicados por Albán (2014) con el uso de citoquinina en banano, donde las dosis afectaron la biomasa del racimo, y la dosis más alta de 3 mL en promedio alcanzó una biomasa del racimo de 38,53 kg, este resultado también fue significativo en el número de manos por racimo.

Según Cano (2004) las citoquininas y las auxinas, como fitohormonas, desempeñaron un papel crucial en la multiplicación y enraizamiento de las plantas. Por otro lado, Mok y Mok

(2001) argumentaron que las citoquininas tuvieron un efecto más importante en el desarrollo de los tallos, específicamente en el cormo del plátano, aunque también jugaron un papel en la apertura estomática y en la reducción de la senescencia de las hojas.

Tabla 2. Respuesta de las variedades y dosis de citoquinina en los parámetros productivos del racimo del plátano.

Variedad	Citoquinina	Manos por racimo (número)	Dedos por racimo (número)	Biomasa del racimo
‘Dominico Hartón’	T1	5,67 a	29,33 a	11,64 a
	T2	5,33 a	28,67 a	10,88 a
	T3	5,33 a	27,33 a	11,95 a
	T4	5,00 a	33,00 a	10,43 a
	T5	5,33 a	31,33 a	14,52 a
‘Barraganete’	T6	5,33 a	29,00 a	11,41 a
	T7	5,00 a	28,00 a	10,51 a
	T8	5,33 a	30,67 a	11,79 a

Medias con iguales letras indican que no hubo diferencias estadísticas.

Meza (2013) sugirió que la aplicación de citoquininas no solo fue una forma de fertilización, sino también una estrategia efectiva para la producción de nuevas plántulas debido a su capacidad para estimular la división celular y la propagación de las plantas, en el caso de las musáceas, estas hormonas vegetales influyeron en el desarrollo de las yemas.

Conclusión

Con relación a las variables de área foliar, biomasa del pseudotallo y número de hojas totales la interacción de los factores (variedades y dosis de citoquinina) mostraron diferencias estadísticas, en el ‘Dominico Hartón’ la dosis baja determinó mayor área foliar, mientras que en el ‘Barraganete’ esta misma dosis alcanzó mayor biomasa en el pseudotallo.

El plátano ‘Barraganete’ presenta un aumento en el número de hojas en dosis bajas de citoquinina, mientras que en el caso del plátano ‘Dominico Hartón’ se observa una disminución en la cantidad de hojas producida con la misma dosis.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Diego Vaca, Valeria Carrión y Jaqueline Delgado por la ayuda prestada en la ejecución en campo de esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Albán, E. E. (2014). *Evaluación de la eficacia de citoquinina (Cytokina) y un inductor carbónico (Carboroot) en tres dosis y en dos épocas en el rendimiento de banano de exportación, en una plantación en producción variedad gran enana, cantón Quinde de la provincia de Esmeraldas*. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/3297>
- Aristizábal, M., Osorio, C. A. y Cardona, L. F. (2008). Efectos del ácido giberélico y el desmane sobre las características del racimo en plátano Dominic Hartón. *Acta Agronómica*, 57(4), 253-257.
- Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador. (2018). El banano del Ecuador en el mundo. *Bananotas*, XIII(132), 98.
- Bermúdez, I., Rodríguez, M., Reyes, M. y Jiménez, A. (2019). Efecto del uso combinado de dos citoquininas en la multiplicación y regeneración de yemas adventicias de banano cv. 'Gros Michel' (*Musa AAA*). *Bioteología Vegetal*, 19(2), 139-146.
- Cano, C. G. (2004). *Bioteología y propiedad intelectual en el agro*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/30003>
- Cedeño, J. R., García, J. V., Solórzano, C. M., Javier, L. A., Ulloa, S. M., López, F. X., Avellán, L. E., Bracho, B. Y. y Sánchez-Urdaneta, A. B. (2022). Fertilización con magnesio en plátano 'Barraganete' (*Musa AAB*) Ecuador. *La Granja*, 35(1), <https://doi.org/10.17163/lgr.n35.2022.01>
- Checca, J. (2018). *Efecto de la aplicación de citoquininas en el rendimiento y la calidad del melón (Cucumis melo L.)*. Tesis de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/items/a5a5f9fd-c400-4967-8df9-d1b4c6bad66e>
- Criado, M., Caputo, C. y Roberts, I. (2021). Nutrición no mineral. Nutrición no tradicional. Las citocininas. Nueva herramienta para mejorar la removilización de carbono y nitrógeno en trigo y la eficiencia de fertilización. *Revista Fertilizar*, 15, 25-26.
- Del Puerto, A. M., Suárez, S. y Palacio, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387.
- Martínez, G. A. (1984). Determinación del área foliar mínima en plátano en el trópico húmedo. *Revista ICA*. 19(2):183-187.
- Meza, J. E. (2013). *Propagación vegetativa de plátano Dominique (Musa paradisiaca) bajo dos porcentajes de sombra con la aplicación de cuatro dosis de benzilaminopurina (bap) en el cantón El Empalme provincia del Guayas*. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2551>
- Mok, D. W. and Mok, M. C. (2001). Cytokinin metabolism and action. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52, 89-118. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.89>
- Moreno, A., García, V., Reyes, J. L., Vásquez, J. y Cano, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: Una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1). <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2020). *Plagas y enfermedades del cultivo de plátano en El Salvador*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova". <https://library.co/document/y8xdwvrrq-plagas-y-enfermedades-del-cultivo-de-platano-en-el-salvador.html>
- Rodríguez, J. (2018). *El cultivo de plátano (Musa paradisiaca) como modelo de producción agrícola para el fortalecimiento de la vereda Monte Adentro, municipio de Saravena*. Tesis de Licenciatura. Universidad La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/94
- Simba, L. y Álvarez, Y. (2018). *Determinación de los costos de producción y rentabilidad del cultivo del plátano dominico-hartón (Musa AAB) vs cultivo del plátano barraganete (Musa sp.) en la parroquia el Vergel, Cantón Valencia*. Tesis de Licenciatura. Universidad Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3633>
- Sotomayor, I. y Mendoza, E. (2015). *Eficiencia de la aplicación de bioestimulantes por medio de inyección, al drench de la planta y nivel foliar en el cultivo de banano (Musa sp.) Valencia, Provincia de Los Ríos*. Tesis de Licenciatura. Universidad Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1280>
- Vargas, A., Acuña, P. y Valle, H. (2015). La emisión foliar en plátano y su relación con la diferenciación floral. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 120-128.

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Leonardo Avellán-Vásquez	Diseño de la investigación; revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.
Silvia Alcívar-Vite	Participó en la preparación y edición del manuscrito, corrección de estilo.
Angélica Pazmiño-Anzules	Interpretación de los datos, revisión del contenido del manuscrito y corrección de estilo.
José Randy Cedeño-Zambrano	Revisión del contenido del manuscrito y corrección de estilo.





Comparación de los métodos doble anillo y pozo invertido en la determinación de conductividad hidráulica

Comparison of the double ring and inverted well methods in the determination of hydraulic conductivity

Autores

✉ *Freddy Carlos Gavilánez Luna

✉ Luis Saúl San Martín Larrea

Universidad Agraria del Ecuador,
Milagro, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citacion sugerida: Gavilánez Luna, F. C. y San Martín Larrea, L. S. (2023). Comparación de los métodos doble anillo y pozo invertido en la determinación de conductividad hidráulica. *La Técnica*, 13(1), 30-36. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5633>

Recibido: Mayo 17, 2023
Aceptado: Junio 06, 2023
Publicado: Junio 16, 2023

Resumen

Con el objetivo de verificar la bondad del método de doble anillo, como alternativa de determinación de la conductividad hidráulica en un suelo saturado, se comparó este procedimiento con el método del pozo invertido. La experiencia se desarrolló en el campus de la Universidad Agraria del Ecuador, en una superficie de 35 m² de un vertisol, franco arcilloso, en la cual se delimitaron 15 unidades experimentales de 1,8 m² para evaluar conjuntamente las dos metodologías antes indicadas. El anillo interior tuvo 33 cm de diámetro y el exterior 56 cm, ambos con una altura de 35 cm; tomando lecturas durante 120 minutos y con cargas hidráulicas entre 15 a 10 cm. Los pozos invertidos tuvieron un diámetro de 6 cm y una profundidad de 60 cm, manteniendo cargas hidráulicas medias iniciales y finales de 50,6 y 35,6 cm, respectivamente. En el doble anillo se utilizó la ecuación de Kostiakov, verificando su ajuste mediante el coeficiente de determinación (R^2); y en el pozo invertido se aplicó la ley de Darcy, considerando infiltración tanto en el fondo como en la pared del pozo. La comparación se realizó con la prueba t de Student, previa constatación de la correlación entre las lecturas. Los datos del doble anillo se ajustaron al modelo de Kostiakov ($R^2 > 90\%$) y se correlacionaron significativamente ($P = 0,048$) con los datos del pozo invertido de manera positiva; el primero obtuvo una media de 0,3421 y el segundo 0,3242 m·día⁻¹, cuya diferencia fue no significativa ($P = 0,6477$). El método de doble anillo ofrece resultados similares de conductividad hidráulica respecto del procedimiento del pozo invertido.

Palabras clave: agua subterránea; capa acuífera; drenaje, flujo de agua; humedad del suelo.

Abstract

In order to verify the goodness of the double ring method, as an alternative for determining the hydraulic conductivity in unsaturated soil, this procedure was compared with the inverted well method. The experience was developed on the campus of the Agrarian University of Ecuador, on a 35 m² surface of vertisol, clay loam, in which 15 experimental units of 1.8 m² were delimited to jointly evaluate the two aforementioned methodologies. The inner ring was 33 cm in diameter and the outer 56 cm, both with a height of 35 cm; taking readings for 120 minutes and with hydraulic loads between 15 to 10 cm. The inverted wells had a diameter of 6 cm and a depth of 60 cm, maintaining mean initial and final hydraulic loads of 50.6 and 35.6 cm, respectively. In the double ring, the Kostiakov equation was used, verifying its adjustment by means of the coefficient of determination (R^2); and in the inverted well, Darcy's law was applied, considering infiltration both at the bottom and at the wall of the well. The comparison was made with the Student's t test, after confirming the correlation between the readings. The double ring data were fitted to the Kostiakov model ($R^2 > 90\%$) and were significantly correlated ($P = 0.048$) with the inverted well data in a positive way; the first obtained a mean of 0.3421 and the second 0.3242 m·day⁻¹, whose difference was not significant ($P = 0.6477$). The double ring method offers similar hydraulic conductivity results with respect to the inverted well procedure.

Keywords: aquifer layer; drainage; humidity of floor; underground water; water flow.

Introducción

La conductividad hidráulica es uno de los parámetros hidrofísicos de los suelos importante, pues representa la medida hidrodinámica de los flujos subterráneos de agua y por ello, es un factor elemental tanto en el diseño como en la funcionalidad de las obras de drenaje agrícola, así como en el estudio y explotación de acuíferos. Su dependencia de características edáficas como la textura, estructura, densidad aparente, porosidad, cavidades, rajaduras y contenido de materia orgánica (Grassi, 1991), hacen que su valor difiera espacial y temporalmente (Grassi, 1991; Elhakeem et al., 2018). Por ello, la determinación de este parámetro demanda procedimientos que ofrezcan la mejor aproximación y que estén en concordancia con las condiciones edafo-climáticas bajo las cuales funcionan eficazmente estos procedimientos (Reynolds et al., 2000).

Actualmente existen varias alternativas metodológicas para determinar la conductividad hidráulica en medios saturados (K_s), prácticamente todos basados en la ley de Darcy (Pfeiffer et al., 2008). Dentro de los procedimientos directos, éstos se clasifican entre los que se hacen en laboratorio, utilizando permeámetros de cargas constantes o variables; y los de campo, cuya mayoría tiene de fundamento la cuantificación temporal de la variabilidad de las láminas de agua en pequeñas perforaciones (pozos) que se hacen en el sitio de interés a través de medir la recuperación o disminución de estas láminas (Luna-Sáez et al., 2005). Estos últimos se clasifican entre los que requieren presencia de la freática (condiciones saturadas) y los que se llevan a cabo en ausencia de este nivel de agua en el subsuelo (Leitón, 1985; Gavilánez, 2020).

Si bien en la literatura se indica una mayor aceptación de los métodos de campo sobre los de laboratorio en la determinación de K_s , atribuidos a la menor variabilidad que presentan los datos y debido a que se desarrollan bajo condiciones prácticamente inalteradas (Gabriels et al., 2006; Camacho-López et al., 2020), en estos métodos *in situ* existe la necesidad de equiparar el conocimiento de sus resultados con el fin de caracterizarlos y, en algún caso específico, ampliar el alcance de aplicabilidad de estos procedimientos en el diseño de obras de drenaje con la suficiente confianza en la exactitud de este parámetro.

Un valor de K_s totalmente alejado del valor real, o bien encarece el porque induce a instalar una densidad de drenes más allá de los necesarios, o bien produce de producción por la ubicación de drenes muy distanciados que no permitieron la evacuación de los excesos hídricos dentro del máximo tiempo de drenaje que presentaron los cultivos (Forero, 2000; Herrera et al., 2016).

En este contexto se ubica el método de los anillos infiltrómetros, ideado originalmente para evaluar la velocidad de infiltración y especialmente la infiltración básica (infiltración estabilizada) (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1989; Prieto et al., 2006); pero que, bajo las condiciones de saturación en las que se llega a dicha infiltración estabilizada, luego de transcurrido un tiempo relativamente largo, será muy útil considerar este dato equivalente a la conductividad hidráulica (Philip, 1969; Castiglioni et al., 2018; Macías et al., 2018).

El uso de los anillos infiltrómetros para medir el valor de K_s de los suelos agrícolas se constituye en un beneficio adicional en los estudios de aptitud de suelos dado que su utilidad primigenia es la de cuantificar la infiltración básica, ésta última, considerada como uno de los elementos decisivos del diseño de sistemas de riego (Landini et al., 2007; Ruiz y Muñoz, 2022). En este sentido, es importante validarlo con un método de campo que haya sido establecido para medir este parámetro como el del pozo invertido (conocido también como método de Porchet), cuya característica sea el de no requerir presencia de freática (FAO, 1985; Macías et al., 2018), que fue lo más común en la fase de diseño de obras de drenaje, debido a que, en muchas instituciones, estos diseños se realizaron en épocas sin lluvias.

Además, con esto se ha tratado de afianzar la similitud de resultados entre el método de los anillos infiltrómetros y el del pozo invertido (Montecinos et al., 2008), siendo este último un procedimiento económico y de resultados aceptables (Worsa-Kozak y Chudy, 2019).

En función de lo que antecede se propuso esta investigación, con el fin de corroborar la semejanza de la infiltración básica obtenida a través del método de doble anillo con la conductividad hidráulica en medio saturado, cuyo valor referencial fue establecido mediante el método del pozo invertido.

Materiales y métodos

Descripción del área del ensayo

Este experimento se desarrolló en la época seca del año 2020, dentro del campus experimental de la Universidad Agraria del Ecuador (UAE), en un sitio de coordenadas UTM 17M 658599 9764812. El lote experimental tuvo una superficie de 35 m², dentro del cual se evaluaron las metodologías del doble anillo infiltrómetros y pozo invertido, realizando 15 pruebas de cada una en igual número de unidades experimentales en que se dividió el lote, cuyas medidas fueron de 1,2 m x 1,5 m. El suelo sobre el cual se realizaron las pruebas pertenece al orden de los vertisoles (Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS), 2017), con una

textura del tipo franco-arcilloso, con una densidad aparente de $1,24 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y con un contenido de materia orgánica de 0,78% según el reporte de análisis de suelo de la UAE.

Método del doble anillo

Los anillos utilizados tuvieron un diámetro de 33 cm y 56 cm, con una altura de 35 cm, construidos en hierro galvanizado de 4 mm de espesor. Estos se hincaron hasta una profundidad de 10 cm y se operaron con carga variable entre 10 y 15 cm. Se tomaron lecturas de 2, 5, 10, 15 y 20 minutos, hasta completar una duración de 2 horas. Bajo este método, las evaluaciones se realizaron a 20 cm de profundidad. De acuerdo a la propuesta, la infiltración básica (I_b), considerada como conductividad hidráulica en condiciones saturadas (K_s), se obtuvo de forma analítica mediante la expresión:

$$I_b = K_s = a(-600b)^b \quad (1)$$

A pesar de que las evaluaciones de descenso de la lámina de agua en el anillo central y del tiempo se cuantificaron en mm y minutos, respectivamente, I_b en la expresión 1 ofrece resultados en $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$; desde donde se realizó la conversión respectiva a $\text{m}\cdot\text{día}^{-1}$. Los valores de a y b se obtuvieron de: $a = AB$, $b = B-1$. Los parámetros A y B se definieron al calcular la infiltración total (I_T) a partir de los mínimos cuadrados ordinarios de los datos transformados (ajuste logarítmico), según la ecuación de Kostiaikov (citada por Grassi, 1998), dada por:

$$I_T = At^B \quad (2)$$

Método del pozo invertido

En el caso de los pozos invertidos, éstos se perforaron a 60 cm de la periferia donde se instalaron los anillos, de tal manera que se pudieron aplicar las dos metodologías dentro de cada unidad experimental, para realizar las comparaciones en igualdad de condiciones. Los pozos tuvieron un diámetro de 6 cm y una profundidad de 60 cm desde el nivel del suelo. Las lecturas de descenso de carga en cada pozo se realizaron por triplicado, previo humedecimiento de los mismos durante una hora para crear las condiciones de saturación que el método requiere (P^okl y Ayite, 2020).

La expresión que se utilizó para calcular K_s en este método se fundamentó en la ley de Darcy (Romaña, 2014), considerando la existencia de flujo desde el fondo y de la pared de los pozos, además de que el gradiente de movilidad del flujo sea igual a la unidad, dada las condiciones de saturación que se asumen (Oosterbaan y Nijland, 1994; Elrick y Reynolds, 2002). Esta expresión, modificada por los autores para la obtención directa de K_s en unidades de $\text{m}\cdot\text{día}^{-1}$, fue:

$$K_s = \frac{216d}{t} \ln \left(\frac{4h_0 + d}{4h_1 + d} \right) \quad (3)$$

En la expresión 3, d representó al diámetro del pozo (6 cm), t el tiempo expresado en segundos, h_0 fue la carga inicial y h_1 fue la carga final, éstas dos últimas medidas en centímetros.

El procedimiento de lectura se realizó considerando un descenso de carga constante (15 cm) a través de un medidor flotante, contabilizando la variabilidad temporal en cada observación. Las

cargas de inicio (h_0) que se evaluaron en las 15 observaciones medias, tuvieron valores que oscilaron entre 37 y 58 cm; mientras que las cargas finales (h_1), tuvieron una variabilidad de 22 a 43 cm.

Desde la metodología del pozo invertido se obtuvo directamente la conductividad hidráulica, mientras que con la de los anillos lo que en realidad se midió fue la infiltración estabilizada (infiltración básica); no obstante, dada la condición de saturación bajo la cual ocurrió esta última, permitieron asumirla también como datos de conductividad hidráulica de acuerdo al criterio de Macías et al. (2018). Por ello la variable que se tomó de referencia para la comparación de las dos metodologías fue definida como conductividad hidráulica saturada.

Análisis de los datos

En el caso del método de doble anillo se generaron los modelos de regresión simple no lineal para cada una de las 15 observaciones, según la expresión 2, para la obtención de los parámetros A y B ; verificándose la bondad de ajuste de cada uno de ellos mediante el coeficiente de determinación (R^2). En la comparación de los métodos se utilizó la prueba t de Student para muestras relacionadas (Montgomery, 2004) debido al espacio reducido de cada unidad experimental dentro de los cuales se probaron los dos métodos, por lo cual se consideró la existencia de correlación entre los resultados; lo que también fue corroborado mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Previamente se hizo una exploración de la dispersión de los datos mediante un diagrama de cajas y se comprobó la normalidad de los mismos mediante el test de Shapiro-Wilks. Estos análisis se realizaron con la ayuda de los complementos de Excel y del software Infostat.

Resultados y discusión

Una visualización gráfica y exploratoria de los datos, correspondientes a los de conductividad hidráulica saturada (K_s) que se obtuvieron en los dos métodos, puede observarse en la figura 1.

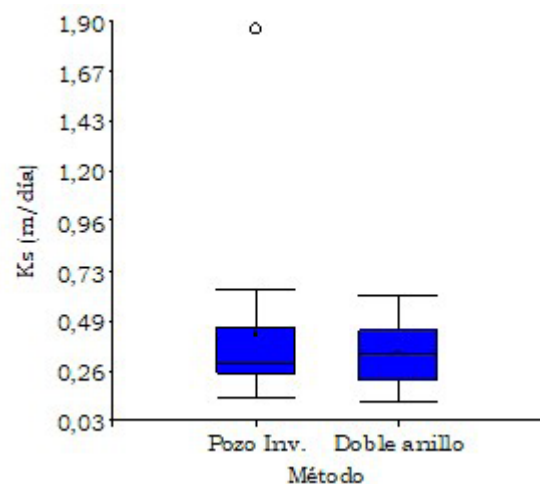


Figura 1. Diagrama de cajas para los dos métodos

El diagrama de caja del método del pozo invertido registró un dato disperso (outlier) que descuadró la normalidad de los mismos. Este dato correspondió a la repetición tres que se detalló en la tabla 1 y que mostró un valor de 1,8622 m·día⁻¹, posiblemente debido al contacto del pozo con alguna grieta que favoreció una infiltración relativamente rápida en dicho pozo. En cuanto a la información del método del doble anillo, se evidenció una uniformidad de mayor consistencia indicada a través del diagrama de caja, con ausencia de datos dispersos.

Tabla 1. Parámetros y conductividad hidráulica calculada bajo el método del pozo invertido.

Rep.	H + Y	Tiempo (s)	Carga inicial h_0 (cm)	Carga final h_f (cm)	Ks (m·día ⁻¹)
1	64,4	1874	48,6	33,6	0,2461
2	60,5	3849	45,1	30,1	0,1308
3	56,0	339	37,4	22,4	1,8622
4	66,8	1121	51,8	36,8	0,3821
5	64,8	2332	51,6	36,6	0,1845
6	62,2	1453	48,0	33,0	0,3220
7	59,8	1643	46,7	31,7	0,2941
8	69,4	662	52,4	37,4	0,6385
9	62,5	804	49,7	34,7	0,5588
10	73,3	825	57,7	42,7	0,4590
11	65,6	1567	51,6	36,6	0,2746
12	68,5	1303	56,1	41,1	0,3000
13	66,3	2056	54,5	39,5	0,1965
14	64,6	1366	52,2	37,2	0,3108
15	56,3	2295	41,7	26,7	0,2409

Rep.= repetición, H+Y: Altura total a la línea horizontal de lectura en el medidor flotante.

En la tabla 1 se han detallado los parámetros que permitieron obtener la conductividad hidráulica saturada en el método del pozo invertido. En las 15 observaciones se manejaron tiempos variables desde 339 a 3849 segundos para la medición de 15 cm de descenso leídos entre la carga inicial y final de las diferentes unidades de observación. Al aplicar la expresión 3, se obtuvieron las lecturas mínima y máxima de 0,1308 a 1,8622 m·día⁻¹, respectivamente, de conductividad hidráulica. Es posible que el dato con un comportamiento extraordinario (outlier) (1,8622 m·día⁻¹) haya ocurrido probablemente por defectos estructurales (rajaduras) en el suelo en donde se llevó a cabo este estudio. De forma general, es notoria la importante variabilidad de los datos que se observaron con este método (tabla 3) en la medición de Ks, aun en espacios reducidos (35 m²) como en el que se desarrolló este ensayo.

El valor de los parámetros A y B de la ecuación potencial de Kostiakov (expresión 2), para las 15 observaciones obtenidas con el método del doble anillo, se detallan en la tabla 2. El ajuste de esta ecuación a los datos, generados por la infiltración acumulada (mm) versus el tiempo (minutos), en todas las evaluaciones realizadas fue significativo (P<0,05), con valores de R² por encima del 90%; lo cual corroboró lo mencionado por diversos autores respecto de la bondad de esta expresión para representar a los procesos de infiltración en el suelo (Grassi, 1991; Prieto et al., 2006; Ruiz y Muñoz, 2022). Si bien en este método no se registraron valores dispersos, también se pudo evidenciar una importante variabilidad en cuanto a Ks, registrándose un mínimo de 0,1133 m·día⁻¹ y un máximo de 0,6148 m·día⁻¹.

Tabla 2. Parámetros y conductividad hidráulica calculada bajo el método del doble anillo.

Rep.	A	B	Infiltración total (I _T)	R ²	a	b	Ks (m·día ⁻¹)
1	1,1132	0,8321	1,1132t ^{0,8321}	0,9074	55,5782	-0,1679	0,6148
2	3,3665	0,4759	3,3665t ^{0,4759}	0,9209	96,1265	-0,5241	0,1133
3	4,6290	0,5562	4,6290t ^{0,5562}	0,9809	154,4676	-0,4438	0,3108
4	0,7925	0,8015	0,7925t ^{0,8015}	0,9806	38,1131	-0,1985	0,3542
5	1,4307	0,7153	1,4307t ^{0,7153}	0,9876	61,3990	-0,2847	0,3409
6	1,4576	0,6436	1,4576t ^{0,6436}	0,9882	56,2809	-0,3564	0,1995
7	0,6275	0,8039	0,6275t ^{0,8039}	0,9799	30,2670	-0,1961	0,2852
8	0,9630	0,8265	0,9630t ^{0,8265}	0,9801	47,7541	-0,1735	0,5119
9	0,7580	0,8729	0,7580t ^{0,8729}	0,9824	39,6990	-0,1271	0,5493
10	1,5345	0,7435	1,5345t ^{0,7435}	0,9659	68,4577	-0,2565	0,4515
11	1,5884	0,7167	1,5884t ^{0,7167}	0,9843	68,3036	-0,2833	0,3826
12	1,4060	0,6596	1,4060t ^{0,6596}	0,9907	55,6401	-0,3404	0,2183
13	1,6839	0,7150	1,6839t ^{0,7150}	0,9859	72,2381	-0,2850	0,4004
14	0,9786	0,7011	0,9786t ^{0,7011}	0,9536	41,1671	-0,2989	0,2095
15	1,6482	0,5987	1,6482t ^{0,5987}	0,9831	59,2058	-0,4013	0,1573

Rep.= repetición.

En la etapa de diseño de los sistemas de drenaje agrícola, un requerimiento principal es que la conductividad hidráulica no presente una fuerte dispersión que podrían hacer que lotes sectorizados del campo no puedan evacuar los excesos dentro del tiempo límite que tienen los cultivos antes de que sus rendimientos mermen sustancialmente (Herrera et al., 2016). Desde este punto de vista, al tener coeficientes de variación superiores al 40% en los dos métodos, en un espacio relativamente reducido, se resaltó la importancia de la sectorización de un suelo agrícola con características homogéneas como una de las alternativas que favorecen valores de Ks de menor variabilidad (Grassi, 1991).

Separando el valor disperso de Ks establecido en uno de los métodos (1,8622 m·día⁻¹), los rangos 0,1308 a 0,6385 m·día⁻¹

y 0,1133 a 0,6148 m·día⁻¹, obtenidos en el pozo invertido y en el doble anillo, respectivamente (tablas 1 y 2), no difirieron sustancialmente de los reportados por Smedema y Rycroft (1983) y Oosterbaan y Nijland (1994); quienes declararon un rango de 0,002 a 0,2 m·día⁻¹ de Ks para suelos franco arcillosos como el del actual estudio, aunque sin precisar el método con el cual los definieron. En este sentido, podrán avalarse los dos métodos, los cuales fueron alternativas de campo para medir la conductividad hidráulica sin presencia de freática con mayor preferencia que los de laboratorio, dada la pérdida parcial o total de la estructura que se genera en estos últimos al tomar muestras de un reducido volumen que alteraron su condición (Grassi, 1991); con la salvedad de que el método de doble anillo puede ofrecer información adicional, no solo para el diseño de sistemas de drenaje sino también para el diseño de sistemas de riego.

Para mantener la normalidad y el balanceo de las muestras, se eliminó el dato de la repetición tres en los dos métodos, dado el valor outlier presente en el método del pozo invertido. Finalmente, los análisis comparativos se realizaron con 14 datos en cada procedimiento, según puede observarse en la tabla 3. Con la eliminación de un valor en los dos métodos, los datos presentaron normalidad de acuerdo al test de Shapiro-Wilks indicada en la tabla 3, reportando significancias arriba del 5% ($P > 0,05$) en los dos casos. Los datos en los dos métodos reportaron una variabilidad sustancial, con valores muy parecidos en cuanto al coeficiente de variación (entre 44 y 45%).

Según lo detallado en la tabla 3, los datos obtenidos en los dos métodos estuvieron relacionados de manera significativa ($P < 0,05$), de acuerdo el coeficiente de correlación de Pearson, cuyo valor fue de 0,54. Con base a esta relación, se aplicó la prueba t de Student para muestras relacionadas, resultando con una diferencia no significativa entre los métodos ($P = 0,6477$). Es decir, para las condiciones dadas en que se desarrolló el ensayo, lo resuelto por el método de doble anillo en cuanto a infiltración básica puede tomarse como Ks según el método del pozo invertido.

Al considerar el 44,1 y 44,9% como coeficientes de variación de los datos de Ks en los métodos de pozo invertido y de doble anillo, respectivamente (tabla 3), además de que el experimento se llevó a cabo en una superficie pequeña de apenas 35 m² dentro de la cual se distribuyeron los 15 sitios de evaluación, se reconoció la importante variabilidad que presentan estos dos métodos de campo en áreas más extensas (Luna-Sáez et al., 2005; Gabriels et al., 2006). Asimismo, cuando se incluyó el dato outlier obtenido en el método del pozo invertido, fue notoria la mayor variabilidad que presentó esta alternativa; dejando entrever que, si un método abarca una mayor superficie localizada (o volumen de influencia) en el proceso de cuantificar la infiltración, presenta una mayor uniformidad en sus lecturas (Gupta et al., 1993; Prieto et al., 2006). Esto último, se debió a la alta sensibilidad que se evidenció en el método del pozo invertido respecto al cambio de estructura de un suelo o cuando el hoyo entró en contacto con cavidades internas que hicieron que las lecturas variaran indiscriminadamente (Alvarado y Barahona-Palomo, 2016), dado su menor volumen de influencia en comparación con el método del doble anillo.

Tabla 3. Estadígrafos y prueba t de muestras relacionadas para los datos de los métodos de doble anillo y pozo invertido.

Estadísticos	Pozo invertido	Doble anillo
Observaciones	14	14
Media (m·día ⁻¹)	0,3242	0,3421
Varianza	0,0204	0,0236
Coefficiente de variación (%)	44,1	44,9
Test Shapiro-Wilks (p-valor)	0,2668	0,6013
Coefficiente de correlación de Pearson	0,5373	
Coefficiente de correlación de Pearson (p-valor)	0,048	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	13	
Estadístico t	-0,4678	
P(T<=t) una cola	0,3239	
Valor crítico de t (una cola)	1,7709	
P(T<=t) dos colas	0,6477	
Valor crítico de t (dos colas)	2,1604	

Es importante observar las condiciones dentro de las cuales la diferencia de Ks, entre las medias de 0,3242 m·día⁻¹ obtenidas con el método del pozo invertido y el valor de 0,3421 m·día⁻¹ del método del doble anillo, no resultó significativa ($P > 0,05$) (tabla 3). Considerando el cilindro central del método de doble anillo, la superficie expuesta a la infiltración fue de 855,3 cm² (diámetro de 33 cm) con una carga media de 12 cm que fue la que se mantuvo en las evaluaciones; mientras que, en el pozo invertido la superficie expuesta fue de 310,3 cm² (área del fondo y de la parte cilíndrica del hoyo) y la carga media fue de 43 cm. En este contexto, se presumió una incidencia de la carga en el método del pozo invertido que favoreció lecturas similares a las del doble anillo, contrario a lo manifestado por varios autores que indicaron que éste último generalmente ofrece valores más altos de Ks (Macías et al., 2018). Además, a esta igualdad estadística en las lecturas de los métodos evaluados puede también haber contribuido la bi-dirección (vertical y horizontal) del flujo de infiltración que ocurrió en el pozo invertido, no así en el de doble anillo, en el cual se supuso que la infiltración del cilindro central fue únicamente vertical (Luna-Sáez et al., 2005; Macías et al., 2018).

La correlación significativa ($P = 0,048$) entre los dos métodos evaluados, similar a lo reportado por Montecinos et al. (2008), y aun siendo el espacio bastante reducido dentro del cual se aplicaron los procedimientos, dejaron entrever la sensibilidad de dichos métodos a la heterogeneidad espacial de los suelos y una aparente indiferencia entre las ventajas y las desventajas que pudieran primar en uno de ellos sobre el otro (Gabriels et al., 2006). Bajo esta apreciación, si bien los dos métodos evaluados estuvieron influenciados por el tipo de agua que se utilizó en las

pruebas, especialmente cuando el suelo tiene cierta característica salobre, la metodología del pozo invertido es más dependiente del proceso en cuanto a la elaboración y características del hoyo, tiempo de saturación previa y de la duración del ensayo (FAO, 1985); por lo tanto, podría asumirse que el método de doble anillo tuvo una mejor perspectiva en la definición de la conductividad hidráulica saturada.

Conclusiones

Siempre que el método de doble anillo exponga una mayor superficie de infiltración que le permita ser menos susceptible a defectos internos del suelo en comparación con el método del pozo invertido, éste último con 6 cm de diámetro, 60 cm de profundidad y bajo las cargas hidráulicas consideradas en el actual estudio, puede declararse una mayor ventaja del primero en suelos franco arcillosos. En cuanto a precisión, librando las condiciones puntuales del suelo que podrían interferir en el método del pozo invertido y bajo los lineamientos en que se llevó esta investigación, los dos métodos son aceptables.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Alvarado, C. y Barahona-Palomo, M. (2016). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación UNED*, 9(1), 23-33. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v9n1/1659-4266-cinn-9-01-00023.pdf>
- Camacho-López, N., Zabala-Alarcón, N. y Flores-Carpio, Y. (2020). Estimación del coeficiente de permeabilidad del suelo en la ciudad de Macas-Ecuador utilizando permeámetro de carga variable. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 78-94. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1275>
- Castiglioni, M., Behrends, F. y Marquez, J. (2018). Conductividad hidráulica saturada determinada por distintos procedimientos en suelos con alta humedad inicial. *Ciencia del Suelo*, 36(2), 158-169. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1850-20672018000200015
- Elhakeem, M., Papanicolaou, T., Wilson, C., Chang, Y.-J., Burras, L., Abban, B., Wysocki, D. and Wills, S. (2018). Understanding saturated hydraulic conductivity under seasonal changes in climate and land use. *Geoderma*, 315, 75-87. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.011>
- Elrick, D. and Reynolds, W. (2002). Measuring water transmission parameters in vadose zone using ponded infiltration techniques. *Agricultural Sciences*, 7(2), 17-22. <https://journals.squ.edu.om/index.php/jams/article/view/598/599>
- Forero, J. (2000). *Conductividad hidráulica para drenaje de campos agrícolas*. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Gabriels, D., Lobo, D. y Pulido, M. (2006). Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de los suelos. *Venezuelos*, 14(1), 7-22. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/980/909
- Gavilánez, F. (2020). *El drenaje agrícola y sus elementos de diseño*. Quito, Ecuador: Editorial Mawil.
- Grassi, C. (1991). *Drenaje de tierras agrícolas*. Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).
- Grassi, C. (1998). *Fundamentos del riego*. Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).
- Gupta, R., Rudra, R., Dickinson, W., Patni, N. and Wall, G. (1993). Comparison of saturated hydraulic conductivity measured by various field methods. *Transactions of the ASAE*, 36(1), 51-55. doi: 10.13031/2013.28313
- Herrera, J., Duarte, C., González, F y Cid, G. (2016). Efecto del exceso de humedad del suelo sobre el rendimiento en algunos cultivos de importancia agrícola en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(2), 3-7. <https://www.redalyc.org/revista.oa?id=5862>
- Landini, A., Martínez, D., Días, H., Soza, E., Agnes, D. y Sainato, C. (2007). Modelos de infiltración y funciones de pedotransferencia aplicados a suelos de distinta textura. *Ciencia del Suelo*, 25(2), 123-131. <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v25n2/v25n2a03.pdf>
- Leitón, J. (1985). *Riego y drenaje*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Luna-Sáez, D., Sánchez-Reyes, C. y Muñoz-Pardo, J. (2005). Métodos para medir la conductividad hidráulica saturada de campo. *Ingeniería Hidráulica en México*, 20(2), 95-107. http://www.revistatyc.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1040/pdf_1
- Macías, J., Vargas, A. y Arellano, F. (2018). Conductividad hidráulica en dos sitios del Valle Central de Costa Rica: análisis comparativo de tres metodologías de ensayo en la zona no saturada. *Revista Geológica de América Central*, 59, 75-100. <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v59i0.34160>
- Montecinos, A., Montalva, G. y Vargas, J. (2008). Comparación y proposición de métodos para determinar la conductividad

- hidráulica en arenas limosas. *Ingeniería Hidráulica en México*, 28(2), 147-152. <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/152>
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. 2da. Ed. México D.F., México. Editorial Limusa S. A.
- Oosterbaan, R. and Nijland, H. (1994). Determining the saturated hydraulic conductivity. pp. 435-475. In: Ritzema, H. (Ed.). *Drainage principles and applications*. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI).
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1985). *Elementos para el proyecto de drenajes*. Roma, Italia: FAO.
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1989). *Métodos de riego*. Roma, Italia: FAO.
- P'kla. A. and Ayite, Y. M. X. (2020). Comparative analysis of broukou and kpassidè (togo) clay soils permeability coefficient measured from Porchet and variable load permeameter tests. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara*, 18, 127-133. <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2020/ANNALS-2020-2-15.pdf>
- Pfeiffer, M., Haberland, J., Kremer, C. y Seguel, O. (2008). Comparación de dos métodos alternativos al pozo barreno para la medición de la conductividad hidráulica saturada (Ks) en un alfisol. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(3), 49-56. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000300005>
- Philip, J. (1969). Theory of infiltration. *Advance in Hydroscience*, 5, 215-296. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4831-9936-8.50010-6>
- Prieto, B., Tamara, R. y Peroza, J. (2006). Comparación de dos métodos de campo para la determinación de la conductividad hidráulica saturada en suelos del SINU (Córdoba, Colombia). *Revista Temas Agrarios*, 11(2), 36-44. <https://doi.org/10.21897/rta.v11i2.643>
- Reynolds, D., Bowman, B., Brunke, R., Drury, C. and Tan, C. (2000). Comparison of tension infiltrometer, pressure infiltrometer, and soil core estimates of saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 64(2), 478-484. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.642478x>
- Romaña, J. (2014). *Los límites de la ley de Darcy*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional-UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51282>
- Ruiz, V. y Muñoz, C. (2022). Determinación de velocidad de infiltración básica en tres áreas de ladera: Roldanillo, Dagua y Pradera en Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 71(2), 130-138. <https://doi.org/10.15446/acag.v71n2.83572>
- Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica [SIGTIERRAS]. (2017). *Mapa digital, órdenes de suelos del Ecuador*. pp. 7-8. Quito, Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/MEMORIA_MAPA_DE_ORDENES_DE_SUELOS_MAG_SIGTIERRAS.pdf
- Smedema, L. K. and Rycroft, D. W. (1983). *Land drainage-planning and design of Agricultural Drainage Systems*. Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Worsa-Kozak, M. and Chudy, K. (2019). *Estimation of hydraulic conductivity of artificial fine-grained soil based on Porchet method-example of Tailings Pond "Gilów", sw Poland (Conference)*. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Bulgaria. DOI:10.5593/sgem2019/1.2/S02.028

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Freddy Carlos Gavilánez Luna	Diseño de la investigación, revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.
Luis Saúl San Martín Larrea	Montaje del experimento, toma e interpretación de los datos, revisión del contenido del manuscrito.





Evaluación de *Bacillus amyloliquefaciens* en el control de *Botrytis cinerea* en *Rosa* sp.

Evaluation of *Bacillus amyloliquefaciens* in the control of *Botrytis cinerea* in *Rosa* sp.

Autores

- ✉ Sandra Verónica Campués Cholca
- ✉ *Lucía del Rocío Vásquez Hernández
- ✉ Telmo Fernando Basantes Vizcaíno
- ✉ Galo Jacinto Pabón Garcés

Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Resumen

Las exportaciones de flores en el primer bimestre de 2022, alcanzaron 197 millones de dólares, lo que representó un incremento del 7% en relación al mismo periodo en 2021. Para mantener este ritmo de crecimiento, es importante realizar un control eficiente de patógenos que amenazan la productividad, como es el caso de *Botrytis cinerea*, que causa una gran pérdida en cultivos de rosa. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad de *Bacillus amyloliquefaciens* en el control de *B. cinerea* en *Rosa* sp. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, para comparar la frecuencia de aplicación de *B. amyloliquefaciens* versus el manejo químico. El tratamiento de aplicación de *B. amyloliquefaciens* con frecuencia de aplicación cada 4 días (A2) mantuvo un porcentaje de incidencia y severidad entre 0 y 2%, mientras que el tratamiento A1 osciló entre el 10 y 14%. En cuanto a la variable vida en florero el tratamiento A2 obtuvo el 83% de rosas en buen estado, mientras que, el tratamiento A1 alcanzó al 63%. Estos resultados evidenciaron la efectividad del uso de productos biológicos.

Palabras clave: bacterias; control biológico; micología; patología vegetal.

Abstract

In the first two months of 2022, flower exports reached 197 million dollars, representing a 7% increase compared to the same period in 2021. To maintain this growth rate, it is important to efficiently control pathogens that threaten productivity, such as *Botrytis cinerea*, which causes significant crop loss in roses. Therefore, the objective of this research was to evaluate the effectiveness of *Bacillus amyloliquefaciens* in controlling *B. cinerea* in *Rosa* sp. A completely randomized design with four treatments and three replications was used to compare the frequency of application of *B. amyloliquefaciens* versus chemical management. Treatment application of *B. amyloliquefaciens* every 4 days (A2) maintained an incidence and severity percentage between 0 and 2%, while treatment A1 ranged between 10 and 14%. Regarding the variable vase life, treatment A2 achieved 83% of roses in good condition, while treatment A1 reached 63%. These results clearly demonstrate the effectiveness of using biological products.

Keywords: bacteria; biological control; mycology; plant pathology.

Citacion sugerida: Campués Cholca, S. V., Vásquez Hernández, L. del R., Basantes Vizcaíno, T. F. y Pabón Garcés, G. J. (2023). Evaluación de *Bacillus amyloliquefaciens* en el control de *Botrytis cinerea* en *Rosa* sp. *La Técnica*, 13(1), 37-46. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5542>

Recibido: Febrero 09, 2023

Aceptado: Junio 23, 2023

Publicado: Junio 27, 2023

Introducción

En Ecuador los principales productos de exportación son: banano (*Musa x paradisiaca* L.), cacao (*Theobroma cacao* L.), café (*Coffea* sp.), camarón (*Caridea* sp.), atún (*Thunnus* sp.), y rosas (*Rosa* sp.). El país ocupa el tercer lugar a nivel mundial como exportador de flores cortadas, y las rosas ecuatorianas son reconocidas como las mejores del mundo debido a su calidad fisiológica y su prolongada vida en florero. Las provincias con mayor producción de rosas en Ecuador son: Pichincha, Cotopaxi y Carchi, debido a la suficiente luminosidad y suelos fértiles, los cuales son factores importantes para el crecimiento y desarrollo de rosas (Quinaluisa, 2019).

Dada la importancia económica del cultivo de rosas en Ecuador, se busca mejorar las técnicas de control de plagas y enfermedades mediante la rotación de productos químicos y biológicos. Para combatir *Botrytis cinerea*, se emplea *Bacillus amyloliquefaciens* Priest., bacteria Gram positiva asociada a las plantas que estimula su crecimiento y produce metabolitos secundarios que suprimen la acción de los patógenos. En estudios realizados en diferentes cultivos, se observó que la aplicación de *B. amyloliquefaciens* redujo la pudrición en la cosecha de uva (*Vitis vinifera* L.) (Rivera y Cajan, 2016), disminuyó la afectación de *Botrytis* en arándanos (*Vaccinium myrtillus* L.) del 11 al 0% durante la cosecha (OpenAg®. OpenAgriculture, 2018), eliminó la proliferación del hongo en tomates de riñón (*Solanum lycopersicum* L.) almacenados a 2 °C (Mari et al., 1996), la aplicación de *B. subtilis* resultó altamente efectiva en el control de enfermedades relacionadas con pudrición en limones (*Citrus limon* L.) y fresas (*Fragaria* sp.) inoculados con *B. cinerea*, logrando reducir significativamente la incidencia de la enfermedad (Ambrico y Trupo, 2017). Importante mencionar que en un estudio se aisló e identificó bacterias antagonicas que provocaron manchas foliares en rosas, y entre las bacterias identificadas se encontró a *B. amyloliquefaciens* (Le, 2022).

Los sistemas productivos de rosas de corte destinadas a la exportación enfrentan desafíos importantes; como, el control de enfermedades, especialmente *B. cinerea*, debido a su persistencia y número de hospederos. Sumado a las exigencias de los mercados internacionales con relación al manejo ambiental sostenible de los cultivos, lo que ha generado presión para acelerar la implementación de estrategias de control biológico de enfermedades. La infección necrótica de los pétalos de rosa por *B. cinerea*, provocó el colapso y la muerte de estos tejidos tanto en la etapa de crecimiento como en la postcosecha, lo que generó graves pérdidas económicas (Liu et al., 2018).

Ante lo expuesto anteriormente este estudio tuvo como objetivo evaluar la aplicación de *B. amyloliquefaciens* en el control de *B. cinerea* en *Rosa* sp. variedad Orange Crush, en la Florícola Flores de la Montaña, provincia de Pichincha, Ecuador.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la Florícola Flores de la Montaña, empresa perteneciente a la Compañía Falcon-Farms en Ecuador. La finca abarca una extensión de 56 hectáreas, de las cuales 39 se destinan a la producción de rosas de exportación para el mercado americano, mientras que el resto corresponde a edificaciones. La finca se encuentra ubicada en el cantón Cayambe, específicamente en la parroquia Juan Montalvo, en la panamericana norte Km 1½, diagonal al parque Yaznan de la ciudad de Cayambe, en la provincia de Pichincha.

A una altitud de 2.830 msnm, en una región donde la temperatura promedio anual oscila entre los 10 a 18 °C. Durante las noches y en las estaciones más frías, las temperaturas descienden por debajo de los 10 °C, mientras que durante el día y en las estaciones más cálidas, superan los 18 °C. Los niveles de humedad varían entre el 60 y el 90%. La luz solar directa y la radiación ultravioleta (UV) inhiben el crecimiento y la propagación del hongo.

Instrumentos y análisis estadístico utilizados en el ensayo

Los equipos utilizados durante las aplicaciones de *Bacillus* en el ensayo, fueron una bomba Maruyama para la aplicación del producto; un tanque de 200 L para la mezcla del producto; una manguera de aspersión para aplicar el producto en el campo; una lanza aguilón ID9-ID8 como instrumento de aplicación. Entre los insumos y reactivos utilizados se incluyeron el agua como vehículo para la mezcla, la cepa R6-CDX de *B. amyloliquefaciens* (concentración de $1,6 \times 10^9$ UFC·mL⁻¹) como bacteria para el control de *Botritis*, y ácido cítrico para regular el pH de la solución.

Para analizar los datos cuantitativos obtenidos de forma experimental se procedió a utilizar un análisis de varianza (ADEVA) con prueba de medidas LSD Fisher ($\alpha=0,05$). Para el análisis de varianza, se presentaron dos fuentes de variación la frecuencia de aplicación (FA) y el error experimental. Para este estudio hubo un total de 11 grados de libertad; tres grados de libertad para frecuencia de aplicación y ocho grados de libertad para el error experimental. El análisis de estos componentes permitió evaluar la importancia relativa de cada fuente de variación y determinar si hubo diferencias significativas entre los grupos o tratamientos. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el software InfoStat.

Factores en estudio

Se estudió la frecuencia de aplicación del biofungicidas para el control de *Botrytis* en el cultivo de rosas, con una dosis de $3 \text{ cc} \cdot \text{L}^{-1}$ según la recomendación del producto (la dosis fue fija para todos los tratamientos durante todo el proceso de experimentación). Se identificó como factor A, a la frecuencia de aplicación; como A1, al testigo (manejo convencional de la finca); A2, a la aplicación cada 4 días; A3, a la aplicación cada 6 días; A4, a la aplicación cada 8 días. Además, se estableció, tres repeticiones para cada aplicación, dando un total de 12 unidades experimentales. El área total del experimento fue de $2.304,60 \text{ m}^2$ (tabla 1).

El ensayo estuvo ubicado en el área de Flores 4, en el bloque 47, de la finca Falcon-Farms (Flores de la Montaña) de Ecuador

(figura 1a). La ubicación de los tratamientos con sus respectivas repeticiones en campo, estuvo distribuida en tres camas de la variedad Orange Crush (figura 1b).

Tabla 1. Desglose de las unidades experimentales y frecuencia de aplicación para cada tratamiento del experimento.

Tratamiento	Unidades experimentales	Frecuencia de aplicación
A1	3	Testigo
A2	3	Aplicación cada 4 días
A3	3	Aplicación cada 6 días
A4	3	Aplicación cada 8 días

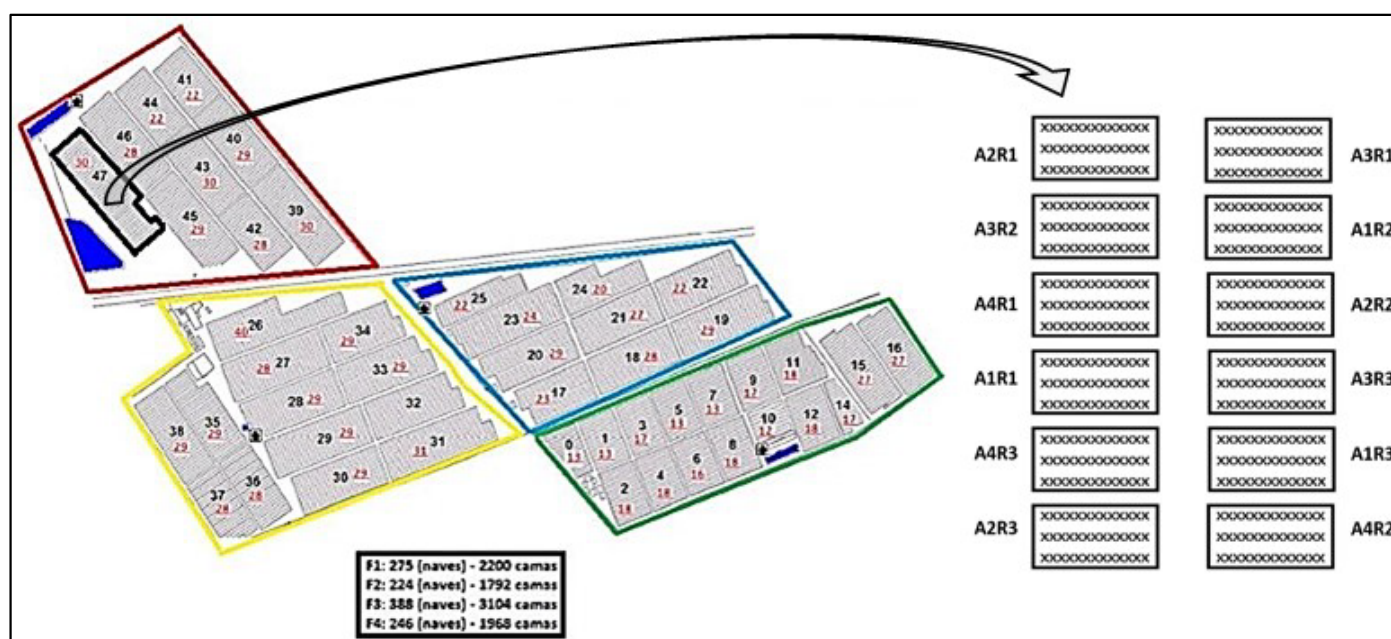


Figura 1. Ubicación del experimento área-bloque. a. Ubicación del área de Flores 4, en el bloque 47, de la finca Falcon-Farms. b. Distribución de tratamientos y repeticiones en campo.

Adaptado de la ubicación de áreas e invernaderos Falcon-Farms de Ecuador S.A. (2020).

Para la aspersión de *B. amyloliquefaciens* cepa R6-CDX, se aplicó una dosis de $3 \text{ cc} \cdot \text{L}^{-1}$ según la recomendación del producto. El volumen por camas fue de $6 \text{ L} \cdot \text{camas}^{-1}$, la aplicación para *Botrytis* en la etapa de botón floral se realizó de acuerdo con lo indicado por Gestiones y Representaciones Chía (2019). Todos los tratamientos durante el primer mes recibieron aplicaciones de *Bacillus* cada 8 días para inocular el producto. Luego las aplicaciones fueron realizadas de acuerdo con la frecuencia de cada tratamiento (A2: 4 días, A3: 6 días, A4: 8 días).

Tanto para la mezcla como para realizar la aspersión se utilizaron equipos de protección. Además, se verificó la temperatura (menor a $28 \text{ }^\circ\text{C}$) y humedad relativa (inferior al 40%) dentro del bloque 47, de la finca Falcon-Farms. para la correcta asimilación del producto y evitar estrés en la planta. Se realizó una premezcla del producto para garantizar la correcta disolución, donde por cada 3 cc del producto se colocó 1 L de agua, seguidamente

se agregó el adherente (INEX-A-Cosmoagro) a $0,3 \text{ cc} \cdot \text{L}^{-1}$ y finalmente se reguló el pH a 5 para su aplicación con ácido cítrico ($5 \text{ g} \cdot \text{tanque}^{-1}$). Para garantizar el volumen por cama se realizó el aforo de discos y se reguló el tiempo de aspersión por cama, también se aseguró que el producto cubrió toda con la ubicación de papel hidrosensible (Gestiones y Representaciones Chía, 2020).

Diseño experimental

Este estudio evaluó las frecuencias de aplicación de *B. amyloliquefaciens* cepa R6-CDX en el control de *Botrytis*, se manejó un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones, para determinar la influencia del biofungicida sobre el desarrollo del hongo en el cultivo de rosas. En el diseño experimental, se utilizaron tres repeticiones con un total de 12 unidades experimentales. Cada repetición se compuso de cuatro unidades experimentales, lo que resultó en un total de 12 unidades

para todo el experimento (figura 1). Se utilizó el programa Microsoft Excel (software estadístico) para generar asignaciones aleatorias de los tratamientos a las repeticiones. Con la prueba de medidas LSD Fisher ($\alpha= 0,05$) (Badii et al., 2007).

Se dividió al estudio en tres fases, la primera correspondió con el monitoreo en campo realizado por 13 semanas; la segunda fase comprendió el estudio de las rosas en cámara húmeda donde se tomaron datos durante 12 semanas; y, la tercera fase que permitió examinar la vida en florero de las rosas durante siete semanas.

Al iniciar el monitoreo en campo se tomaron datos tales como: número de bloques, semanas y fechas; luego se procedió a ubicar 20 flores en punto de corte 3, en las cuales se observó la presencia o no de pústulas, tejido blando o esporulación del hongo, con esta información se calculó el porcentaje de incidencia y severidad del patógeno. La inspección se realizó todos los días desde el inicio hasta el fin de las aplicaciones, procedimiento que se llevó a cabo durante 3 meses de evaluación.

$$Incidencia (\%) = \frac{N^{\circ} \text{ de flores afectadas}}{N^{\circ} \text{ de flores totales}} \times 100 \quad (1)$$

Para medir la severidad de la infección, se utilizó una escala visual (G1, G2, G3) la cual se basó en la apariencia de las lesiones causadas por la enfermedad. Para establecer la severidad se calculó el porcentaje de la superficie de los pétalos que estaban cubiertos por signos, manchas o pústulas de la enfermedad (Agrios, 2005), para lo cual se aplicó la ecuación (2).

Cámara húmeda

Para la ejecución de la segunda fase, se seleccionaron cinco rosas en un índice de corte 3 sin follaje, ubicadas en tinas con agua

En la primera fase se determinó la incidencia y severidad de *B. cinerea* después de aplicados los tratamientos, se tomaron los datos a las 7:00 de la mañana, de las 20 rosas en un índice de corte 3 por cada tratamiento (este punto de corte estuvo dado, cuando el caracol fue definido, mostrando el centro, la coloración de los pétalos fueron más brillantes y llamativos, y el patrón tuvo forma de una copa). Se monitoreó la presencia de pecas en la flor (la flor positiva fue la que presentó pecas o lesiones), aspecto no deseable en las rosas.

Para establecer el porcentaje de incidencia de *B. cinerea*, se empleó la observación directa, determinando la presencia de lesiones o síntomas característicos en los botones florales; se registró el número de plantas infectadas con relación al número total de plantas evaluadas. Para establecer la incidencia se calculó el porcentaje de rosas afectadas respecto del total de rosas evaluadas o monitoreadas en los tratamientos (Agrios, 2005), para lo cual se aplicó la ecuación (1).

(10 L) individuales por tratamiento, separadas con 2 cm entre flor y flor a temperatura ambiente (figura 2). Los datos obtenidos fueron registrados en el formato establecido de acuerdo con el grado de afectación del hongo (G1: presencia o no de pústulas, G2: tejido blando, G3: esporulación del hongo), con lo cual se calculó el porcentaje de incidencia y severidad (Ecuaciones 1 y 2). El monitoreo se realizó cada ocho días (Gestiones y Representaciones Chía, 2019).

$$Severidad (\%) = \frac{((N^{\circ} \text{ de flores } G1 \times 1) + (N^{\circ} \text{ de flores } G2 \times 2) + (N^{\circ} \text{ de flores } G3 \times 3))}{(N^{\circ} \text{ de flores totales} \times 3)} \times 100 \quad (2)$$



Figura 2. Proceso para la instalación del ensayo en cámara húmeda, para evaluar la incidencia y severidad. a. Selección de cinco rosas en un índice de corte 3 sin follaje; b. Ubicación de las rosas en tinas con agua (10 L) individuales por tratamiento; c. Rosas separadas con 2 cm entre flor y flor a temperatura ambiente.

Donde:

G1: grado uno, cuando presentó pústulas, G2: grado dos, tejido blando, G3: grado tres, presentó esporulación.

Vida en florero

Para esta determinación se inició con la elaboración de 12 ramos cada uno con 12 tallos, los cuales fueron empacados según protocolos comerciales del producto; seguido a esto se inició la simulación de viaje (para simular la ruptura de la cadena de frío en las zonas de embarque, el segundo día del viaje simulado se sacaron las cajas a temperatura ambiente durante 8 horas y luego se volvieron a ingresar a los cuartos fríos hasta completar el tiempo de almacenamiento establecido).

Una vez se completó el tiempo, se empezó con el procedimiento de evaluación en florero, para esto se procedió a abrir los bonches (ramos de rosas) y se cortó los tallos en la base, aproximadamente 2,5 cm, también se eliminó parte del follaje de los tallos. Finalmente se llenó cada florero con agua (2 L) y se añadió el sobre de preservante (5 g·L⁻¹), y se etiquetó cada florero (Gestiones y Representaciones Chía, 2020). Para valorar la calidad de vida en florero de los tratamientos en estudio, las rosas fueron monitoreadas durante 15 días, donde se pudo observar la apertura, decoloración, deformidad, deshidratación, caída de pétalos, pedúnculo caído, necrosis en los bordes de los pétalos, senescencia y amarillamiento del follaje (daños por *Botrytis*) (figura 3).



Figura 3. Proceso para la instalación del ensayo para la evaluación de la vida en florero de las rosas. a. Clasificación y bonchado de ramos de 12 tallos, cosechados de cada tratamiento en evaluación. b. Empacado y sunchado de los ramos de acuerdo a estándares comerciales del producto; c. Colocación de rosas en floreros con la etiqueta donde constó el nombre de la variedad, la fecha y tratamientos.

Resultados y discusión

Monitoreo en campo

Incidencia

Durante la primera semana de evaluación, se registró una incidencia del 3% en los tratamientos A1 (testigo con aplicación química) y A4 (aplicación cada 8 días), mientras que el tratamiento A3 (aplicación cada 6 días) presentó una incidencia del 0%. En

la cuarta semana, se observó que el tratamiento A4 mostró una mayor incidencia, la cual correspondió al 5% en comparación con el tratamiento A2 (aplicación cada 4 días), que tuvo 1%. En la séptima semana, se observó un aumento en la incidencia de los tratamientos con aplicación biológica. El tratamiento A2 mostró un 7% de incidencia, seguido por el A3 con un 6%, el A4 con un 5% y el A1 con 1%. Esto reveló una diferencia del 6% entre los tratamientos de aplicación química y biológica (figura 4).

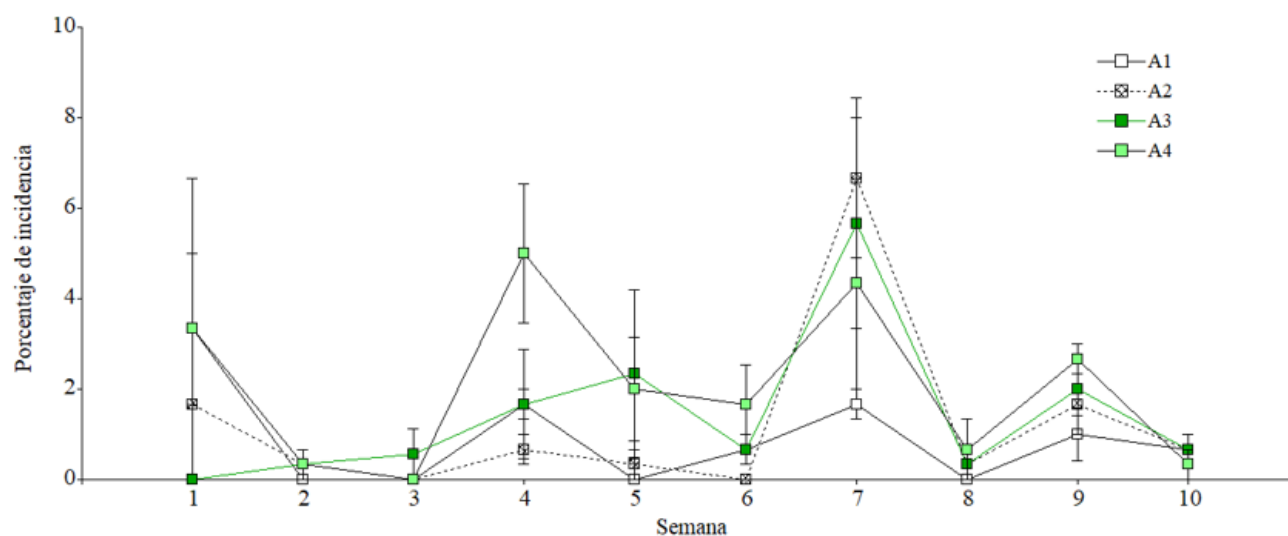


Figura 4. Porcentaje de incidencia de *Botrytis cinerea* en *Rosa* sp., durante el monitoreo en campo.

Este estudio permitió observar una disminución significativa en el porcentaje de incidencia de *Botrytis* en *Rosa* sp. var. Orange Crush, para los tratamientos A2 y A3, los cuales mantuvieron porcentajes bajos entre el 0 y 2% con relación a la aplicación química A1 (testigo). Similares resultados se observaron en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) donde al usar productos químicos en el control de *Botrytis* hubo una incidencia del 14%; mientras que al realizar el control de este patógeno con *B. amyloliquefaciens* se observó una incidencia del 10%; y al realizar la aplicación combinada de un producto químico más *B. amyloliquefaciens*, se presentó una incidencia del 8% (CERTIS agricultura sostenible y rentable, 2021).

De la misma manera, en fresa (*Fragaria* sp.) al aplicar *B. amyloliquefaciens*, se presentó un 61,22% de inhibición, lo que denotó valores significativos en el control de *Botrytis*; además, la aplicación de *Bacillus* mejoró la calidad de las hojas, flores y frutos de la fresa, lo que optimizó la productividad del cultivo (Htwe-Maung et al., 2021). Con lo mencionado se corroboró

el favorable efecto de la aplicación de *B. amyloliquefaciens*; además, de ser una opción propicia para ingresar a la rotación de productos como herramienta para prevenir y/o controlar *Botrytis* por su característica biológica, que permite cuidar al ambiente al disminuir el uso de agroquímicos.

Severidad

En la semana 1 los tratamientos A1 y A4 presentaron una severidad del 10%, A2 presentó un 6% y A3 de 0%; en la semana 4 el tratamiento A4 tuvo el 14% de severidad, mientras que los tratamientos A1, A2, A3 estuvieron entre el 1 y el 5% estableciendo una diferencia del 13% entre el tratamiento A4 y A2. En la semana 7 se evidenció que los tratamientos biológicos tuvieron una severidad alta, donde el tratamiento A2 llegó al 21%, seguido de A3 en el 19% y A4 en el 14% mientras que el tratamiento A1 se mantuvo en el 5%, por lo que en las aplicaciones químicas se mantuvieron bajas durante toda la investigación (figura 5).

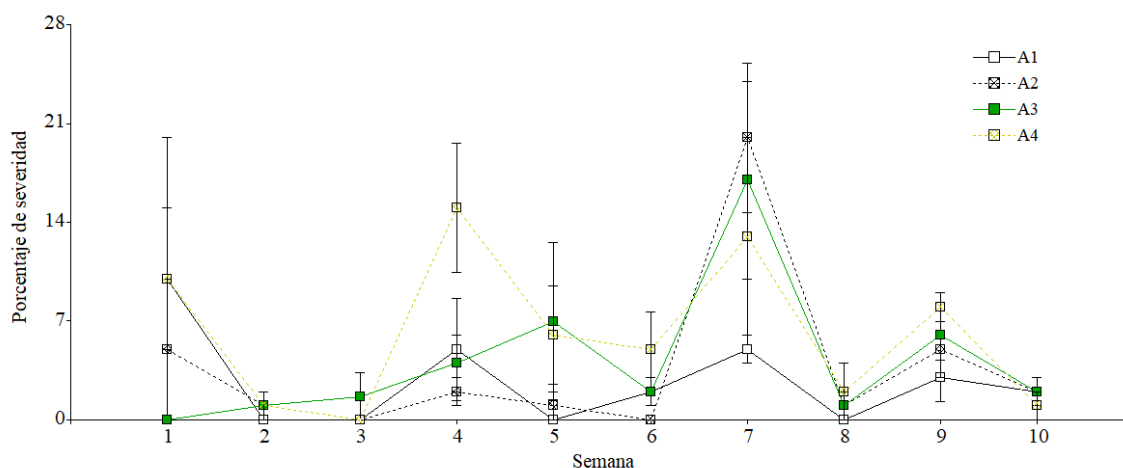


Figura 5. Porcentaje de severidad de *Botrytis cinerea* en *Rosa* sp., durante el monitoreo en campo.

Este estudio permitió observar que al inicio de la investigación los cuatro tratamientos presentaron una severidad entre el 0 y 10%, en las semanas dos y tres se redujo hasta por debajo del 3%. En la semana cuatro el tratamiento A4 presentó 14% de severidad, mientras que los tratamientos A1, A2 y A3 estuvieron por debajo del 5%. En la semana 7 se evidenció que los tratamientos biológicos tuvieron una severidad superior en comparación al tratamiento químico. Sin embargo, en las semanas 8, 9 y 10 se observó una disminución en la severidad (menos del 8%).

Este antecedente concordó con lo encontrado en un ensayo realizado en *V. vinifera*, este permitió evidenciar que al primer año de aplicado el *Bacillus* se observó que hubo una disminución

en la severidad del 37% con respecto al testigo, en el segundo año se redujo el 58% (Calvo-Garrido et al., 2019), esto indicó que el realizar aplicaciones a largo plazo se redujo el grado de afectación del patógeno, lo que mejoró la calidad del producto final. El principal modo de antibiosis que actuó en la relación bacteria-hongo fue la producción de lipopéptidos como la iturina que fue la responsable de inhibir al hongo (Pedraza-Herrera et al., 2020).

Cámara húmeda

Incidencia

Los tratamientos biológicos presentaron una incidencia menor al del testigo químico, fue así que el tratamiento A2 a los 8 días

tuvo un 35% de incidencia, y entre los días 40 y 80 presentó una incidencia entre el 1 y 25%, seguido de los tratamientos A3 y A4 que estuvieron en un rango de 50 al 75%; mientras que el tratamiento A1 (testigo químico) presentó una incidencia entre

el 50 al 100%, excepto el día 64 que bajó (figura 6). El análisis estadístico del porcentaje de incidencia en cámara húmeda mostró que hubo interacción entre los factores días y tratamientos ($F=2,08$; $GI=36,102$; $P=<0,0023$) (tabla 2).

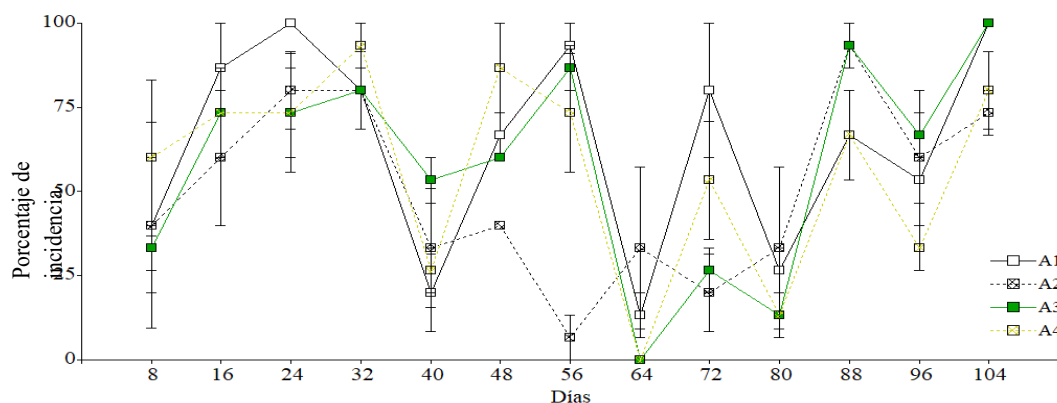


Figura 6. Porcentaje de incidencia de *Botrytis cinerea* en *Rosa* sp., en cámara húmeda.

Tabla 2. ADEVA del porcentaje de incidencia en cámara húmeda.

Fuentes de variación	Grados de libertad de FV	Grados de libertad del error	Valor F	Valor p
Días	12	102	15,55	<0,0001
Tratamiento	3	102	2,50	0,064
Días x Tratamiento	36	102	2,08	0,0023

Al indagar sobre bacterias termófilas del suelo con amplio espectro antifúngico contra *Rhizoctonia solani*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum*, y *B. cinerea*, se encontró a *B. amyloliquefaciens* la cual mostró porcentajes favorables para el control de *Botrytis*; al poner en contacto a *B. amyloliquefaciens* con el hongo *Botrytis* se presentó el 100% de inhibición del patógeno (Jamal et al., 2015). Esto reforzó lo obtenido en este ensayo, donde se observó que mientras más corta fue la frecuencia de aplicación, mayor control del patógeno se tuvo.

Otro estudio, evaluó racimos de uva en maduración, los cuales fueron encubados con *B. amyloliquefaciens* durante 13 días, luego

fueron inoculadas con *B. cinerea* por 7 días a una temperatura de 25 °C y una humedad relativa del 100%; como consecuencia *B. amyloliquefaciens* controló del 44,1 al 72,4% la incidencia del patógeno (Fedele et al., 2020). Esto robusteció otro aspecto obtenido en este ensayo, donde se encontró que los tratamientos biológicos presentaron menor incidencia en comparación al tratamiento químico.

Severidad

El tratamiento A1 presentó un porcentaje de severidad de entre el 40 y 80% desde el día 16 hasta el día 32, y los picos se dieron en los días 56, 72 y 104 los cuales estaban entre el 80 y 100%. En tanto, que el tratamiento A2 presentó una severidad de entre el 20 y 40%, desde el día 8 hasta el día 32, a partir del día 40 se presentó una disminución hasta el día 80 llegando a tener una severidad de entre el 20 y 0%. Los tratamientos A3 y A4 mostraron una severidad entre 20 y 80%, al día 56 llegaron a tener el 100% de severidad (figura 7). El análisis de varianza del porcentaje de severidad en cámara húmeda expresó que hubo interacción entre los factores días y tratamientos ($F=3,00$; $GI=36,102$; $P=<0,0001$) (tabla 3).

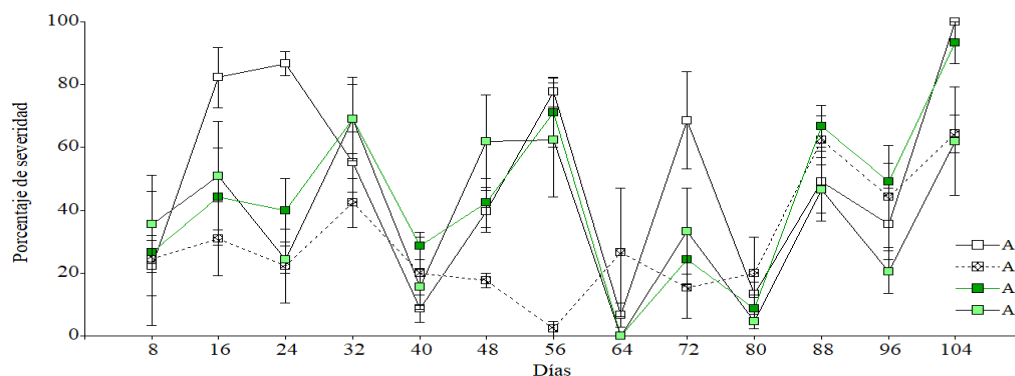


Figura 7. Porcentaje de severidad de *Botrytis cinerea* en *Rosa* sp., en cámara húmeda.

Tabla 3. ADEVA del porcentaje de severidad en cámara húmeda.

Fuentes de variación	Grados de libertad de FV	Grados de libertad del error	Valor F	Valor p
Días	12	102	16,48	<0,0001
Tratamiento	3	102	8,82	<0,0001
Días x Tratamiento	36	102	3	<0,0001

Al optimizar los componentes de *B. amyloliquefaciens* por mutagénesis se obtuvo una versión mejorada, con siete veces más metabolitos antifúngicos, los cuales al ser aplicados en tomates infectados de *B. cinerea*, inhibió el crecimiento del patógeno hasta el 100% (Masmoudi et al., 2017). Este antecedente permitió interpretar lo observado en el tratamiento A2 de esta investigación, el cual presentó una baja severidad respecto al resto de tratamientos, debido a que acumuló mayor cantidad de *Bacillus*, lo que proporcionó una alta protección a la planta contra el patógeno. De igual forma en un estudio que inoculó *B. cinerea* con *B. amyloliquefaciens* a una concentración de 3×10^3 UFC·mL⁻¹ se mostró una inhibición del 84,04% del patógeno (Hamdache et al., 2018).

Vida en florero

En el análisis de varianza de la variable vida en florero, no hubo interacción entre los factores días y tratamientos (F= 1,18; Gl= 45, 510; P= >0,2049), por lo que se aceptó la hipótesis alternativa que el hongo se controló mediante una aplicación biológica. Se observó que el tratamiento A2 presentó el mayor número de rosas sin presencia del patógeno, esto fue el 80% de rosas sanas durante los 15 días; a diferencia de los tratamientos A1 y A3, los cuales fueron estadísticamente iguales, estos presentaron el 33% de rosas infectadas, el 66% de rosas permanecieron sanas durante los 15 días. El tratamiento A4 presentó el 42% de rosas infectadas. Esto permitió observar que mientras más corto fue el tiempo de aplicación del producto la vida de la rosa mejoró sustancialmente, pudiendo mantener las rosas más de ocho días en el florero.

El análisis de varianza mostró que no hubo interacción entre los factores: tratamientos y largo de tallo (F= 0,66; Gl= 12, 118; P= >0,7848). Sin embargo, entre los factores número de cosechas y largo de tallo hubo interacción altamente significativa (F= 5,36; Gl= 8, 118; P= <0,0001) independientemente de la frecuencia de aplicación tanto del testigo químico como del biológico (tabla 4).

En este estudio, el 80% de las rosas en florero del tratamiento A2 permanecieron sin la presencia del patógeno durante 15 días. *Bacillus amyloliquefaciens* se usó como producto para

contrarrestar a *B. cinerea* durante el proceso de poscosecha en cereza (*Prunus cerasus*), se aplicó a frutos con pequeñas heridas, de los cuales el 75% de frutos permanecieron sanos (Gotor-Vila et al., 2017).

Tabla 4. ADEVA vida en florero-largo del tallo.

Fuentes de variación	Grados de libertad FV	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Número cosechas	2	118	2,79	0,0652
Tratamiento	3	118	1,25	0,2939
Largo del tallo	4	118	133,73	<0,0001
Número cosechas x Tratamiento	6	118	0,96	0,4573
Número cosechas x Largo del tallo	8	118	5,36	<0,0001
Tratamiento x Largo del tallo	12	118	0,66	0,7848
Número cosechas x Tratamiento x Largo del tallo	24	118	1,21	0,2508

Rosa sp. var. Orange Crush, desde la clasificación hasta llegar a vida en florero, sufrió cambios bruscos de temperatura, menores a 2 °C en la prueba de vuelo hasta temperaturas ambiente; a pesar de esta travesía ningún tratamiento presentó la presencia del patógeno. Lo mismo sucedió en arándanos (*V. myrtillus*) almacenados por 30 días a una temperatura de 0 °C, donde hubo una disminución del hongo de 28,2 a 10,5% (UPL OpenAG, 2017). Es así que se reforzó, el que *B. amyloliquefaciens* fue un inhibidor de mohos fungosos, en especial de *B. cinerea*, durante el proceso poscosecha y distribución (Rotolo et al., 2017).

Al aplicar *B. amyloliquefaciens* más aceite de tomillo (*Thymus* sp.) y limoncillo (*Cymbopogon citratus*) para el almacenamiento en poscosecha de melocotón (*P. persica*), a una temperatura de 25 °C por 5 días, se observó que todos los frutos permanecieron sanos hasta su consumo, es decir, el control del patógeno fue del 100% (Arrebola et al., 2010). Esto permitió identificar que al combinar *Bacillus* con otros productos se puede potenciar su efectividad.

Conclusiones

El análisis de los datos de incidencia y severidad, tanto en el campo como en la cámara húmeda, respalda la eficacia del control biológico como una alternativa valiosa para reducir el uso de productos químicos en el control de *Botrytis*. El tratamiento A2, con una frecuencia de aplicación cada 4 días y una dosis de 3 cc·L⁻¹, se identifica como el mejor en el control de *Botrytis* en el cultivo de rosa. La acumulación de *B. amyloliquefaciens*



en el cultivo contribuyó a reducir tanto la incidencia como la severidad del patógeno, lo que resultó en una disminución del uso de pesticidas nocivos para el medio ambiente y la salud humana.

En cuanto a la vida en florero, se observaron buenas condiciones tanto en el botón floral como en las hojas, manteniendo una duración de 8 a 15 días, dentro del rango esperado para una rosa en florero. El tratamiento A2 también mostró la menor cantidad de tallos eliminados debido a *Botrytis* en las tres evaluaciones, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el campo y la cámara húmeda. No se observó eliminación de tallos por problemas como decoloración de pétalos, deshidratación, amarillamiento del follaje ni defoliación. La mayoría de los tallos eliminados fueron a causa de la enfermedad por hongos *Botrytis* y por apertura excesiva. Es destacable que los tratamientos con aplicación biológica exhibieron un alto porcentaje (80%) de tallos con buenas condiciones de apertura y calidad del follaje hasta el día 15 de evaluación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. Elsevier. In: Elsevier Inc. all rights reserved. <https://doi.org/10.1242/jcs.207373>
- Ambrico, A., y Trupo, M. (2017). Efficacy of cell free supernatant from *Bacillus subtilis* ET-1, an Iturin A producer strain, on biocontrol of green and gray mold. *Postharvest Biology and Technology*, 134, 5-10. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.001>
- Arrebola, E., Sivakumar, D., Bacigalupo, R. and Korsten, L. (2010). Combined application of antagonist *Bacillus amyloliquefaciens* and essential oils for the control of peach postharvest diseases. *Crop Protection*, 29(4), 369-377. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.08.001>
- Badii, M. H., Castillo, J., Rodríguez, M., Wong, A., y Villalpando, P. (2007). Diseños experimentales e investigación científica. *Revista Innovaciones de Negocios*, 4(2), 283-330. <https://doi.org/10.29105/rinn4.8-5>
- Calvo-Garrido, C., Roudet, J., Aveline, N., Davidou, L., Dupin, S. and Fermaud, M. (2019). Microbial antagonism toward *Botrytis* bunch rot of grapes in multiple field tests using one *Bacillus ginsengihumi* strain and formulated biological control products. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00105>
- CERTIS agricultura sostenible y rentable. (2021). AMYLO-X® WG. *Fungicida-bactericida de origen natural*, 1(1), 3. España. https://www.certiseurope.es/fileadmin/ES/Descargas/Productos/Solution_Finder/AMYLO-X_WG/Folleto_Amylo-X_WG_Lechuga.pdf
- Fedele, G., Brischetto, C. and Rossi, V. (2020). Biocontrol of *Botrytis cinerea* on grape berries as influenced by temperature and humidity. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01232>
- Gestiones y Representaciones Chía. (2019). *Monitoreo directo plagas y enfermedades*. Colombia.
- Gestiones y Representaciones Chía. (2020). *Procedimiento para la simulación de viaje y evaluación de vida en florero*. Colombia.
- Gotor-Vila, A., Teixidó, N., Casals, C., Torres, R., De Cal, A., Guijarro, B. and Usall, J. (2017). Biological control of brown rot in stone fruit using *Bacillus amyloliquefaciens* CPA-8 under field conditions. *Crop Protection*, 102, 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.010>
- Hamdache, A., Ezziyyani, M. and Lamarti, A. (2018). Effect of preventive and simultaneous inoculations of *Bacillus amyloliquefaciens* (Fukumoto) strains on conidial germination of *Botrytis cinerea* Pers.:Fr. *Anales de Biología*, 40, 65-72. <https://doi.org/10.6018/analesbio.40.08>
- Htwe-Maung, C. E., Seon-Baek, W., Gyu-Choi, T. and Yong-Kim, K. (2021). Control of grey mould disease on strawberry using the effective agent, *Bacillus amyloliquefaciens* Y1. *Biocontrol Science and Technology*, 31(5), 468-482. <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1867707>
- Jamal, Q., Lee, Y. S., Jeon, H. D., Park, Y. S. and Kim, K. Y. (2015). Isolation and biocontrol potential of *Bacillus amyloliquefaciens* Y1 against fungal plant pathogens. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 48(5), 485-491. <https://doi.org/10.7745/kjssf.2015.48.5.485>
- Le, U. T. (2022). Isolation and identification of the antagonistic bacteria against *Xanthomonas* spp. causing the leaf spot from *Rosa* spp. *Can Tho University Journal of Science*, 14, 68-73. <https://doi.org/10.22144/ctu.jen.2022.030>
- Liu, X., Cao, X., Shi, S., Zhao, N., Li, D., Fang, P., Chen, X., Qi, W. and Zhang, Z. (2018). Comparative RNA-Seq analysis reveals a critical role for brassinosteroids in rose (*Rosa hybrida*) petal defense against *Botrytis cinerea* infection. *BMC Genetics*, 19(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12863-018-0668-x>
- Mari, M., Guizzardi, M., Brunelli, M. and Folchi, A. (1996). Postharvest biological control of grey mould (*Botrytis cinerea* pers.: Fr.) on fresh-market tomatoes with *Bacillus amyloliquefaciens*. *Crop Protection*, 15(8), 699-705. [https://doi.org/10.1016/s0261-2194\(96\)00042-7](https://doi.org/10.1016/s0261-2194(96)00042-7)
- Masmoudi, F., Ben Khedher, S., Kamoun, A., Zouari, N., Tounsi, S. and Trigui, M. (2017). Combinatorial effect of mutagenesis and medium component optimization on *Bacillus amyloliquefaciens* antifungal activity and

efficacy in eradicating *Botrytis cinerea*. *Microbiological Research*, 197, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.01.001>

OpenAg®. OpenAgriculture. (2018). *Producto biológico para el control de Botrytis*. Biofungicida Amylo-X. Blanca Luz Pinilla. https://cl.uplonline.com/download_links/3yAT39PiptG8VSANk9u3PhuyWaWvBUQQYLpXm2UG.pdf

Pedraza-Herrera, L. A., Lopez-Carrascal, C. E. y Uribe-Vélez, D. (2020). Mecanismos de acción de *Bacillus* spp. (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta Biológica Colombiana*, 25(1), 112-125. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>

Quinaluisa, C., Villamar, R., Díaz, E., Moncayo, O., López, J. and Jazeyeri, S. (2021). State of the art of floriculture

in Ecuador: Historical and current economic context, genetic improvement and carbon footprint. *Nexo Agropecuario*, 9(1), 111-120. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/32799>

Rivera, T., y Cajan, J. (2016). Productos biológicos y químicos para el control de pudrición gris y ácida en el cultivo de vid (*Vitis vinifera* L.) en condiciones de campo, Chongoyape 2015. UCV-HACER. *Revista de Investigación y Cultura*, 5(2).

Rotolo, C., De Miccolis Angelini, R. M., Dongiovanni, C., Pollastro, S., Fumarola, G., Di Carolo, M., Perrelli, D., Natale, P. and Faretra, F. (2017). Use of biocontrol agents and botanicals in integrated management of *Botrytis cinerea* in table grape vineyards. *Pest Management Science*, 74(3), 715-725. <https://doi.org/10.1002/ps.4767>

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Sandra Verónica Campués Cholca	Propuesta y diseño de la investigación, análisis e interpretación de los datos.
Lucía del Rocío Vásquez Hernández	Revisión bibliográfica, realizó la preparación y edición del manuscrito, interpretación de datos, corrección de estilo.
Telmo Fernando Basantes Vizcaíno	Corrección de estilo, y revisión del contenido del manuscrito.
Galo Jacinto Pabón Garcés	Revisión bibliográfica, corrección de redacción, revisión final del escrito.



Elaboración de un preparado hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir de *Ilex guayusa* Loes.

Preparation of a water-soluble preparation in the form of a powdery solid from *Ilex guayusa* Loes.

Autores

- ✉ ¹*Sting Brayán Luna-Fox*
- ✉ ¹*Reinaldo Rigoberto Álvarez Castro*
- ✉ ¹*Nelly Jazmín Peñafiel-Bonilla*
- ✉ ¹*Matteo Radice*
- ✉ ¹*Laura Scalvenzi*
- ✉ ¹*Yasiel Arteaga-Crespo*
- ✉ ²*Orestes Darío López Hernández*
- ✉ ¹*Luis Ramón Bravo-Sánchez*

¹Universidad Estatal Amazónica, Km 2½
Vía Puyo, Tena, Puyo, Ecuador.

²Universidad Técnica de Ambato, Avenida
Los Chasquis y Río Payamino, Ambato,
Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Luna-Fox, S. R., Álvarez Castro, R. R., Peñafiel-Bonilla, N. J., Radice, M., Scalvenzi, L., Arteaga-Crespo, Y., López Hernández, O. D. y Bravo-Sánchez, L. R. (2023). Elaboración de un preparado hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir de *Ilex guayusa* Loes. *La Técnica*, 13(1), 47-56. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5725>

Recibido: Abril 29, 2023
Aceptado: Junio 24, 2023
Publicado: Junio 27, 2023

Resumen

La investigación consistió en elaborar un producto hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir del extracto acuoso de las hojas de *Ilex guayusa* Loes., por lo que se consideró prioritario maximizar el contenido de cafeína y polifenoles. Se utilizó la decocción a reflujo como método de extracción sólido líquido; las mejores condiciones para extraer la mayor cantidad de cafeína y polifenoles fueron con 15 g de hojas de guayusa en 100 mL de agua destilada, a ebullición por 30 min. Mediante espectrofotometría ultravioleta-visible se cuantificó la cantidad de cafeína y de polifenoles totales, y se obtuvieron concentraciones de 71,7 y 55,76 mg·L⁻¹, respectivamente. Finalmente, se aplicó la tecnología de “*spray drying*” para obtener el sólido pulverulento hidrosoluble. Para la caracterización del producto se realizaron pruebas de solubilidad, las cuales dieron como resultado un tiempo de disolución en caliente (cercano a la temperatura de ebullición) menor a 30 segundos y en frío (16 °C ± 2 °C) menor a 3 min. Se determinó el pH, y el contenido de cenizas totales, los cuales fueron 5,50 y 13,87%, respectivamente. De la evaluación microbiológica resultó que el producto estaba libre de microorganismos aerobios mesófilos. El contenido de cobre, zinc y hierro, determinado mediante espectrofotometría de absorción atómica, fue de 12,35; 234,50 y 19,35 mg·kg⁻¹, correspondientemente; el plomo resultó no detectable. Los resultados obtenidos fueron coherentes con la normativa NTE INEN 1122:2013 relacionada a los requisitos de café soluble obtenido por “*spray drying*”. La presente investigación sienta las bases para el desarrollo industrial de un producto hidrosoluble a base de extracto acuoso de las hojas de *I. guayusa* rico en cafeína y polifenoles.

Palabras clave: *Ilex guayusa*; polifenoles; cafeína; *spray drying*.

Abstract

The research consisted of preparing a water-soluble product in the form of a pulverulent solid from the aqueous *Ilex guayusa* Loes., leaves extract, for which it was considered a priority to maximize the content of caffeine and polyphenols. Reflux decoction was used as the solid-liquid extraction method; the best conditions to extract the greatest amount of caffeine and polyphenols were with 15 g of guayusa leaves in 100 mL of distilled water, boiling for 30 min. Using ultraviolet-visible spectrophotometry, the amount of caffeine and total polyphenols was quantified, and concentrations of 71.7 and 55.76 mg·L⁻¹ were obtained, respectively. Finally, the *spray drying* technology was applied to obtain the water-soluble powdery solid. For the characterization of the product, solubility tests were carried out, which resulted in a dissolution time when hot (close to boiling temperature) of less than 30 seconds and when cold (16 °C ± 2 °C) of less than 3 min. The pH and the total ash content were determined, which were 5.50 and 13.87%, respectively. From the microbiological evaluation it was found that the product was free of mesophilic aerobic microorganisms. The copper, zinc and iron content, determined by atomic absorption spectrophotometry, was 12.35, 234.50 and 19.35 mg·kg⁻¹, correspondingly; lead was not detectable. The results obtained were consistent with the NTE INEN 1122:2013 regulation related to the requirements of soluble coffee obtained by *spray drying*. This research lays the foundations for the industrial development of a water-soluble product based on an aqueous extract of *I. guayusa* leaves, rich in caffeine and polyphenols.

Keywords: *Ilex guayusa*; polyphenols; caffeine; *spray drying*.

Introducción

La Amazonía ecuatoriana es considerada como una de las regiones con más biodiversidad del planeta (Cartay y Chaparro, 2020), la enorme variedad de plantas que allí se encuentran ha despertado gran interés por la investigación, tanto en la industria alimentaria como en la obtención de materias primas para las industrias cosmética y farmacéutica (Noriega et al., 2022). La mayoría de las especies que se encuentran en Ecuador son desconocidas para la ciencia contemporánea, sin embargo, debido a sus múltiples beneficios terapéuticos, históricamente diversas comunidades indígenas han empleado distintas plantas con estos fines, como en el caso de *I. guayusa* (Lozano et al., 2020).

Ilex guayusa es una planta oriunda de la región amazónica de Ecuador y ha despertado gran interés en todo el mundo debido a sus características antioxidantes, energéticas y estimulantes (Wise y Negrin, 2020). Algunos autores, tales como Patiño (1968); Bennett y Alarcón (2015); Wise y Santander (2018) han investigado los usos etnobotánicos de *I. guayusa* e identificado evidencias del uso medicinal y ritual de la misma desde la época colonial, así como informaciones relacionadas a su seguridad como ingrediente de bebidas tradicionales. Por ende, la especie se presenta como un producto promisorio para la economía del sector amazónico ecuatoriano, siendo al mismo tiempo un enlace con la tradición local y un vector de sistemas productivos que reducen la deforestación, los que han sido considerados amigables con el ambiente (Radice et al., 2015; Torres et al., 2017).

Aunque esta planta se encuentra con poca frecuencia en las chacras, los cultivos comerciales están aumentando constantemente como resultado del enorme interés que ha generado. Sus hojas son utilizadas por los pueblos indígenas de la Amazonía ecuatoriana, en su mayoría de las provincias de Pastaza y Napo, para preparar decocciones antes de realizar ritos en los que participan los ciudadanos de cada localidad (Andrade et al., 2019). Esta especie es una de las pocas plantas que contienen cafeína y compuestos polifenólicos, que recientemente se ha empleado como planta estimulante y terapéutica (Intriago et al., 2022).

Con base a su biomasa seca, la cantidad de cafeína en *I. guayusa* puede variar de 2,90 a 3,28% (Villacís-Chiriboga, 2017) y, además, se ha señalado la presencia de una variedad de polifenoles como el ácido clorogénico y quercetina-3-O-hexosa, compuestos reconocidos por su actividad antioxidante (Castañeda et al., 2022). Aun cuando los compuestos polifenólicos y la cafeína han sido ampliamente estudiados como ingredientes activos para alimentos funcionales, medicamentos y cosméticos (Radice et al., 2017), y aunque existen muchos productos elaborados a partir de la especie *I. guayusa* (Mena, et al.,

2019), ninguno tiene un alto valor agregado obtenido mediante técnicas agroindustriales de vanguardia que aseguren una mayor estabilidad y aprovechamiento. En este sentido, el objetivo de la investigación fue elaborar un preparado hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir de extractos acuosos de la especie *I. guayusa*, considerando que por su elevado contenido de cafeína y polifenoles lo convierte en un ingrediente importante para bebidas energizantes o alimentos funcionales.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Universidad Estatal Amazónica (UEA) ubicada en el km 2½ vía al Tena, provincia Pastaza con una altitud de 940 msnm. Además, se contó con el apoyo del Laboratorio de Investigación de la Facultad de Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, ubicada en el Campus Huachi, en la avenida los Chasquis y Río Payamino ciudad de Ambato, Tungurahua, Ecuador; donde se llevó a cabo el proceso de *spray drying*.

Material vegetal

Las hojas secas de *I. guayusa* se adquirieron en la Fundación Chankuap, ubicada en el barrio Simón Bolívar de la ciudad de Macas, Ecuador empacadas en sobres de 35 g.

Diseño experimental

La primera fase del trabajo se enmarcó en un diseño experimental factorial con dos variables independientes: tiempo y relación sólido líquido, y dos niveles con punto intermedio, para optimizar la operación de decocción donde se evaluó como variables de respuesta el contenido de cafeína y el de polifenoles totales, determinados mediante el método espectrofotométrico. Finalmente se estableció el mejor tratamiento en función de la concentración de cafeína y polifenoles totales. Se analizaron los datos mediante el software Design Expert (Melo y López, 2020). En la tabla 1 se plantea el diseño experimental realizado.

Tabla 1. Nivel de las variables seleccionadas en el diseño factorial y la metodología de superficie de respuesta.

Variable independiente	Nivel de variable codificada			
	Símbolo	Bajo	Central	Alto
		-1	0	1
Relación sólido líquido (g·100 mL ⁻¹)	A	5	10	15
Tiempo (min)	B	15	22,5	30

Obtención del extracto acuoso de las hojas de *I. guayusa*

Para la extracción se pesaron, de acuerdo con el diseño experimental: 5, 10 y 15 g de muestra de hoja seca de *I. guayusa*, con un error de ± 0,1 mg, y se colocaron en un balón para calentamiento de 500 mL, seguidamente se agregaron 100 mL de



agua destilada dejando en reflujo por 15; 22,5 y 30 min, dependiendo del diseño experimental y de la muestra sometida a análisis. Luego se filtró en caliente y se dejó enfriar para realizar el análisis espectrofotométrico. El volumen final del extracto se completó a 100 mL con agua destilada.

Determinación espectrofotométrica de cafeína

Para el análisis se alcalinizaron los 100 mL del extracto acuoso con 1 mL de NaOH 0,1 M, después se extrajo la cafeína con dos porciones de cloroformo de 15 mL cada una. Finalmente, se mezclaron los extractos clorofórmicos y se evaporó en baño María. Luego se disolvió la cafeína añadiendo 50 mL de agua destilada caliente (60-90 °C), se enfrió, se colocó a un matraz aforado de 100 mL y se completó el volumen con agua destilada. De la disolución anterior, se tomaron 5 mL hacia un matraz aforado de 25 mL, se agregó 1 mL de HCl 0,01 M y se enrasó con agua destilada. Finalmente, la absorbancia de la muestra fue leída a una longitud de onda de 275 nm (Sanabria et al., 2017) y se calculó la concentración de cafeína en la muestra por el método del patrón externo a partir de la ecuación (1).

$$\frac{C_m}{A_m} = \frac{C_p}{A_p} \quad (1)$$

Donde, Cm: concentración de la muestra (cafeína), Am: absorbancia de la muestra, Cp: concentración del patrón ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y Ap: absorbancia del patrón.

Determinación espectrofotométrica de compuestos polifenólicos totales

A partir de la disolución filtrada en caliente, se tomó 1 mL del extracto en un matraz aforado de 10 mL y se agregó 0,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu diluido a la mitad con agua destilada y se dejó en reposo por 5 min, posteriormente se adicionó 0,5 mL de carbonato de sodio al 20% y se enrasó con agua destilada; se agitó, se protegió de la luz por 30 min a temperatura ambiente. Finalmente, la absorbancia se midió a 765 nm en el espectrofotómetro (Muñoz-Bernal et al., 2017).

El contenido total de polifenoles se determinó utilizando una curva de calibración de ácido gálico y la concentración de polifenoles totales se expresó en miligramos equivalentes de ácido gálico, para ello se empleó la siguiente ecuación, obtenida a partir del modelo matemático de la recta de calibrado de la ecuación (2).

$$A = 0,0734C - 0,0028 \quad (2)$$

Donde, A: absorbancia de la muestra, C: concentración de la muestra ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Obtención y evaluación del extracto seco de *I. guayusa*

El extracto seco de *I. guayusa* se obtuvo aplicando la tecnología de *spray drying*, según procedimiento descrito en la figura 1 (Pereira et al., 2018). El producto obtenido se evaluó a través de los parámetros: pH, solubilidad en agua fría y caliente, metales pesados y análisis microbiológico de coliformes y *Escherichia coli*.

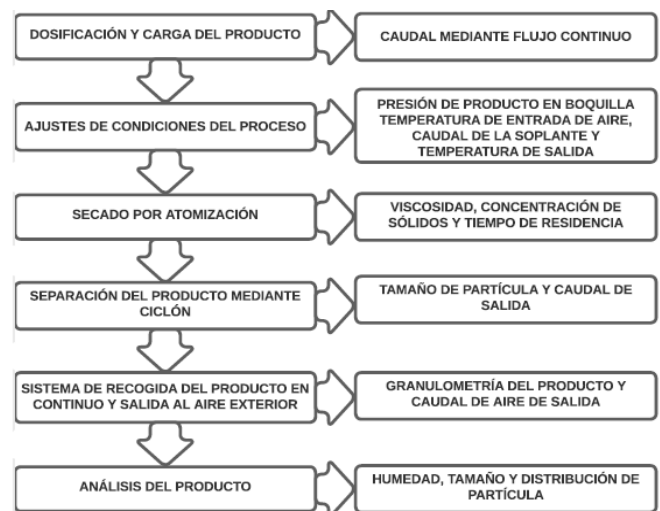


Figura 1. Etapas en los procesos de secado por *spray drying*.

Determinación de pH

Se determinó con la ayuda de un pH-metro, se pesó 1 gramo de la muestra pulverizada de *I. guayusa* obtenidas por *spray drying*, se disolvió en 15 mL de agua destilada y se midió el valor de pH.

Determinación de cenizas totales

Se pesó 1 g de muestra obtenida por *spray drying* por duplicado en un crisol, para luego colocarlas en una plancha de calentamiento a 500 °C para carbonizarla, seguidamente se situaron los crisoles en una mufla a una temperatura de 550 °C por un tiempo de 5 horas, después de haberse cumplido el tiempo, con ayuda de pinzas metálicas se procedió a retirar las muestras y se dejó enfriar en un desecador por una 1 hora. El cálculo de las cenizas totales se realizó utilizando la ecuación (3).

$$C = \frac{M1 - m}{M2 - m} \quad (3)$$

Donde, C: porcentaje de cenizas totales, M1: masa del crisol más la muestra incinerada (g), M2: masa del crisol más la muestra fresca (g), m: masa del crisol vacío (g).

Determinación de solubilidad en caliente y en frío

En caliente: se pesaron 2,5 g de muestra en un vaso de precipitación de 500 mL y se disolvieron en 250 mL de agua desmineralizada acabada de hervir. Se agitó moderadamente y se registró el tiempo hasta la total disolución, evidenciado visualmente.

En frío: Se realizó de la misma manera que en caliente, pero utilizando agua desmineralizada a 16 °C±2 °C.

Determinación de microorganismos mesófilos y coliformes totales

Para la determinación de mesófilos totales y coliformes se utilizó el método de las diluciones sucesivas y la siembra por extensión, utilizando como medios de cultivo respectivamente el Plate Count Agar (PCA) y el Chromocult.

Los análisis se realizaron a partir de una disolución madre preparada mezclando 1 g de sólido pulverulento de *I. guayusa*

con 9 mL de agua destilada estéril. A partir de esta disolución se realizaron las diluciones sucesivas hasta la dilución 10:4. De las diluciones 10:3 y 10:4 se tomaron 100 µL por repetición y se sembraron en cajas Petri, previamente preparadas. Por cada dilución se consideraron tres repeticiones. Para la determinación de coliformes totales se sembró directamente de la disolución madre ya que el objetivo no era cuantificar, sino determinar la presencia/ausencia de dichas bacterias. Las cajas se incubaron a una temperatura de 37 °C por un tiempo de 48 h, para los microorganismos mesófilos y a 25 °C por 48 h, para los coliformes. Transcurridas las 48 h se observaron las cajas para determinar si había crecimiento y se consideraron, para fines de conteo, exclusivamente las cajas Petri con número de colonias entre 30 y 300 UFC·mL⁻¹. Para las bacterias coliformes se utilizó la tabla colorimétrica para interpretar los resultados, adjunta al medio de cultivo Chromocult. De hecho, en este medio de cultivo, las distintas especies de coliformes aparecen de diferentes colores, lo cual es un carácter taxonómico que permite reconocer de qué bacteria se trata.

Determinación de cobre, plomo, hierro y zinc mediante espectrofotometría de absorción atómica

Para el tratamiento por digestión se pesó 0,5 g de las muestras obtenidas por *spray drying*, luego se adicionó 1 mL de peróxido de hidrógeno y 7 mL de ácido nítrico (HNO₃) concentrado, seguidamente se colocaron los pocillos con las muestras en el equipo de sistema de digestión de muestras asistida por microondas por un tiempo de 1 hora y 30 minutos. Después se colocaron las muestras en matraces de 50 mL y se aforó con HNO₃ (1 M). Finalmente, se procedió a la respectiva lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica para determinar la concentración de los metales Cu, Zn, Fe y Pb. Para la cuantificación se utilizó el método de la curva de calibración, a través de la expresión de cálculo (4).

$$m = \frac{PPM * DFI}{M} \quad (4)$$

Donde, m: concentración del metal a determinar (mg·kg⁻¹), PPM: concentración de la disolución de ensayo (mg·L⁻¹), DFI: factor de dilución, M: biomasa de la muestra (g).

Resultados y discusión

Evaluación del diseño de experimentos

Respecto a la variable de respuesta: concentración de cafeína, los resultados del efecto de los factores tiempo y relación sólido-liquido sobre la extracción de cafeína obtenida mediante de la decocción de las hojas de *I. guayusa*, variaron entre 62,98-71,70 mg·L⁻¹ y se calcularon en función de la biomasa seca. Los valores de cada combinación se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de cafeína en los diferentes tratamientos.

Experimento	A	B	Cafeína
	Tiempo (min)	S/L (g·mL ⁻¹)	Concentración (mg·L ⁻¹)
1	15	5/100	65,96
2	15	5/100	64,47
3	15	5/100	65,30
4	15	15/100	67,87
5	15	15/100	68,30
6	15	15/100	66,81
7	22,5	10/100	68,94
8	22,5	10/100	66,81
9	22,5	10/100	67,66
10	30	5/100	62,98
11	30	5/100	64,68
12	30	5/100	64,04
13	30	15/100	71,49
14	30	15/100	71,70
15	30	15/100	68,72

S/L: relación sólido/liquido.

La figura 2 muestra el diagrama de Pareto donde se incluyeron dos líneas horizontales de corte estadístico, la primera fue la línea t-value, la cual indicó que los factores que se encontraron por encima de esta fueron significativos, la segunda fue la línea de Bonferroni, donde aquellos factores que superaron este límite fueron considerados altamente significativos (P<0,05).

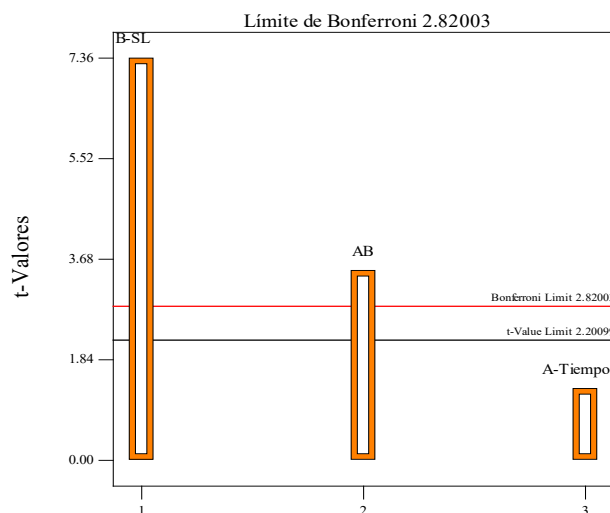


Figura 2. Diagrama de Pareto para el valor t de los efectos para la extracción de cafeína.

Preparado hidrosoluble a partir de *Ilex guayusa*

En el caso del factor B (relación sólido-líquido) se encontró por encima del límite de Bonferroni mostrando su efecto altamente significativo en la extracción de cafeína; sin embargo, el factor A (tiempo), no presentó influencia significativa en la extracción de cafeína ubicándose por debajo de la línea t-value. La interacción entre los dos factores fue significativa, lo cual mostró que el factor tiempo por sí solo no afectó el rendimiento de extracción, pero potenció el efecto de la relación sólido-líquido.

La interacción entre los factores de estudio y la variable dependiente cafeína, se aprecia en la figura 3. En (A), se observó el efecto positivo del factor relación sólido-líquido sobre la extracción de cafeína, y se evidenció que al aumentar los niveles de este factor se incrementó la concentración de cafeína; no

obstante, (B) reveló que al incrementar el tiempo no se mostró un aumento significativo en el rendimiento de cafeína.

De acuerdo con Anderson y Whitcomb, (2016), la diferencia entre el R^2 predicho y el ajustado debe ser menor a 0,2 para que el modelo factorial utilizado en una investigación sea adecuado. Con valores de $R^2=0,8987$, R^2 -ajustado=0,8380 y R^2 -predicho=0,6797 en el presente estudio, el modelo desarrollado tuvo un buen ajuste y cumple la condición de tener una diferencia menor a 0,2. A continuación se muestra la figura 4 sobre la interacción de los valores predichos y experimentales de cafeína. A partir de los valores experimentales que se mostraron en la figura 4, se ha generado el siguiente modelo matemático.

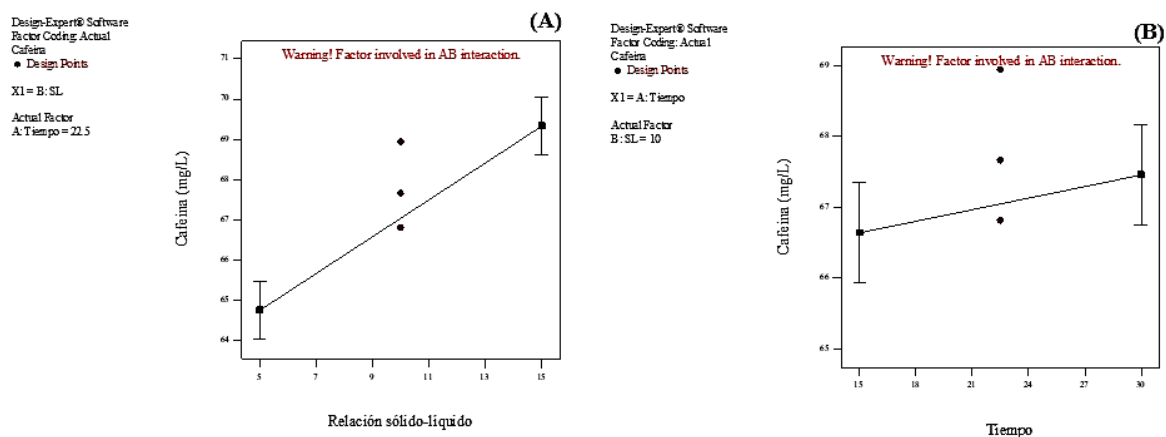


Figura 3. Interacción de los factores relación sólido-líquido y concentración de cafeína (A); interacción de los factores tiempo y concentración de cafeína (B).

Cafeína = $67,73 - 0,2 \text{ Tiempo} + 0,19 \text{ Relación sólido-líquido} + 0,03 \text{ Tiempo/Relación sólido-líquido}$.

La ecuación, en términos de factores experimentales, se puede usar para hacer predicciones sobre la respuesta para los niveles de cada factor.

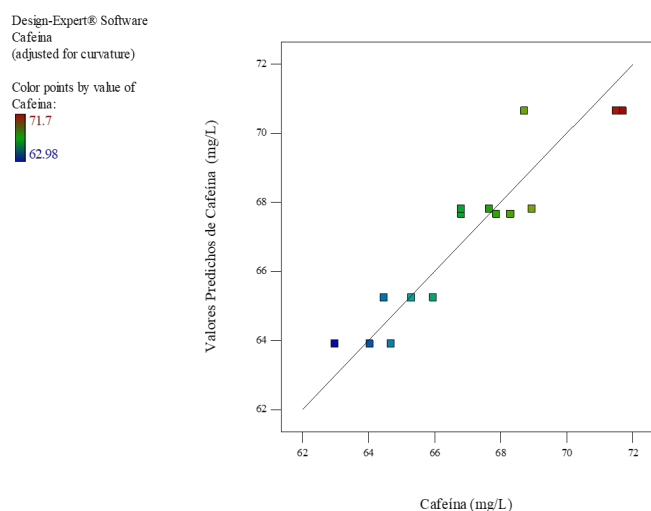


Figura 4. Relación entre los valores experimentales y predichos de la extracción de cafeína de hojas de *I. guayusa*.

En la tabla 3 se pueden apreciar los resultados del modelo factorial seleccionado.

Tabla 3. ANOVA para el modelo factorial seleccionado.

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	Valor F	p-valor Prob > F)	
Modelo	78,84	3	26,28	21,05	< 0,0001	Significativo
A-Tiempo	2,00	1	2,00	160	0,2317	
B-SL	62,84	1	62,84	50,33	< 0,0001	
AB	14,00	1	14,00	11,21	0,0065	
Residual	13,73	11	1,25			
Falta de ajuste	2,14	1	2,14	1,84	0,2046	No significativo
Error puro	11,60	10	1,16			
Total corregido	92,57	14				

La figura 5 representa correspondientemente un gráfico tridimensional (A) y un gráfico bidimensional (B) donde se relacionan los factores de la investigación y la cantidad de cafeína, demostrando una vez más la significancia de la relación sólido-líquido y la falta de influencia del tiempo sobre el rendimiento de extracción.

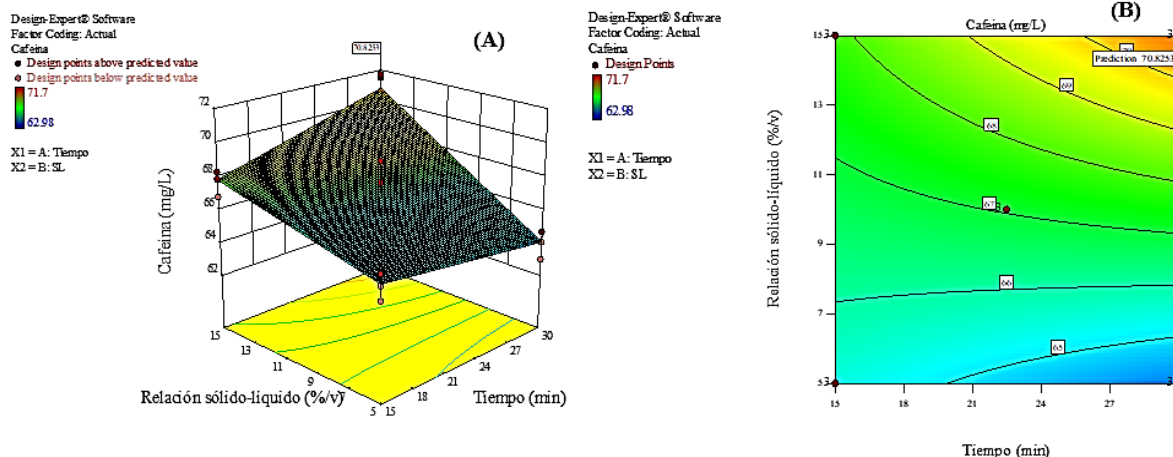


Figura 5. Interacción de los factores tiempo y relación sólido-líquido frente a la concentración de cafeína (A y B).

Factores que afectan la extracción de los polifenoles totales

La concentración de los compuestos polifenólicos totales fluctuó entre 33,0-55,76 mg·L⁻¹ expresado sobre la base del ácido gálico. A continuación, se presenta la tabla 4 con los resultados obtenidos en cada combinación de los factores de estudio.

Tabla 4. Tratamientos realizados para la determinación de polifenoles totales.

Experimento	A	D	PT
	Tiempo (min)	S/L (g·mL ⁻¹)	Concentración (mg·L ⁻¹)
1	15	5/100	33,0
2	15	5/100	33,3
3	15	5/100	34,4
4	15	15/100	40,5
5	15	15/100	41,5
6	15	15/100	39,3
7	22,5	10/100	39,1
8	22,5	10/100	39,6
9	22,5	10/100	39,9
10	30	5/100	28,2
11	30	5/100	31,2
12	30	5/100	30,9
13	30	15/100	50,9
14	30	15/100	55,8
15	30	15/100	52,5

S/L: relación sólido/líquido; PT: polifenoles totales.

En la figura 6 se puede visualizar el diagrama de Pareto, en el cual se mostró que, por lo que se refirió a la extracción de polifenoles totales, el efecto de los factores relación sólido-líquido, tiempo y la interacción entre ambos se encontraron por encima del límite de Bonferroni, lo que demostró que todos los factores fueron altamente significativos para P<0,05.

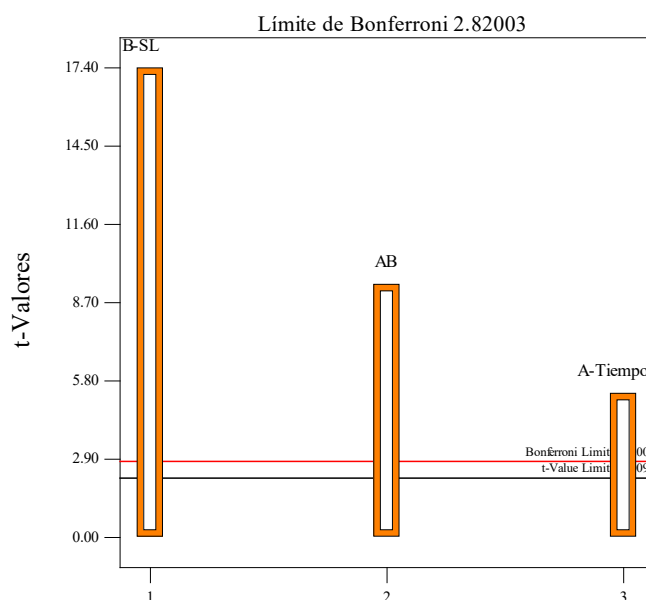


Figura 6. Diagrama de Pareto para el valor t de los efectos para la extracción de los polifenoles totales.

La figura 7 muestra el efecto positivo que tuvieron los factores relación sólido-líquido y tiempo sobre el rendimiento de la concentración de polifenoles totales; se puede observar que la

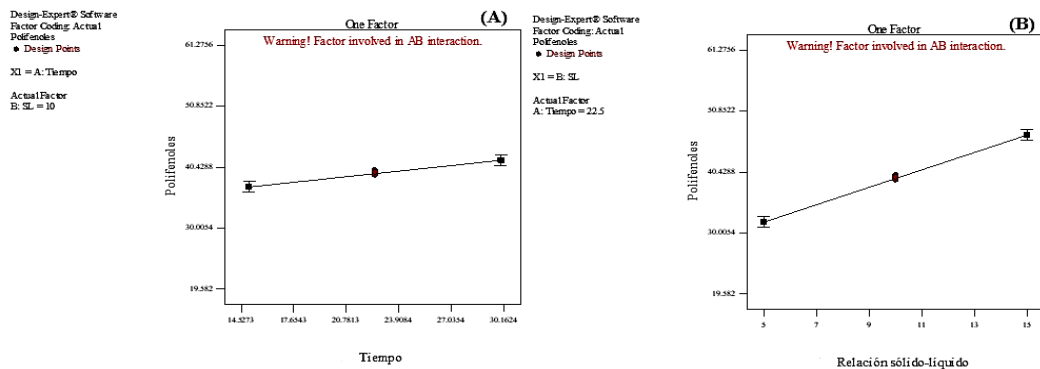


Figura 7. Relación entre los factores concentración de polifenoles tiempo (A); relación entre los factores concentración de polifenoles y relación sólido-líquido (B).

Como en el caso de la cafeína, se consideró nuevamente el modelo de Anderson y Whitcomb (2016), en el que se afirmó que el modelo experimental fue adecuado porque la diferencia entre los valores de R-predicho y R-ajustado fue inferior a 0,2. En este caso, con un valor de $R^2=0,9766$, la extracción de los polifenoles totales mostró un excelente ajuste, además, se cumplió con los criterios de tener una diferencia inferior a 0,2 con R-predicho 0,9503 y R-ajustado 0,9702. En la figura 8 se observa la interacción entre los valores predichos y experimentales de polifenoles totales.

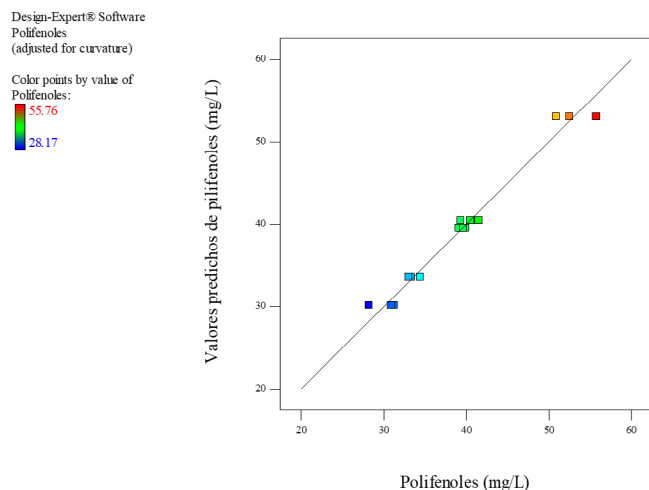


Figura 8. Relación entre los valores experimentales y predichos de la extracción de polifenoles totales de hojas de *I. guayusa*.

A partir de los valores experimentales que se mostraron en la figura 8, se ha generado el siguiente modelo matemático:

$$\text{Polifenoles totales} = 39,34 + 2,29 \text{ Tiempo} + 7,45 \text{ Relación sólido-líquido} + 4,02 \text{ Tiempo/Relación sólido-líquido}$$

La ecuación, en términos de factores experimentales, se puede usar para hacer predicciones sobre la respuesta para los niveles

variable dependiente aumentó cada vez que los niveles de cada factor se incrementaron y esto se puede apreciar en las rectas con pendiente positiva que se mostraron en cada sección de la figura (A) y (B).

de cada factor. En la tabla 5 se puede apreciar el modelo factorial seleccionado.

Tabla 5. ANOVA para el modelo factorial seleccionado.

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	Valor F	p-valor (Prob > F)	
Modelo	921,92	3	307,31	152,71	< 0,0001	Significativo
A-Tiempo	62,75	1	62,75	31,18	0,0002	
B-SL	665,73	1	665,73	330,82	< 0,0001	
AB	193,44	1	193,44	96,13	0,0001	
Residual	22,14	11	2,01			
Falta de ajuste	0,15	1	0,15	0,066	0,8019	No significativo
Error puro	21,99	10	2,20			
Total corregido	944,06	14				

La figura 9 representa correspondientemente un gráfico tridimensional (A) y un gráfico bidimensional (B) donde se relacionó la cantidad de polifenoles totales y los factores de investigación, se demostró una vez más la significancia de estos sobre el rendimiento de extracción de los polifenoles totales.

En resumen, las mejores condiciones para obtener un extracto acuoso rico en cafeína y polifenoles totales fueron las que prevén 15 g de hojas secas de *I. guayusa* en 100 mL de agua desmineralizada llevadas a decocción por 30 min.

Obtención y evaluación del extracto sólido de *I. guayusa* mediante *spray drying*

La obtención del sólido pulverulento por *spray drying* arrojó un rendimiento de 7,99%; este resultado pudiera mejorarse en el futuro en la medida en que se sometían a secado extractos previamente concentrados que pudieran poseer mayores concentraciones de sólidos disueltos.

Parámetros físico-químicos y microbiológicos basados en la NTE INEN 1122:2013

Una vez realizados los extractos a partir de los sólidos pulverulentos fue posible determinar algunos parámetros físico-químicos y microbiológicos basados en la normativa NTE INEN 1122:2013, relacionada al café soluble, el cual representó el producto existente en el mercado nacional e internacional más similar al objeto de la presente investigación.

A continuación, se puede apreciar en la tabla 6 la comparación de los parámetros físico-químicos obtenidos analizando los sólidos pulverulentos del presente trabajo y los intervalos permitidos por el café soluble.

Tabla 6. Comparación entre algunos datos físico-químicos de los extractos de guayusa y del café soluble.

Parámetro	Guayusa	Café	
		Mínima	Máxima
pH	5,5	4,7	5,5
Cenizas totales	13,87%	-	14%
Solubilidad en agua caliente	30 s	-	30 s
Solubilidad en agua fría	3 min	-	3 min

En la tabla 6, se observan los parámetros físico-químicos de las muestras del preparado hidrosoluble de *I. guayusa* obtenida por la técnica de *spray drying*, los cuales se encontraron dentro de los requisitos establecidos por la normativa NTE INEN 1122:2013 del café soluble.

En la tabla 7 se aprecian los valores de metales obtenidos al analizar las muestras del extracto sólido. Los valores relacionados al cobre se hallaron dentro de los parámetros aceptados por la normativa NTE INEN 1122:2013 del café soluble. El plomo presentó valores inferiores al límite de detección bajo las condiciones de análisis por espectrofotometría de absorción atómica; sin embargo, el zinc superó el límite máximo permisible por la normativa anteriormente mencionada.

Posiblemente los altos valores de zinc se debieron a características específicas de los suelos donde se recolectaron las hojas, por lo que se deberían realizar nuevas investigaciones con el objetivo de profundizar este tema. El contenido de hierro en las muestras de extracto seco de *I. guayusa* fue de 19,35 mg.kg⁻¹. Este

metal, no contemplado en la tabla 7, pues no se establecieron límites para el café soluble, al contrario de cobre, plomo y zinc, beneficioso para el buen funcionamiento del organismo humano, y se requieren diferentes cantidades diarias en dependencia de la edad, el sexo y determinadas condiciones fisiológicas (Salinas, 2004).

Tabla 7. Comparación de la presencia de algunos metales entre los extractos de guayusa y el café soluble.

Parámetro	Guayusa (mg·kg ⁻¹)	Café (mg·kg ⁻¹)	
		Mínimo	Máximo
Cobre	12,35	-	20
Plomo	N/D	-	1
Zinc	234,5	-	50

Análisis microbiológicos

Los resultados de los análisis microbiológicos mostraron que los extractos obtenidos, por *spray drying*, no tuvieron presencia de coliformes ni microorganismos mesófilos, ya que no fueron observadas colonias en los cultivos de control.

Es importante destacar que los metabolitos secundarios de *I. guayusa* pueden contribuir a los efectos favorables de las bebidas y comidas que contienen metilxantina de dos maneras: primero, al trabajar en sinergia con la cafeína y la teobromina para producir efectos positivos, y segundo, al reducir los efectos negativos de la cafeína. Aunque hay poca información sobre estudios en humanos, los primeros estudios en ratas indicaron que el uso de cafeína retardaron los efectos del envejecimiento en la función cognitiva (Schuster y Mitchell, 2019).

Teniendo en cuenta los diferentes tratamientos, en la presente investigación se lograron niveles de extracción de cafeína que resultaron en un valor de concentración máxima de 71,70 mg·L⁻¹ (1,43 mg·g⁻¹). Una investigación desarrollada por Wise y Santander (2018) señaló valores de cafeína de 19,08 mg·g⁻¹ en hojas secas de *I. guayusa*; el mismo estudio señaló que las investigaciones realizadas por otros autores mostraron una amplia gama de valores de concentración de cafeína (8,13-75,8 mg·g⁻¹), lo que sugirió que se necesita más investigación para comprender completamente la variabilidad del contenido de cafeína en las hojas de *I. guayusa*. La cantidad de cafeína en las hojas puede variar según la edad de la planta, su ubicación, el clima, el suelo y cómo se cosecha (por un solo corte o por cosechas posteriores) (Montaño et al., 2019).

Según una investigación de Chianese et al. (2019), los triterpenoides pentacíclicos contenidos en *I. guayusa* tuvieron



una amplia variedad de modos de acción, así como una gran cantidad de componentes activos. Según García-Ruiz et al. (2017), las hojas de *I. guayusa* contuvieron alrededor de 14 compuestos fenólicos, así mismo, demostraron que tuvo una fuerte capacidad antioxidante utilizando las técnicas analíticas DPPH y ORAC. Según Gan et al. (2018) los extractos de hojas de *I. guayusa* elaborados con etanol presentaron una alta concentración de flavonoides y fenoles. La técnica DPPH fue utilizada por Villacís-Chiriboga et al. (2018) para cuantificar 14 compuestos fenólicos diferentes y siete carotenoides diferentes, siendo la luteína la más representativa de este último grupo. La cantidad total de polifenoles de la *I. guayusa*, según un estudio de Pardau et al. (2017) varió entre 54,39 y 67,23 mg·g⁻¹. Los autores descubrieron que las sustancias principales contenidas en esta especie fueron derivados del ácido cafeoil-quinico mediante el uso de una técnica espectrofotométrica. La actividad antioxidante de los extractos de *I. guayusa* estuvo directamente correlacionada con la presencia de los compuestos antes mencionados.

Conclusiones

Se obtuvo un preparado hidrosoluble en forma de extracto seco a partir de extractos acuosos de la especie *I. guayusa*, aplicando la técnica *spray drying*. El preparado representó un ingrediente basado en una especie amazónica para nuevas bebidas funcionales. Las mejores condiciones para obtener un extracto acuoso rico en cafeína y polifenoles totales son las que prevén 15 g de hojas secas de *I. guayusa* en 100 mL de agua desmineralizada llevadas a decocción por 30 min.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Anderson, M. J. and Whitcomb, P. J. (2016). *Rsm simplified: Optimizing processes using response surface methods for design of experiments*. Second Edition, 1-295. <https://doi.org/10.1201/9781315382326/RSM-Simplified-mark-anderson-patrick-whitcomb>
- Andrade, S., Vargas-Burgos, J., González, V., Romero, M. y Andrade, V. (2019). Uso de plantas medicinales en comunidades indígenas asentadas en un bosque siempreverdepiemontano del cantón Santa Clara, Amazonía Ecuatoriana. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 8(2), 235-243. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7153092&info=resumen&idioma=ENG>
- Bennett, B. and Alarcón, R. (2015). Hunting and hallucinogens: The use psychoactive and other plants to improve the hunting ability of dogs. *Journal of Ethnopharmacology*, 171, 171-183. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.05.035>
- Cartay, R. y Chaparro-Martínez, E. (2020). Usos turísticos de la biodiversidad en la Región Amazónica Ecuatoriana. *Universidade de Caxias Do Sul*, 12(3), 14. <https://doi.org/10.18226/21789061.v12i3p484>
- Castañeda, S., Hernandez, A., Portela, L., Rangel, A., Vanegas, M., Costa, G. y Alba, A. (2022). Evaluación de la

actividad antimicrobiana y caracterización química de fracciones y compuestos de *Ilex guayusa* Loes. frente a *Helicobacter pylori*. *Revista Productos Naturales*, 5(2), 29-30. <https://doi.org/10.3407/RPN.V5I2.6767>

- Chianese, G., Golin-Pacheco, S. D., Tagliatalata-Scafati, O., Collado, J. A., Muñoz, E., Appendino, G. and Pollastro, F. (2019). Bioactive triterpenoids from the caffeine-rich plants guayusa and maté. *Food Research International*, 115, 504-510. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.10.005>
- Gan, R., Zhang, D., Wang, M. and Corke, H. (2018). Health benefits of bioactive compounds from the genus *Ilex*, a source of traditional caffeinated beverages. *Nutrients*, 10(11), 1-17. <https://doi.org/10.3390/NU10111682>
- García-Ruiz, A., Baenas, N., Benítez-González, A. M., Stinco, C. M., Meléndez-Martínez, A. J., Moreno, D. A. and Ruales, J. (2017). Guayusa (*Ilex guayusa* L.) new tea: phenolic and carotenoid composition and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 3929-3936. <https://doi.org/10.1002/JSFA.8255>
- Intriago, A., Oleas, A., Yáñez, D., Carvajal, D. and Proaño, M. (2022). Optical aptasensor for in situ detection and quantification of methylxanthines in *Ilex guayusa*. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 14(1), 1-20. <https://doi.org/10.18272/ACI.V14I1.2301>
- Lozano, P., Bussmann, R., Peyre, G. y Grefa, F. (2020). Regeneración vegetal en la caldera del volcán Reventador en la cordillera subandina del norte de la Amazonía Ecuatoriana. *Revista Ciencia y Tecnología*, 13(1), 27-37. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i1.345>
- Melo, O. y López, L. (2020). Diseño de experimentos. Métodos y aplicaciones.
- Mena Silva, P. A., Linarez González, Y. C., Camaño Carballo, L. y Medina Vargas, E. F. (2019). La pigmentación de las resinas microhíbridas Z250 al estar en contacto con bebidas energizantes naturales a base de cafeína. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/DILEMAS.V3I1I1.1234>
- Montaño, J., Rosillo, E., Zhinín, H. y Pucha-Cofrep, D. (2019). Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Ilex guayusa* Loes. *Bosques Latitud Cero*, 9(1), 31-45. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/583>
- Muñoz-Bernal, Ó., Torres-Aguirre, G., Núñez-Gastélum, J., Rodrigo-García, J., Ayala-Zavala, F. y Álvarez-Parrilla, E. (2017). Nuevo acercamiento a la interacción del reactivo de Folin-Ciocalteu con azúcares durante la cuantificación de polifenoles totales. *TIP*, 20(2), 23-28. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.003>
- Noriega, P., Larenas, C., Nadal, A., Fonseca, R., Silva, M., Calderón, L. and Mosquera, T. (2022). Valuation study on the extracts of *Ilex guayusa* Loes. as an antioxidant

and anti-aging raw material. *Journal of Medicinal Plants*, 17(1), 28-36. <https://doi.org/10.5897/JMPR2022.7265>

Pardau, M. D., P Pereira, A. S., Apostolides, Z., Serem, J. C. and Bester, M. J. (2017). Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Ilex guayusa* tea preparations: a comparison to *Camellia sinensis* teas. *Food & Function*, 4601-4610.

Pereira, K., Mota-Ferreira, D., Alvarenga, G., Salvador-Pereira, M., Souto-Barcelos, M. and Gomes da Costa, J. (2018). Microencapsulation and release controlled by the diffusion of food ingredients produced by spray drying: A review. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21(20), 1-9. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08317>

Radice, M., Bravo, L., Perez, M., Cerda, J., Tapuy, A., Riofrío, A., Neill, D. y Chiurato, M. (2017). Determinación de polifenoles en cinco especies amazónicas con potencial antioxidante. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 6(1), 55-64. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6145606&info=resumen&idioma=SPA>

Radice, M., Murillo, M., Fuentes, N. y Cosio, N. (2015). Biocomercio y biodiversidad en el Ecuador. Oportunidades. *ECOCIENCIA*, 3(6), 1-27.

Salinas, P. G. Á. (2004). El hierro en la alimentación. *Farmacia Profesional*, 18(2), 54-56.

Sanabria, L. M., Martínez, J. A. y Baena, Y. (2017). Validación de una metodología analítica por HPLC-DAD para la cuantificación de caféina en un ensayo de permeación in vitro empleando mucosa oral porcina. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 46(2), 202-219. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v46n2.67956>

Schuster, J. and Mitchell, E. S. (2019). More than just caffeine: psychopharmacology of methylxanthine interactions with plant-derived phytochemicals. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 89, 263-274. <https://doi.org/10.1016/J.PNPBP.2018.09.005>

Torres, B., Radice, M., Ochoa-Moreno, S. y Cueva, K. (2017). *Economía de recursos naturales y biocomercio-oportunidades y desafíos*.

Villacís-Chiriboga, J., García-Ruiz, A., Baenas, N., Moreno, D. A., Meléndez-Martínez, A. J., Stinco, C. M., Jerves-Andrade, L., León-Tamariz, F., Ortiz-Ulloa, J. and Ruales, J. (2018). Changes in phytochemical composition, bioactivity and in vitro digestibility of guayusa leaves (*Ilex guayusa* Loes.) in different ripening stages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(5), 1927-1934. <https://doi.org/10.1002/JSFA.8675>

Villacís Chiriboga, J. (2017). Etnobotánica y Sistemas Tradicionales de Salud en Ecuador. Enfoque en la Guayusa (*Ilex guayusa* Loes). *Etnobiología*, 15(3), 79-88. <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/129>

Wise, G. and E. Santander, D. (2018). Comparative composition analysis of the dried leaves of *Ilex guayusa* (Loes.). *Journal of Food and Nutrition Research*, 6(10), 638-644. <https://doi.org/10.12691/jfnr-6-10-4>

Wise, G. and Negrin, A. (2020). A critical review of the composition and history of safe use of guayusa: a stimulant and antioxidant novel food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(14), 2393-2404. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1643286>

Contribución de los autores

Autor	Contribución
Sting Brayán Luna-Fox	Revisión bibliográfica, parte experimental de la investigación, análisis e interpretación de los datos, preparación y redacción y edición del manuscrito.
Reinaldo Rigoberto Álvarez Castro	Revisión bibliográfica, parte experimental de la investigación, análisis e interpretación de los datos.
Nelly Jazmín Peñafiel-Bonilla	Revisión bibliográfica, participación en la redacción del manuscrito.
Matteo Radice	Revisión bibliográfica, diseño de la investigación, análisis de datos y corrección de estilo.
Laura Scalvenzi	Análisis microbiológicos, experimentación y redacción de dicha sección.
Yasiel Artega-Crespo	Análisis estadísticos y edición del manuscrito.
Orestes Darío López Hernández	Obtención del producto mediante <i>spray drying</i> .
Luis Ramón Bravo-Sánchez	Diseño de la investigación, colaboración en análisis químicos, análisis e interpretación de los datos, preparación y redacción y edición del manuscrito.





Nota técnica:

Identificación de garrapatas (Acari: Ixodidae) en sistemas de producción bovina doble propósito del Cantón Chone, Provincia de Manabí, Ecuador

Technical note:

Ticks (Acari: Ixodidae) identification in dual purpose cattle production systems from Chone Canton, Manabí Province, Ecuador

Autores

- ✉ ¹María Lugo-Almarza
- ✉ ²Jhoana Zambrano-Aveiga
- ✉ ³Carolina Fonseca-Restrepo
- ✉ ^{4*}Francisco Angulo-Cubillán

¹Clínica Veterinaria del Pacífico, Santo Domingo, Ecuador.

²Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión Chone, Ecuador.

³Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

⁴Grupo de Investigación en Ciencias Veterinarias, Carrera Medicina Veterinaria, Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE), Sede Santo Domingo, Ecuador. Departamento de Sanidad Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia, Venezuela.

*Autor de correspondencia.

Citacion sugerida: Lugo-Almarza, M., Zambrano-Aveiga, J., Fonseca-Restrepo, C. y Angulo-Cubillán, F. (2023). Identificación de garrapatas (Acari:Ixodidae) en sistemas de producción bovina doble propósito del Cantón Chone, Provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica*, 13(1), 57-60. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5200>

Recibido: Septiembre 21, 2022

Aceptado: Enero 31, 2023

Publicado: Marzo 14, 2023

Resumen

Los ectoparásitos, dentro de los que se encuentran los ixodídeos, causan daños directos a la salud del animal por acciones traumáticas y hematófagas, e indirectos por la transmisión de agentes patógenos. El control depende de la biología y de la importancia epidemiológica de cada especie en particular; por lo tanto, para ser eficiente en el mismo, es necesaria su identificación. Con el objetivo de identificar las especies presentes de ixodídeos en sistemas de producción bovina doble propósito del Cantón Chone de la Provincia de Manabí, Ecuador, se desarrolló una investigación en 16 unidades de producción, donde se capturaron 1.440 especímenes de un total de 288 animales, cuyas especies fueron identificadas a través de claves morfológicas. Los especímenes identificados, pertenecen a dos especies, *Rhipicephalus Boophilus microplus* y *Amblyomma cajennense*, 88,75% la primera y 11,25% la segunda, respectivamente. La especie *R. B. microplus* mostró una alta prevalencia, mientras que *A. cajennense* baja, en el Cantón Chone de la Provincia de Manabí.

Palabras clave: garrapatas; identificación; vacunos; Manabí; Ecuador.

Abstract

Ectoparasites, among which are ixodids, cause direct damage to animal's health due to traumatic and hematophagous actions, and indirect for transmission of pathogenic agents. The control depends on biology and epidemiological importance of each particular species, therefore, to be efficient its identification is necessary. To identifying the species of ixodids in dual purpose cattle production systems the Chone Canton of Province of Manabi, Ecuador, an investigation was carried out in 16 production units, where 1,440 specimens of a total of 288 animals were captured, whose species were identified through of morphological keys. Identified specimens belong to two species, *Rhipicephalus Boophilus microplus* and *Amblyomma cajennense*, 88.75% and 11.25%, respectively. *Rhipicephalus B. microplus* showed high prevalence, while *A. cajennense* was low, in the Chone Canton of Manabi Province.

Keywords: ticks; identification; cattle; Manabi; Ecuador.

Introducción

Las garrapatas pertenecientes a la familia Ixodidae, presentan gran importancia en la Medicina Veterinaria, ya que además de causar daños directos por sus acciones patógenas traumática y comportamiento alimenticio hematófago (Bustillos et al., 2015), transmiten un gran número de patógenos en sistemas de producción bovina en zonas tropicales y subtropicales (Ernieenor et al., 2017; Estrada-Peña et al., 2021). Dicha transmisión se realiza no solo a través de la saliva al momento de su alimentación, sino también por vía transovárica, infectando la siguiente generación de artrópodos (Yadav y Kant, 2021), y debido a la alta prolificidad de estas especies, se incrementa exponencialmente la transmisión, siendo la vía de mayor importancia epidemiológica en las enfermedades transmitidas por estos ectoparásitos.

Las garrapatas infestan la piel de sus hospedadores durante días o semanas, dependiendo de su ciclo biológico, alimentándose de sangre de manera continua, excretando sustancias tóxicas y anticoagulantes en su saliva que neutralizan la respuesta inmunitaria inflamatoria del animal parasitado (Yadav y Kant, 2021). La hematofagia es indispensable para la sobrevivencia, los procesos ovogónicos, de oviposición y de desarrollo de sus diferentes estadios evolutivos; mostrando un impacto sobre la salud y producción animal, con anemia y pérdida de peso en los animales infestados (Pascoeti et al., 2016; Castañeda et al., 2021; Yadav y Kant, 2021).

En los sistemas de producción bovina, se aplican medidas de control dependiendo de la ocurrencia de garrapatas, incidencia y severidad de síntomas clínicos e impacto económico de los mismos (Kalume et al., 2013), aunque en muchas ocasiones, dicho control se realiza de manera no adecuada, sin tomar en cuenta que en los sistemas también pueden existir otras especies hospedadoras, además de la especie del ectoparásito y su ciclo de vida (Salomon et al., 2020), lo cual es una causa de la aparición de resistencia del ixodideo al mecanismo de acción del ectoparasitocida empleado (Rodríguez-Vivas et al., 2014).

Las garrapatas pertenecientes a la familia Ixodidae, se caracterizan por presentar un escudo en la porción dorsal del idiosoma o cuerpo de la garrapata, y el gnathosoma o partes bucales de la misma, puede ser observado desde la vista dorso ventral (Bustillos et al., 2015). La identificación de géneros y especies se realiza a través de claves morfológicas, información que permite clasificar el tipo de ciclo de vida que presenta, de uno o más hospedadores, información necesaria para la selección de medidas y planificación del control (Wall y Shearer, 2001).

El Cantón Chone de la Provincia de Manabí, en la Región de la Costa de Ecuador, muestra una gran actividad ganadera, con 2.336 unidades productivas, divididas en sistemas de producción de leche, carne y doble propósito, siendo el eje económico de la

Provincia, junto a la pesca y el turismo (INEC, 2021). En Ecuador, existe escasa información sobre las especies de garrapatas, su distribución, ecología y dinámica poblacional (Bustillos et al., 2015), información indispensable para entender la epidemiología y el desarrollo de medidas eficientes de control (Ernieenor et al., 2017).

Por lo anterior, se realizó una investigación en el Cantón Chone de la Provincia de Manabí, con la finalidad de identificar las especies de ixodideos presentes en sistemas de producción bovina.

Metodología

Ubicación del estudio

La investigación fue llevada a cabo en el Cantón Chone de la Provincia de Manabí, ubicada en la región de la costa de Ecuador. La altitud oscila entre 0 y 296 msnm, con una temperatura media anual de 27 °C, una precipitación de 1.240 mm³ y un clima húmedo tropical (INAMHI, 2021).

Diseño experimental

Se seleccionaron al azar 16 sistemas de producción de ganado vacuno, distribuidos en las diferentes parroquias que conforman el Cantón Chone. Se caracterizaron por ser sistemas tradicionales doble propósito, donde la base de la alimentación fue el pastoreo en praderas de pastos introducidos, como *Eriochloa polystachya*, *Megathyrsus maximus* y *Brachiaria* spp.

Muestreo

Se revisaron un total de 288 animales adultos mestizos de una población de 1.220 animales, de donde se recolectaron 1.440 especímenes, mediante una retracción suave, evitando el desprendimiento del gnatosoma (Ernieenor et al., 2017). Las garrapatas fueron colocadas en envases de boca ancha, con un algodón humedecido con agua para mantener la humedad, hasta su identificación (Kalume et al., 2013; Bustillos et al., 2015).

Identificación y análisis de datos

Los especímenes recolectados, fueron limpiados con solución fisiológica, secados y observados a través de un estereomicroscopio (Model Stemi DV4 Zeiss, Germany), e identificados utilizando claves morfológicas descritas por Keirans y Litwak (1989). Los datos fueron analizados con tablas y estadísticos simples.

Resultados y discusión

Al estudiar las especies de ixodideos en sistemas ganaderos doble propósito del Cantón Chone de la Provincia de Manabí, la cantidad de especímenes recolectados e identificados fue de 1.440. En la tabla 1 se observa el total de garrapatas estudiadas, 1.278 especímenes pertenecientes a la especie *Rhipicephalus Boophylus microplus*, correspondiente al 88,75% de la recolecta,

y 162 especímenes correspondieron a la especie *Amblyomma cajennense*, con 11,25% del total.

Tabla 1. Especies de ixodideos recolectados en sistemas de producción ganadera del Cantón Chone, Provincia de Manabí, Ecuador.

Especies identificadas	Número	(%)
<i>Rhipicephalus Boophilus microplus</i>	1.278	88,75
<i>Amblyomma cajennense</i>	162	11,25
Total	1.440	100,0

Las características morfológicas observadas en los especímenes, fueron las siguientes: Phylum Artropoda: extremidades articuladas, exoesqueleto quitinoso y cuerpo dividido; Clase Acari: cuerpo dividido en dos secciones (Gnatosoma e idiosoma) y octópodos las ninfas y adultos; Orden Metastigmata: estigmas respiratorios caudal a la coxa del último par de extremidades; Familia Ixodidae: escudo dorsal y la observación del gnatosoma desde la vista dorsoventral; *R. B. microplus*: presentó ojos, palpos ligeramente más largos que anchos, con el segundo segmento con mayor longitud que el proximal y distal, con crestas dorsales y laterales, base del gnatosoma hexagonal, sin patrones de color en el escudo, festones ausentes y placas estigmatales redondeadas y surco anal rudimentario o ausente; *A. cajennense*: presentó ojos, los palpos mucho más largos que anchos, siendo el segundo dos veces de mayor longitud que el tercero y el escudo presentó patrones ornamentados (Wall y Shearer, 2001).

Al identificar las garrapatas de la familia Ixodidae, capturadas en sistemas de producción doble propósito, en el Cantón Chone de la Provincia de Manabí, se evidenció que la especie *R. B. microplus*, fue el ixodideo que presentó una prevalencia alta; mientras *A. cajennense*, baja. Otros estudios, mostraron resultados similares, donde *R. B. microplus* fue la especie de mayor prevalencia, siendo en algunos casos la única especie encontrada (Cortés et al., 2010; Bustillos et al., 2015; Nyabongo et al., 2021). De manera similar, *A. cajennense* ha sido reportada con baja prevalencia, tanto en ganado, como en fauna silvestre (García et al., 2013).

El área donde se realizó el estudio presentó un clima húmedo tropical, lo cual fue un ambiente favorable para el ciclo de vida de los ixodideos (Nyabongo et al., 2021). Otros factores como los métodos utilizados en el control de garrapatas, o movimientos de ganado, influyeron en la abundancia e intensidad media de la infestación (Kalume et al., 2013). Adicionalmente, los sistemas de producción doble propósito de la zona en estudio, están dirigidos hacia la producción de leche y en menor medida a la de carne, utilizando mestizajes tendientes a razas lecheras europeas (*Bos taurus taurus*), las cuales han sido más sensibles a las infestaciones por garrapatas, al ser comparadas con los mestizajes tendientes a *Bos taurus indicus* (Tabor et al., 2017; Castañeda et al., 2021).

La diferencia entre las prevalencias de *R. B. microplus* y *A. cajennense*, estuvo generada principalmente por sus diferentes ciclos biológicos, presentando *R. B. microplus*, un solo hospedador, cumpliendo su vida parásita sobre el animal desde la fase de larva al adulto, sin necesidad de bajar al suelo; mientras que *A. cajennense* necesitó tres hospedadores para completar su ciclo biológico, cumpliendo la muda entre estadios evolutivos, larva a ninfa y de ésta última al adulto, en el suelo (Wall y Shearer, 2001). Este hecho sugirió que *R. B. microplus* tuvo mayor probabilidad de cumplir su ciclo, generando un mayor número de generaciones en un tiempo determinado, al ser comparada con especies que necesitan dos o más hospedadores, cuyo efecto aditivo causó una mayor abundancia (Margolis et al., 1982), en animales infestados por *R. B. microplus*.

Conclusión

En sistemas de producción de doble propósito, en el Cantón Chone de la Provincia de Manabí, se presentan las especies de ixodideos: *R. B. microplus* y *A. cajennense*, mostrando una alta prevalencia la primera y baja la segunda, respectivamente.

Agradecimientos

A la Universidad UTE, Sede Santo Domingo, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión Chone, y a la Universidad Técnica de Manabí, Extensión Chone, por el cofinanciamiento de esta investigación.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Bustillos, R., Carrillo, J., Jacho, G., Enríquez, S. y Rodríguez, R. (2015). Comportamiento poblacional de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos en dos áreas geográficas del Ecuador. *Revista Tecnológica ESPOL - RTE*, 28(4), 68-77.
- Castañeda Arriola, R. O., Álvarez Martínez, J. A., Martínez, C. R., Lira Amaya, J. J., Ríos Utrera, Á. y Martínez Ibáñez, F. (2021). Nivel de infestación de *Rhipicephalus microplus* y su asociación con factores climatológicos y la ganancia de peso en bovinos *Bos taurus* x *Bos indicus*. *Rev. Mex. Cienc. Pec.*, 12(1), 273-285.
- Cortés, V. J. A., Betancourt, E. J. A., Argüelles, C. J. y Pulido, H. L. A. (2010). Distribución de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos y fincas del altiplano cundiboyacense (Colombia). *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.*, 11(1), 73-84.
- Ernieenor, F. C. L., Ernna, G. y Mariana, A. (2017). Phenotypic and genotypic identification of hard ticks of the genus *Haemaphysalis* (Acari: Ixodidae) in Peninsular Malaysia. *Appl. Acarol.*, 71, 387-400.
- Estrada-Pena, A., Binder, L. C., Nava, S., Szabo, M. P. J. y Labruna, M. B. (2021). Exploring the ecological and evolutionary relationships between *Rickettsia* and hard

ticks in the Neotropical region. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 12, 101754.

Garcia, M. V., Campelo, D., Ferreira, R., Casquero, R., Matias, J., Barros, C., Andreotti, R. y Szabó, M. P. J. (2013). Environmentally associated ticks (Acari:Ixodidae) in Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.*, 22(1), 124-128.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2021). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2020*. Unidad de estadística agropecuaria. Boletín Técnico. <https://ecuadorencifras.gob.ec/estadística-agropecuaria-2/>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Ecuador. (2001). *Anuarios Meteorológicos. N° 51-2011*. Cod Estación M0005, Portoviejo-Manabí. <http://www.inamhi.gob.ec/>.

Kalume, M. K., Saegerman, C., Mbahikyavolo, D. K., Makumyaviri, A. M., Marcotty, T., Madder, M., Caron, Y., Lempereur, L. and Losson, B. (2013). Identification of hard ticks (Acari:Ixodidae) and seroprevalence to *Theileria parva* in cattle raised in North Kivu Province, Democratic Republic of Congo. *Parasitol. Res.*, 112, 789-797.

Keirans, J. E. and Litwak, T. R. (1989). Pictorial key to the adults of hard ticks, family Ixodidae (Ixodida:Ixodoidea), east of the Mississippi River. *J. Med. Entomol.*, 26(5), 435-448.

Margolis, L., Esch, G. W., Holmes, J. C., Kuris, A. M. and Schad, G. A. (1982). The use of ecological terms in parasitology. *J. Parasitol.*, 68(1), 131-133.

Nyabongo, L., Odongo, D. O., Milton, G., Machuka, E., Vudriko, P., Pelle, R. and Kanduma, E. G. (2021). Molecular survey of cattle ticks in Burundi: First report on the presence of the invasive *Rhipicephalus microplus* tick. *PLOS ONE*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261218>.

Pascoeti, R., Soldá, N. M., Sczesny, T. R., Machado, G., Reginato, C. Z., Camillo, G., Vogel, F. F., Simioni, F. J., Lopes, L. S., Fávero, J. F. and Da Silva, A. S. (2016). Parasites in dairy cattle farms in southern Brazil. *Rev. MVZ Córdoba*, 21(2), 5304-5315.

Rodríguez-Vivas, R. I., Pérez-Cogollo, L. C., Rosado-Aguilar, J. A., Ojeda-Chi, M. M., Trinidad-Martinez, I., Miller, R. J., Yongsheng, A., Pérez, A., Guerrero, F. and Klafke, G. (2014). *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* resistant to acaricides and ivermectin in cattle farms of Mexico. *Braz. J. Vet. Parasitol.*, 23(2), 113-122.

Salomon, J., Hamer, S. A. and Swei, A. (2020). A beginner's guide to collecting questing hard ticks (Acari:Ixodidae): A standardized tick dragging protocol. *Journal of Insect Science*, 20(6), 11; 1-8.

Tabor, A. E, Ali, A., Rehman, G., Rocha, G. G., Zangirolamo, A. F., Malardo, T. and Jonsson, N. N. (2017). Cattle tick *Rhipicephalus microplus*-host interface: A review of resistant and susceptible host responses. *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, 7, 506.

Wall, R. and Shearer, D. (2001). *Veterinary ectoparasites: Biology, pathology and control*. Second edition. Malden MA, USA. Blackwell Science.

Yadav, N. and Upadhyay, R. K. (2021). Tick-borne diseases, transmission, host immune responses, diagnosis and control. *J. Hum. Physiol.*, 03(02), 8-39.

Contribución de los autores

Autores	Contribución
María Lugo-Almarza	Participó en el muestreo de campo e identificación de especímenes en el laboratorio, y en la preparación y edición del manuscrito.
Johana Zambrano-Aveiga	Participó en el muestreo de campo, revisión del manuscrito y corrección del estilo.
Carolina Fonseca-Restrepo	Participó en el muestreo de campo e identificación de especímenes en el laboratorio; revisión del manuscrito y corrección del estilo.
Francisco Angulo-Cubillán	Diseño de la investigación; revisión bibliográfica, muestreo de campo e identificación de especímenes en el laboratorio, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.

