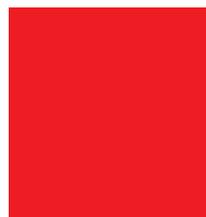


Vol. 14, Núm. 2 (2022)

# aci

**avances**  
en ciencias e  
ingenierías



# aci

**avances**  
en ciencias e  
ingenierías

## **ACI Avances en Ciencias e Ingenierías**

ISSN(e): 2528-7788  
ISSN (impreso): 1390-5384  
<http://avances.usfq.edu.ec/>  
Quito, Ecuador

12/12/2022

DOI: <https://doi.org/10.18272/aciv.1412>

**ACI Avances en Ciencias e Ingenierías** es una revista científica con revisión por pares (*peer-reviewed*), de acceso abierto (*open access*), e indexada que publica trabajos en ciencias exactas, físicas, biológicas, ambientales, ingenierías, e investigaciones en el interfaz de estas disciplinas desarrollados por científicos de cualquier institución o país.

**ACI Avances en Ciencias e Ingenierías** es publicada por USFQ PRESS, casa editorial de la Universidad San Francisco de Quito USFQ y es parte de las siguientes bases, catálogos e índices: MIAAR, Latindex y Latindex 2.0, Archive.org, ROAD, DOAJ, REDIB, Google Scholar, Crossref, SIS.

**Editora General:** Eva O.L. Lantsoght, Politécnico, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Ecuador y Delft University of Technology, Delft, Países Bajos

### **Editores asociados**

Daniela Almeida Streitwieser<sup>1,3</sup>  
Elisa Bonaccorso<sup>2</sup>  
Diego F. Cisneros-Heredia<sup>2</sup>  
Oihane Fernández Blanco<sup>4</sup>  
Melissa Infusino<sup>1</sup>  
René Parra Narváez<sup>1</sup>  
Diana Alexandra Pazmiño<sup>2</sup>  
Esteban Suárez<sup>1</sup>  
Lionel Trojman<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Politécnico, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Ecuador

<sup>2</sup> COCIBA, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Ecuador

<sup>3</sup> Reutlingen University, Alemania

<sup>4</sup> Investigadora independiente

<sup>5</sup> Institut supérieur d'électronique de Paris, Francia

### **Consejo editorial**

Andrea Arias, DuPont Pioneer, Johnston, IA, Estados Unidos  
Carlos Ventura, The University of British Columbia, Vancouver, BC, Canadá  
César Costa, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, Ecuador  
César Iván Álvarez-Mendoza, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador  
Janio Jardán, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, Ecuador  
Johannio Marulanda Casas, Universidad del Valle, Cali, Colombia  
John Blake, University of Florida, Gainesville, FL, Estados Unidos  
Luis Rincón, Universidad de Los Andes, Mérida, República Bolivariana de Venezuela  
Nikolay Aguirre, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador  
Nora Oleas, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, Ecuador  
Oswaldo Morales Nápoles, Delft University of Technology, Países Bajos  
Robert Cazar, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador  
Ruth Mariela Alvarez, Universidad de Carabobo, República Bolivariana de Venezuela  
Salvador Godoy, Instituto Politécnico Nacional, México, México D.F.  
Santiago Ron, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador  
Yenisel Plasencia-Calaña, Maastricht University, Países Bajos

### **International Scientific Committee**

Paula Rojas, Universidad Adolfo Ibáñez, Santiago, Chile  
Gabriela Guevara, Universidad Técnica de Berlín, Germany  
Patricia Conde Cespedes, ISEP - École d'ingénieurs du numérique, France  
Tiziano Perea, Universidad Autónoma Metropolitana, México  
Howard Ramirez-Malule, Universidad del Valle, Colombia  
Patrick Venail, Universidad de Ingeniería & Tecnología, Perú  
Victor Murray, Universidad de Ingeniería & Tecnología, Perú  
Julio Valdivia-Silva, Universidad de Ingeniería & Tecnología, Perú  
Luca Sorriso-Valvo, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome, Italy

**Producción editorial:** USFQ PRESS

**Corrección de estilo y ortotipográfica:** Gabriel Ortiz Armas, Pablo Mendieta y Reema Azar

**Diseño general:** Krushenka Bayas Ramírez

**Diseño de cubierta:** Krushenka Bayas Ramírez

**Fotografía de cubierta:** Patricio Picón

**Webmaster y manejo de OJS:** Jaime Páez, Gabriel Ortiz Armas

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

El uso de nombres descriptivos generales, nombres comerciales, marcas registradas, etcétera, en esta publicación no implica, incluso en ausencia de una declaración específica, que estos nombres están exentos de las leyes y reglamentos de protección pertinentes y, por tanto, libres para su uso general.

La información presentada en esta revista es de entera responsabilidad de sus autores. USFQ PRESS presume que la información es verdadera y exacta a la fecha de publicación. Ni la editorial, ni los editores, ni los autores dan una garantía, expresa o implícita, con respecto a los materiales contenidos en esta obra ni de los errores u omisiones que se hayan podido realizar.

### **USFQ PRESS / ACI Avances en Ciencias e Ingenierías**

Att. Eva Lantsoght, editora

Universidad San Francisco de Quito USFQ

Calle Diego de Robles y Pampite. Campus Cumbayá

Quito 170901, Ecuador.

Correo electrónico: [avances@usfq.edu.ec](mailto:avances@usfq.edu.ec) - [usfqpress@usfq.edu.ec](mailto:usfqpress@usfq.edu.ec)

# Contenido

## Editorial

### **ACI Avances en Ciencias e Ingenierías in 2022**

Eva O.L. Lantsoght

## Sección B: Ciencias Biológicas y Ambientales

### **Consecuencias de la Pandemia por COVID-19 en una población de murciélagos, dentro de una comunidad indígena de los Andes ecuatorianos**

Consequences of the COVID-19 Pandemic in a population of bats, within an indigenous community of the Ecuadorian Andes

Hernán Orellana-Vásquez, Luna Barragán-Tabares

### **Estimación del tamaño poblacional y del uso del hábitat de *Pristimantis unistrigatus* (Gunther, 1859) (Anura: Strabomantidae) en un área verde urbana de Quito - Ecuador**

Population size estimation and habitat use of *Pristimantis unistrigatus* (Gunther, 1859) (Anura: Strabomantidae) in an urban green area from Quito - Ecuador

Hernán Orellana-Vásquez, Alex Achig-Vega, Katherine Nicolalde-Tapia, Mariana Duque, Luna Barragán-Tabares

### **Primer registro de *Stenophysa marmorata* (Guilding, 1828), Gastropoda, Physidae en ríos de la provincia de Loja, Ecuador**

First record of *Stenophysa marmorata* (Guilding, 1828), Gastropoda, Physidae in rivers of Loja province, Ecuador

Gabriela Palacio-Villamagua, Verónica Iñiguez-Gallardo, Modesto Correoso-Rodríguez

### **Caracterización del microbioma de plantas de banano (*Musa × paradisiaca* L.) bajo sistemas de producción orgánico y convencional**

Characterization of the banana (*Musa × paradisiaca* L.) microbiome under organic and conventional production systems

Claudia G. Zapata-Ramón, Alejandra Paladines-Montero, Darío X. Ramírez-Villacis, Antonio Leon-Reyes

### **Nuevas observaciones y ampliación en la distribución de *Stenocercus aculeatus* (Iguanidae: Tropidurinae) en el sur de Ecuador**

New observations and expansion in the distribution of *Stenocercus aculeatus* (Iguanidae: Tropidurinae) in southern Ecuador

José M. Falcón-Reibán, Darwin Núñez, Johe A. Sozoranga-Farez, Juan C. Sánchez-Nivicela

## Sección C: Ingenierías

### **Biomass Assessment of Peach Trees in the Ecuadorian Andes**

Evaluación de biomasa de árboles de durazno cultivados en Los Andes ecuatorianos

B. Velázquez-Martí, J. Vega, A. Gutiérrez, C. Cazco-Logroño, H.R. Chandi

## **Análisis de la contaminación por metales pesados en la ciudad de Cuenca mediante el uso de bioindicadores**

Analysis of heavy metal contamination in the city of Cuenca through the use of bioindicators  
Johnny Beltrán, Juan M. Aguilar

## **Predicción de la quiebra empresarial en el sector agroindustrial de la ciudad de Machala**

Prediction of Corporate Bankruptcy in the Agro-industrial Sector of Machala City  
Johanna Rivadeneira, Ramiro Saltos, María Rivera, Raúl Carpio

## ***ACI Avances en Ciencias e Ingenierías in 2022***

This past year, we have achieved various milestones with the journal *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*. In this editorial, I would like to list these achievements to celebrate the advances obtained in 2022.

As you may have noticed as a reader, we have redesigned the website of *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*. We have provided various additional resources for our readers and prospective authors on this new website, including a document template for articles and various tutorials. We have improved the clarity of our guidelines for prospective authors and rearranged information so that it is more accessible to the readers.

Within the online platform of the journal, we are now up to date with the latest version of OJS, the Open Journal Systems. As such, we have been able to solve a number of technical problems that the journal experienced in the past. In addition, we have enhanced the experience for our reviewers by improving the Spanish version and creating an English version of our review form.

Various of our editors have taken on new leadership roles within Universidad San Francisco de Quito USFQ and are no longer available to serve on the editorial board of *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*. I would like to extend my gratitude to them for their service over these years on the editorial board and wish them all the best in the next steps in their careers. I would also like to thank those who have volunteered to fill these vacancies and look forward to their input and contributions to the journal.

*ACI Avances en Ciencias e Ingenierías* also successfully collaborated with Red Latinoamericana del Maíz. We received selected manuscripts from participants to this event, collaborated with the scientific committee for the peer review of these papers, and published the papers under our policies for copyediting and layout.

Ultimately, we also ran the first edition of the #StudentAwards of *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*. Current and former students from Universidad San Francisco de Quito USFQ were invited to contribute a research paper to these awards. After peer review, the accepted papers were evaluated and ranked by the editors of the journal, and a winner in the categories of undergraduate and graduate students was selected. We rounded off this first edition with an event on the USFQ campus to celebrate the two winning students as well as to celebrate the research contributions of our student community.

2023 promises to be another exciting year for the journal. We are hosting the second edition of the #StudentAwards and are sourcing papers related to the impact of climate change in Ecuador and sustainable solutions for the future of our country. Behind the scenes, we are working on obtaining further indexations for the journal, and we continue to work on improving the experiences for all our users.

To round off, I would like to thank all those who form part of the community of *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*. Many thanks to our readers, as you are the reason for our existence as a journal. Many thanks to our authors, for contributing your knowledge



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Recibido /  
Received:  
29/11/2022

Publicado en línea /  
Published online:  
12/12/2022



and insights to this journal. Many thanks to all reviewers, for your time, effort, and technical expertise that have improved the articles and, thus, the journal. Many thanks to the editors, for your tireless work in managing the abstracts. Many thanks to USFQ Press, the publishing house behind this journal, for your continuous technical and administrative support to the journal. And, last but not least, many thanks to the authorities of USFQ, for financially and morally supporting the work of this journal so that we can publish open access articles without charging the authors, as well as for supporting the events of the journal.

## Consecuencias de la Pandemia por COVID-19 en una población de murciélagos, dentro de una comunidad indígena de los Andes ecuatorianos

Hernán Orellana-Vásquez<sup>1\*</sup>, Luna Barragán-Tabares<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Organización Relictum Conservation, calle Caoba 274-52 y Arabiscos, La Pradera, Loja, Ecuador

<sup>2</sup>Proyecto Eco-etnoturismo Urku Wasi, Comunidad Tocagón, Kilómetro 8 1/2 vía Quito – San Rafael de la Laguna, Imbabura, Ecuador.

\*Autor para Correspondencia / Corresponding Author, e-mail: [hernanorellanavasquez@gmail.com](mailto:hernanorellanavasquez@gmail.com)

## Consequences of the COVID-19 Pandemic in a population of bats, within an indigenous community of the Ecuadorian Andes

### Abstract

The COVID-19 pandemic has had enormous consequences, mainly on human health and the economy, but it is also important to highlight its impact on nature conservation. One of the animal groups most affected by the current reality are bats, since press reports have incorrectly associated them with the transmission of this virus. We visited a cave located in a seasonal ravine next to the Tocagón Alto community, San Rafael de la Laguna, Imbabura, Ecuador during August 2020, and determined the loss of a population of *Anoura peruana*. We identified bonfires inside this speleological body due to the rejection against bats associated to the COVID-19 pandemic. As per May 2022, this cave is still uninhabited by the bats under study and there are no signs of its recolonization by possible survivors.

**Keywords:** Bonfire, Peruvian tailless bat, artificial cave, burning, Andes

### Resumen

La pandemia por COVID-19 ha tenido enormes consecuencias, principalmente en la salud humana y la economía, pero también es importante resaltar su impacto en la conservación de la naturaleza. Uno de los grupos animales más afectados por la realidad actual son los murciélagos, ya que los medios de comunicación los han asociado erróneamente con la transmisión de este virus. Tras una visita efectuada durante el mes de agosto 2020 a una cueva ubicada en una quebrada estacional junto a la comunidad Tocagón Alto, San Rafael de la Laguna, Imbabura, Ecuador, se determinó la pérdida de una población de *Anoura peruana*. Esto debido a hogueras realizadas dentro de este cuerpo espeleológico ante la negativa contra los murciélagos que trajo consigo la pandemia del COVID-19. Hasta mayo 2022, esta cueva continúa



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Diana Pazmino

Recibido /  
Received:  
18/05/2021

Aceptado /  
Accepted:  
15/07/2022

Publicado en línea /  
Published online:  
12/12/2022



deshabitada por los quirópteros objeto de estudio, y no existen indicios de su recolonización por parte de posibles sobrevivientes.

**Palabras clave:** Hoguera, murciélago sin cola peruano, cueva artificial, quema, Andes

---

La pandemia por COVID-19 ha tenido enormes consecuencias, principalmente en la salud humana y la economía, pero también es importante resaltar su impacto en la conservación de la naturaleza [1]. Dependiendo del enfoque se pueden encontrar efectos positivos o negativos. En algunos casos se pudo evidenciar la reducción en la contaminación (principalmente polución del aire) y también se redujo la presión para algunas especies. Sin embargo, los conservacionistas encuentran un panorama oscuro, ya que se ha incrementado la caza furtiva y los incendios forestales, además de la caída del ecoturismo, la investigación y el financiamiento de programas de conservación [2,3].

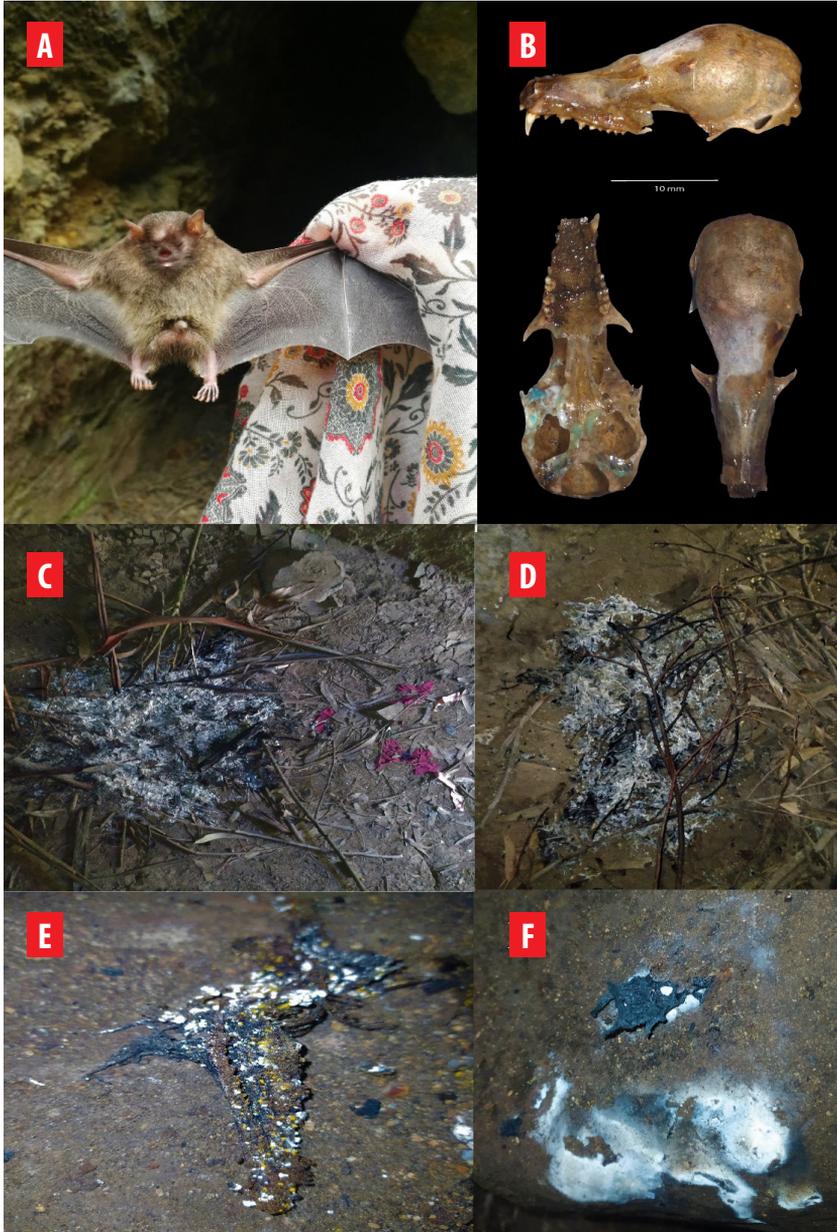
Uno de los grupos animales más afectados por la realidad actual son los murciélagos, ya que los medios de comunicación los han asociado erróneamente con la transmisión del COVID-19, a pesar de que la evidencia científica no ha podido determinar con certeza esta información [3]. Estos vertebrados siempre han sido estigmatizados de manera negativa por motivos supersticiosos [4,5,6] y en el pasado también han sufrido del estigma de ser considerados focos infecciosos de diferentes enfermedades zoonóticas. Entre los ejemplos más representativos está el SARS, el virus de Ébola, la fiebre de Marburgo, el virus de Hendra, el virus Nipah y la rabia [7], por lo que no es la primera vez que este grupo de mamíferos se ve afectado por represalias que involucran la destrucción de sus refugios y exterminio de poblaciones [1,4,7, 8,]. En el Ecuador, el orden Chiroptera posee una gran diversidad de especies (178 descritas hasta el momento [9]), de las cuales, según la UICN, 16 se encuentran bajo algún grado de amenaza y 29 no han sido evaluadas o no se tiene datos suficientes [9,10]. Este patrón se asemeja a la realidad global, donde un tercio de los murciélagos se encuentran bajo algún grado de amenaza o con información deficiente [1].

El presente reporte se realizó en una cueva artificial dentro de una quebrada estacional (0.172735, -78.223565) a 2852 m s. n. m. La cueva está ubicada en la comunidad Tocagón alto perteneciente al pueblo Otavalo (Kichwa), en la parroquia de San Rafael de la Laguna, cantón Otavalo, frente al lago San Pablo y bajo el páramo de Mojanda. Se encuentra en el flanco nororiental de la montaña Paracarumi, con un gradiente altitudinal de 2680-4077 m s. n. m. en la provincia de Imbabura [11]. El ecosistema al que pertenece es arbustal siempreverde montano del norte de los Andes, caracterizado por presentar vegetación sucesional, ya que los bosques montanos se han reemplazado por cultivos rodeados de vegetación arbustal de dosel abierto de hasta 5 m y soto bosque apretado de hasta 2 m. El clima promedio de mayo a septiembre es seco, de octubre a marzo es húmedo y la temperatura permanece constante a lo largo del año entre los 12 - 15°C [12]. La cueva es aprovechada para actividades turísticas locales desde el 2018.

En el mes de agosto del 2020, aprovechando la primera visita de reactivación turística a la cueva con el fin de monitorear la población de *Anoura peruana* (Fig. 1A), se



encontró evidencia de varias hogueras de eucalipto que al parecer tuvieron como consecuencia la eliminación de la población de murciélagos que allí habitaba (Fig. 1B-F). Probablemente estas actividades se dieron tras la aparición de la pandemia por Covid-19. En el 2018, un estudio elaborado por Barragán-Tabares et al. [13], en el que participaron 336 personas de la comunidad Tocagón Alto, recogió información sobre el nivel de conocimiento respecto a la biología, rol ecológico de los murciélagos y las asociaciones culturales que estos representan, relacionado con la composición socioeconómica de la comunidad. Los resultados indicaron que la percepción general fue positiva baja, es decir, alto grado de indiferencia y bajo conocimiento sobre valor ecológico. También reportaron la existencia de algunos grupos que tenían una percepción negativa, principalmente adultos entre los 42 a 57 años y aquellos dedicados al trabajo de construcción, lo que representa alrededor del 13% de esta población y que presuntamente habían sido responsables de pequeños sahumeros realizados en el pasado.



**Figura 1.** Análisis de la población de *Anoura peruana* en una cueva artificial en la comunidad Tocagón Alto durante la pandemia del COVID-19, **A**=*A. peruana* previo a la pandemia, **B**=Cráneo encontrado en la cueva, **C**=Hoguera de *Eucalyptus globulus* en la entrada de la cueva, **D**=Hoguera de *E. globulus* al final de la cueva, **E**= Restos óseos de un individuo de *A. peruana*, **F**=Restos de piel y pelos de *A. peruana*.

**Fotografías:** Hernán Orellana-Vásquez y Luna Barragán-Tabares.



El desconocimiento del papel ecológico de los murciélagos (en este caso de *Anoura peruana* como una especie polinizadora), la influencia de algunos medios de comunicación que asocian directamente la pandemia por COVID-19 con los murciélagos y la preexistencia de actitudes negativas por parte de un pequeño grupo de la comunidad de Tocagón Alto, posiblemente fueron factores que modificaron la percepción de la comunidad y promovieron las acciones necesarias para el desalojo de la población de murciélagos de esta cueva [3,7,13,14,15]. En este caso, *A. peruana* no representa un riesgo zoonótico conocido, pero en todo caso, se ha evidenciado que el desalojo y posible exterminio de poblaciones de especies de murciélagos que sí representan un riesgo como reservorios de enfermedades virales, es contraproducente. Por ejemplo, en Uganda se ha reportado con *Rousettus aegyptiacus* (reservorio del virus que causa la fiebre de Marburgo) y en Perú con *Desmodus rotundus* (reservorio del virus de la rabia). En ambos casos el desalojo de los murciélagos de los refugios naturales ocasionó la recolonización de individuos procedentes de otras áreas, lo que promovió la transmisión de nuevas cepas del virus y además el debilitamiento de las poblaciones hizo que sean más vulnerables a enfermarse y transmitir las enfermedades [7].

No es posible estimar las pérdidas que ocasiona el desalojo y exterminio de la población de *A. peruana* de esta cueva. Según los monitoreos realizados, habrían alrededor de 300 individuos. Posteriores visitas a la cueva (mayo 2022) no han presentado indicios de recolonización. Tampoco se han identificado otros refugios cercanos, pero no se descarta que la especie aun esté presente en la comunidad. Al ser una especie nectarívora, su papel como polinizadora podría representar un valor económico para esta comunidad indígena que se dedica a la agricultura [16].

A pesar de que *A. peruana* se encuentra catalogada como una especie de preocupación menor (LC) [10], intervenciones antrópicas como la reportada en este documento, pueden afectar la categoría de amenaza de varias especies de murciélagos. Este tipo de conflictos se evidencian en su mayoría en Asia, ya que se han propuesto leyes de sacrificio ecológico en China e Indonesia para reducir el riesgo de enfermedades de origen zoonótica. Sin embargo, países como Ecuador no se quedan fuera. El riesgo de las enfermedades zoonóticas se incrementa por la pérdida de hábitat y la amenaza de especies claves como los murciélagos, proteger la diversidad es prioridad de la humanidad para evitar futuras pandemias [2].

## AGRADECIMIENTOS

Este reporte fue posible gracias al aporte y hospitalidad del Proyecto Eco-etnoturismo Urku Wasi. A Sebastián Caiza dirigente Kichwa local. A Jhon Arias por su ayuda voluntaria durante los monitoreos. Al editor y dos revisores anónimos que aportaron con valiosos comentarios para la mejora del manuscrito.



## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Hernán Orellana-Vásquez y Luna Barragán-Tabares concibieron la investigación y desarrollaron el trabajo de campo

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflicto de intereses en relación a la publicación de este artículo.



## REFERENCIAS

- [1] Rocha, R., Aziz, S. A., Brook, C. E., Carvalho, W. D., Cooper-Bohannon, R., Frick, W. F., Huang, J. C. C., Kingston, T., López-Baucells, A., Maas, B., Mathews, F., Medellín, R. A., Olival, K. J., Peel, A. J., Plowright, R. K., Razgour, O., Rebelo, H., Rodrigues, L., Rossiter, S. J., ... Webala, P. W. (2020). Bat conservation and zoonotic disease risk: a research agenda to prevent misguided persecution in the aftermath of COVID-19. *Animal Conservation*, 1–5. doi: <https://doi.org/10.1111/acv.12636>
- [2] Cooke, S. J., Cramp, R. L., Madliger, C. L., Bergman, J. N., Reeve, C., Rummer, J. L., Hultine, K. R., Fuller, A., French, S. S. y Franklin, C. E. (2021). Conservation physiology and the COVID-19 pandemic. *Conservation Physiology*, 9(1), 1–10. doi: <https://doi.org/10.1093/conphys/coaa139>
- [3] Neupane, D. (2020). How conservation will be impacted in the COVID-19 pandemic. *Wildlife Biology*, 2020(2), 1–2. doi: <https://doi.org/10.2981/wlb.00727>
- [4] Cruz, J. (9-11 de mayo de 2007). *Entre la noche y la incomprensión. Murciélagos*. X Reunión de La Red de Popularización de La Ciencia y La Tecnología En América Latina y El Caribe (RED POP - UNESCO) y IV Taller "Ciencia, Comunicación y Sociedad" San José, Costa Rica. <https://www.cientec.or.cr/pop/2007/MX-JoseGabriel.pdf>
- [5] Moya, M., Pacheco, L. F., & Aguirre, L. F. (2015). Relación de los ataques de *Desmodus rotundus* con el manejo del ganado caprino y algunas características del hábitat en la prepuna de Bolivia. *Mastozoología Neotropical*, 22(1), 73–84. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0327-93832015000100008&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0327-93832015000100008&lng=es&nrm=iso)
- [6] De Prada, S. S. y Barragán-Tabares, L. M. (2018). Relatos Y Percepciones Sobre Murciélagos Por Parte De La Comunidad Tocagón En Otavalo Ecuador. *Ethnoscientia*, 3, 0–4. doi: <https://doi.org/10.22276/ethnoscientia.v3i0.141>
- [7] MacFarlane, D. y Rocha, R. (2020). Guidelines for communicating about bats to prevent persecution in the time of COVID-19. *Biological Conservation*, 248(May), 108650. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108650>
- [8] Torres, E. y Fernández, A. (2012). Instrumento para el análisis y evaluación de los conocimientos, actitudes y acciones hacia los murciélagos en la Mixteca poblana. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 4(1), 4–18. [https://www.researchgate.net/publication/281853595\\_Instrumento\\_para\\_el\\_analisis\\_y\\_evaluacion\\_de\\_los\\_conocimientos\\_actitudes\\_y\\_acciones\\_hacia\\_los\\_murcielagos\\_en\\_la\\_Mixteca\\_poblana](https://www.researchgate.net/publication/281853595_Instrumento_para_el_analisis_y_evaluacion_de_los_conocimientos_actitudes_y_acciones_hacia_los_murcielagos_en_la_Mixteca_poblana)
- [9] Tirira, D. G., Brito J., Burneo S. F., Carrera-Estupiñán, J. P., y Comisión de Diversidad de la AEM. (2022). Mamíferos del Ecuador: lista oficial actualizada de especies / Mammals of Ecuador: oficial updated species checklist. Versión 2022.1. Asociación Ecuatoriana de Mastozoología. <http://aem.mamiferosdeecuador.com> [actualización / updated: 2022-06-03].
- [10] Tirira, D.G. & Solari, S. 2019. *Anoura peruana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T88109497A88109500. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T88109497A88109500.en>. Accessed on 24 October 2022.
- [11] Calle Ordóñez, T. L. (2014). La relación de la comunidad Tocagón (Cantón Otavalo) con el agua. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7462>
- [12] Josse C. y Aguirre Z. (2013). Páginas 76-77 en: Ministerio del Ambiente del Ecuador 2012. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Quito. <https://fdocuments.es/document/sistema-de-clasificacion-de-ecosistemas-de-ecuador-continentalpdf.html?page=78>
- [13] Barragán-Tabares, L. M., De Prada, S. S., Benalcaza-Marcillo, M. D. y Gonzalez, D. (2018). Análisis y evaluación de las percepciones y actitudes ethnozoológicas de Chiroptera, en la Comunidad Tocagón Imbabura - Ecuador. *Ethnoscientia*, 3, 140. doi: <https://doi.org/10.22276/ethnoscientia.v3i0.140>
- [14] Lu, M., Wang, X., Ye, H., Wang, H., Qiu, S., Zhang, H., Liu, Y., Luo, J. y Feng, J. (2021). Does public fear that bats spread COVID-19 jeopardize bat conservation?. *Biological Conservation*, 254, 108952. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.108952>
- [15] Sasse, D. B. y Gramza, A. R. (2021). Influence of the COVID-19 pandemic on public attitudes toward bats in Arkansas and implications for bat management. *Human Dimensions of Wildlife*, 26(1), 90–93. doi: <https://doi.org/10.1080/10871209.2020.1799267>
- [16] Deshpande, K., y Kelkar, N. (2015). How Do Fruit Bat Seed Shadows Benefit Agroforestry? Insights from Local Perceptions in Kerala, India. *Biotropica*. 47(6), 654–659. doi: <https://doi.org/10.1111/btp.12275>

## Estimación del tamaño poblacional y del uso del hábitat de *Pristimantis unistrigatus* (Gunther, 1859) (Anura: Strabomantidae) en un área verde urbana de Quito - Ecuador

Hernán Orellana-Vásquez<sup>1,2,\*</sup>, Alex Achig-Vega<sup>1</sup>, Katherine Nicolalde-Tapia<sup>1</sup>, Mariana Duque<sup>1</sup>, Luna Barragán-Tabares<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Carrera de Ciencias Biológicas y Ambientales, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Central del Ecuador, Yaguachi y Numa Pompilio Llona, Quito Ecuador.

<sup>2</sup>Organización Relictum Conservation, calle Caoba 274-52 y Arabiscos, La Pradera, Loja, Ecuador.

\*Autor para correspondencia / Corresponding Author, e-mail: [hernanorellanavasquez@gmail.com](mailto:hernanorellanavasquez@gmail.com)

## Population size estimation and habitat use of *Pristimantis unistrigatus* (Gunther, 1859) (Anura: Strabomantidae) in an urban green area from Quito - Ecuador

### Abstract

Green areas in large cities can host a great biodiversity, providing shelter to different native taxa whose adaptive dynamics with respect to demographic changes are interesting to explore. An important group in urban green areas are amphibians, indicators of the current state of an ecosystem. We focus on the Striped Robber Frog *Pristimantis unistrigatus* to know its ecology within a green area of the city. We use a capture-recapture method by photo identification, in November 2015 and January 2016, on the campus of the Universidad Central del Ecuador. Using the Petersen population estimator, we estimated a population of 1749 individuals and a population density of 40 individuals per hectare. Most individuals were females and were found in the herbaceous stratum. *Pristimantis unistrigatus* showed eight morphological patterns in the studied area, a diversity of morphotypes probably related with the amount of available resources and different anthropogenic microhabitats.

**Keywords:** Petersen population estimator, Striped Robber Frog, morphological patterns, resources, microhabitats.

### Resumen

Las áreas verdes en las grandes ciudades pueden albergar una gran biodiversidad, proveyendo refugio a distintos taxones nativos cuyas dinámicas adaptativas con respecto a los cambios demográficos son interesantes de explorar. Un grupo importante en áreas verdes urbanas son los anfibios, indicadores del estado actual de un ecosistema. Nos enfocamos en la rana Cutín de Quito *Pristimantis unistrigatus* con el fin de conocer su ecología dentro de un área verde de la ciudad. Usamos un método de captura-recaptura por foto-identificación, en noviembre 2015 y enero 2016 en el campus de la Universidad Central del Ecuador. Usando el estimador poblacional Petersen, estimamos una población de 1749 individuos y una densidad poblacional de 40 individuos por hectárea.



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Diego F. Cisneros-  
Heredia

Recibido /  
Received:  
09/04/2020

Aceptado /  
Accepted:  
01/06/2022

Publicado en línea /  
Published online:  
12/12/2022



La mayoría de los individuos fueron hembras y se encontraron en el estrato herbáceo. *Pristimantis unistrigatus* mostró ocho patrones morfológicos en el área de estudio, una diversidad de morfotiposposiblemente relacionada con cantidad de recursos y los distintos microhábitats antropogénicos disponibles.

**Palabras clave:** Estimador poblacional Petersen, Cutín de Quito, patrones morfológicos, recursos, microhábitats.

---

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Quito se ha expandido en grandes proporciones en los últimos años [1,2], a pesar de ello, se conoce que grandes metrópolis pueden albergar una variada diversidad de especies de flora y fauna en sus áreas verdes. Estas áreas son de vital importancia como refugio de la biodiversidad local y pueden mostrar datos importantes sobre su comportamiento y adecuación hacia ambientes alterados [3]. El Campus de la Universidad Central del Ecuador cuenta con aproximadamente 44 hectáreas, de las cuales el 40% son áreas verdes [4] y, como varios de los espacios urbanos en Quito, posee distintos tipos de vegetación que brinda servicios ambientales a la ciudadanía junto con refugios para la biodiversidad [5].

Dentro de la riqueza de especies que podemos encontrar en las áreas verdes de la ciudad se encuentra la rana Cutín de Quito (*Pristimantis unistrigatus*), de la familia Strabomantidae. Esta especie se distribuye en valles interandinos desde el sur de Colombia hasta el Ecuador central, siendo localmente abundante y habitando en pastizales o áreas cultivadas entre los 2200 a 3400 m sobre el nivel del mar, y es común escucharla cantando en los jardines de Quito [6]. Se presume que el éxito de este tipo de anuros que se asientan en zonas urbanas o fragmentadas se da debido a su desarrollo directo (no presentan etapa larval), lo que incrementa las probabilidades de sobrevivencia y adaptación al reproducirse con éxito independientemente de la presencia de cuerpos de agua [7].

Debido a que el crecimiento urbano en el Neotrópico se está incrementando de una manera incontrolada, se hace cada vez más importante realizar estudios de ecología urbana para tomar acciones de conservación [8]. En Ecuador, pocos son los trabajos que se han realizado para analizar la situación de la fauna urbana, aun así, se han elaborado programas de educación ambiental como alternativas que puedan luchar contra la desaparición de especies [9]. Es necesario estudiar más a fondo las dinámicas de los anfibios en zonas urbanas ya que, su población presenta declives muy notorios, por estar sometidos a barreras antrópicas extremas que impiden su desplazamiento a otros ecosistemas menos alterados [10, 11].

El urbanismo implica ciertos cambios ambientales que juegan un papel importante en la reproducción y desarrollo de los anfibios [12]. Aunque las perturbaciones en el ambiente sean fuertes, existen especies adaptadas que han desarrollado una gran flexibilidad para utilizar una amplia gama de hábitats, lo cual involucra plasticidad conductual o



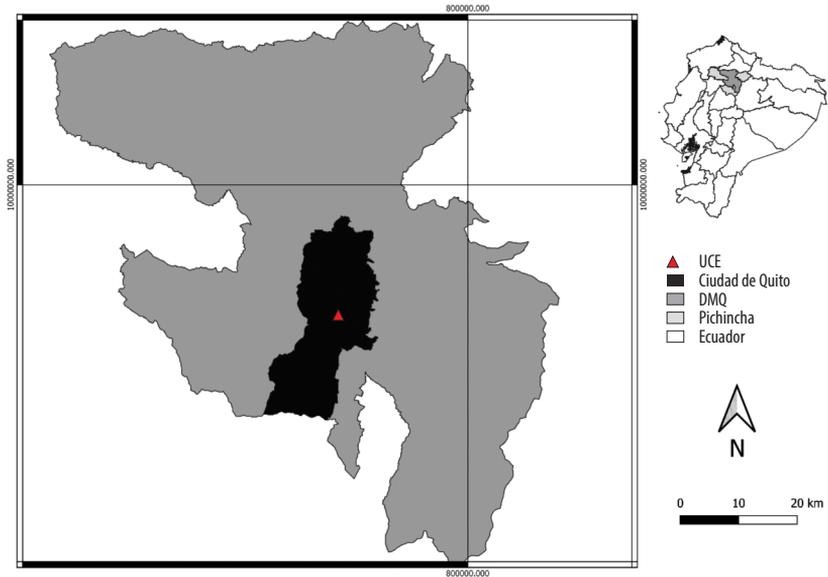
incluso morfológica como respuesta hacia los cambios del ambiente, variando según las necesidades individuales determinadas por el estadio de desarrollo o sexo [13,14]. Entre las adaptaciones al medio están las variaciones de coloración, las cuales suelen tener funciones de termorregulación, comunicación y evasión de predadores [15]. En el caso de los anuros existe evidencia que la coloración suele estar relacionada con el entorno y el tipo de microhábitat en donde habitan los individuos [16].

Los anuros tienen un ciclo de vida complejo, con varios puntos de transición y de cambios morfológicos, fisiológicos, ecológicos y de comportamiento, y aun cuando algunos no presenten etapas larvales, se considera que durante dichos cambios existen diferencias en el aprovechamiento del entorno, lo que se denomina plasticidad fenotípica. De esta manera, algunos anfibios se adaptan a situaciones de perturbación, depredación y eventos ambientales que de otro modo los exterminaría [17].

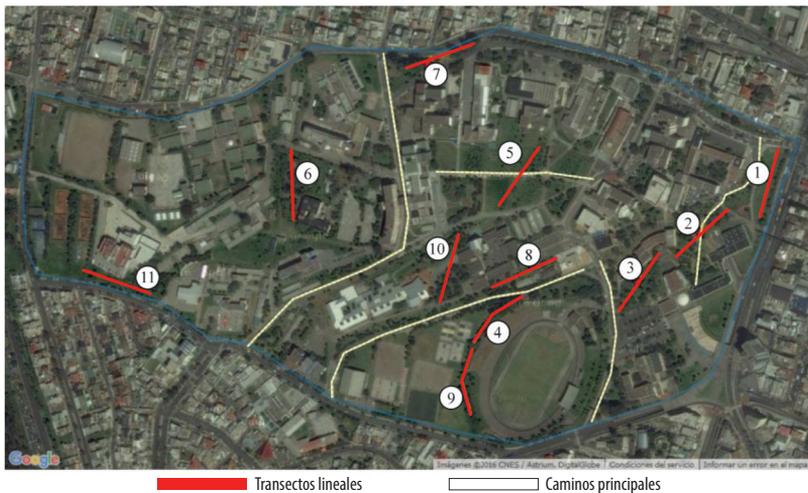
Un campus universitario puede actuar como un mosaico geográfico ya que las áreas verdes están conectadas de manera intermitente, lo que puede generar cambios entre las subpoblaciones que se puedan formar, lo cual podría verse evidenciado en los patrones de coloración [18]. El presente trabajo buscó estimar el tamaño poblacional y uso de hábitat de *P. unistrigatus* en el campus universitario de la Universidad Central del Ecuador, y evaluar si existen diferencias entre el estadio, tamaño o sexo y la preferencia de estrato de percha, para así contribuir con información que permita comprender el estado de dicha especie en ambientes urbanos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio fue realizado en el campus de la Universidad Central del Ecuador, ciudad de Quito (Fig. 1), con una extensión de 44 ha, de las cuales el 40% son áreas verdes [4]. Este campus no tiene conexión con otras áreas verdes de la ciudad ni con la parte occidental en las faldas del volcán Pichincha y se encuentra a una altura de 2830 m sobre el nivel del mar (Fig. 2). La temperatura y humedad durante el trabajo de campo en noviembre 2015 (captura) fueron en promedio  $12,8 \pm 1,3$  °C y  $83,8 \pm 3,3\%$  respectivamente, mientras que, en enero 2016 (recaptura) la temperatura promedio fue  $12,0 \pm 1,1$  °C y la humedad promedio  $86,4 \pm 1,0\%$ .



**Figura 1.** Ubicación del campus de la Universidad Central del Ecuador (UCE) dentro de la ciudad de Quito, Pichincha, Ecuador.



**Figura 2.** Distribución de los once transectos lineales en las áreas verdes estudiadas del campus de la Universidad Central del Ecuador (UCE), Quito, Pichincha. Fuente: Google Maps, 2016

Siguiendo la propuesta realizada por Lips y Reaser [19], se establecieron once transectos de  $100 \times 3$  m a lo largo de las áreas verdes del campus universitario que forman islas separadas por las estructuras de concreto entre ellas, como edificios, aulas, talleres,



graderíos, calles y caminos. La mayoría de estas áreas verdes son pastizales de césped, similares en composición de especies y estructura a otros que se pueden encontrar en las áreas verdes de toda la ciudad. En estos pastizales, además del césped, se pueden encontrar arbustos y árboles de especies introducidas como *Eucalyptus globulus*, *Populus* sp., *Callistemon viminalis*, *C. citrinus* y especies nativas como *Tecoma stans*, *Delostoma integrifolium*, entre otros [4]. Los transectos TH01, 02 y 05 se caracterizaron por ser zonas abiertas en su mayoría, cubiertas por pastizal y la presencia de vegetación arbustiva y arbórea muy distanciada entre sí, se ubicaron junto a calles y caminos principales. Por otro lado, los transectos TH03 y 07 fueron zonas muy abiertas con espacio reducido, los transectos apenas cubrían su extensión y estaba caracterizada casi solo por pastizal junto a calles principales. Los transectos TH04, 08, 09, 10 y 11 estuvieron en áreas con la presencia de vegetación nativa, fueron zonas poco transitadas por la comunidad universitaria, además presentaron pequeñas zonas con escombros y materiales desechables como barras de hierro, tubos entre otros. El transecto TH06 se caracterizó principalmente por tener un humedal artificial junto con vegetación asociada a un cuerpo de agua, con zonas cubiertas de arbustos y árboles. Los muestreos se realizaron entre las 20h30 y las 01h30, debido a la actividad universitaria en la zona de estudio no se inició el trabajo más temprano.

El estudio en campo se realizó mediante los métodos estandarizados de monitoreo para anfibios descritos por Crump y Scott [20] y Angulo et al. [21]. Los individuos fueron capturados manualmente y depositados en una funda plástica de 30 × 45 cm, designándoles un código y registrando características ambientales como estratos, hora de colecta y tipo de percha. En cada transecto se puso una cinta de marcaje por punto de colecta para luego liberarlos en el punto de extracción. En este estudio no se colectó ningún individuo.

Para la identificación de *P. unistrigatus* se utilizó la descripción propuesta por Lynch [22] y respaldada por Ron et al., [6] y Hoyos et al., [23], además de tipificar juveniles, hembras y machos. Los machos adultos fueron identificados por la presencia de un saco vocal dilatado y menor tamaño en la longitud rostro-cloacal (LRC), en comparación con las hembras de mayor tamaño en LRC, que fueron diferenciadas además por carecer de saco vocal [24]. En las hembras grávidas era posible observar la existencia de huevos a través de la piel ventral. Se tomaron medidas morfométricas de los individuos capturados con un calibrador digital (marca Vernier, precisión = 0,01 mm). Para los análisis morfológicos se excluyó a los individuos juveniles ya que no mostraban los caracteres bien desarrollados para la identificación a nivel de especie [25]. Los individuos fueron pesados con una balanza mecánica mono plato con pesas corredizas en unidad de gramos, y a cada individuo se le tomó fotografías de la parte dorsal, considerando los patrones morfológicos de manchas negras como "marcajes" para reconocimiento de los individuos capturados, método probado en dendrobátidos [26], en hílidos [27], en hemifrácidos [28] y en bufónidos [10]. Para evaluar los patrones de variación morfológica de los individuos de *P. unistrigatus* se tomó en cuenta los registros digitales tomados para el marcaje. Estos patrones permitieron clasificar un patrón básico en machos y hembras junto con las variaciones a partir de ellos. Esto se pudo establecer tras la ejecución de un muestreo prospecto aleatorio en el cual se observó diferencias físicas entre individuos capturados tanto para machos y hembras, siendo los patrones dorsales los más definitivos para distinguirlos entre sí al momento de realizar una selección aleatoria de los anfibios capturados y previamente registrados

fotográficamente, con el fin de disminuir los errores de identificación entre individuos [29]. La precisión de identificación manual entre individuos ya ha sido demostrada anteriormente en distintos trabajos como menciona Alzate-Lozano et al. [30] (Fig. 3).



**Figura 3.** Variación base de los patrones dorsales en *P. unistrigatus* dentro del campus universitario de la Universidad Central del Ecuador. Hembras: A= Manchas negras pronunciadas con unos círculos dorsales inferiores; B=Línea central rostro cloacal junto con manchas negras entre cortadas paralelas a la central; C=Pigmentos negros muy marcados en todo el dorso junto con pequeños pigmentos blancos; D= Manchas negras menos pronunciadas con unos círculos dorsales inferiores y con puntos blancos. Machos: E= Manchas negras no tan pronunciadas con unos círculos dorsales inferiores; F= Línea central rostro cloacal negra junto con manchas negras paralelas continuas a la central; G=Base de la piel color naranja con pequeñas manchas negras en el dorso; H=Base de la piel totalmente negra con pequeños o ausentes pigmentos café.

Se utilizó estadística descriptiva para determinar la estructura de la población de acuerdo con los datos obtenidos en el campo mediante el programa Microsoft Excel 2010, usando un intervalo de confianza del 95%. Para la estimación de la población se usó la fórmula de Petersen considerando los datos de la captura obtenidos tras la fotoidentificación de los individuos por su patrón dorsal, realizando luego de un mes una segunda ronda de muestreo para identificar las posibles recapturas dentro de esta población considerada cerrada [31]. Además, se calculó la densidad poblacional tomando en cuenta los datos generados por el estimador de Petersen dividido para el número de hectáreas que corresponden al área de estudio.

Para caracterizar la preferencia de percha nocturna en *P. unistrigatus*, se definió el tipo de percha en cinco categorías: 1: Herbáceo, 2: Arbustivo, 3: Arbóreo, 4: Hojarasca, 5: Otros. Dentro de la categoría 5 se consideran los estratos antrópicos (asentamientos urbanísticos

como concreto, desechos orgánicos e inorgánicos, mallas de alambre, etc.) y demás elementos como troncos, rocas o raíces. Se realizó el análisis de varianza Kruskal-Wallis para muestras independientes, considerando datos no paramétricos con el fin de observar si existe diferencia entre el tipo de percha nocturna y el tamaño de los individuos de *P. unistrigatus*, por otro lado, para establecer si existen diferencias entre la preferencia de la percha según el sexo (macho y hembra), se aplicó U de Mann-Whitney [32].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se capturó un total de 299 individuos de *P. unistrigatus*, distribuidos dentro de los once transectos ya mencionados (Fig. 2), siendo las hembras las más numerosas dentro de la zona de estudio. El estimador de Petersen mostró un valor de 1749 individuos, en términos de densidad representa 40 ind/ha, considerando que solo el 4,7% (n=14) fueron recapturados (Tabla 1). El número de individuos en el primer muestreo fue mayor que en el segundo, siendo las hembras las más numerosas en ambos casos. Esta baja tasa de recaptura podría estar influida por las condiciones climáticas entre las dos sesiones de muestreo, pues la temperatura promedio varió 0,79 °C, y la humedad media al menos 2,53%.

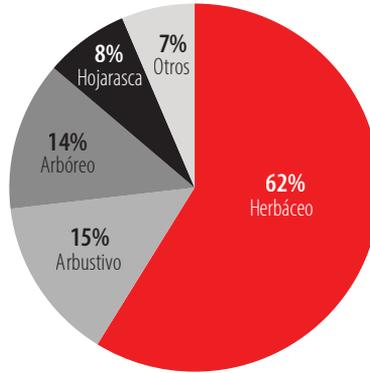
**Tabla 1.** Estadío, número y porcentaje de individuos junto con la estimación de la población de *Pristimantis unistrigatus* durante la captura – recaptura en el campus universitario UCE

	Macho (n) %	Hembra (n) %	Juvenil (n) %	Total (n)
Captura y marcaje (noviembre 2015)	(55) 34	(84) 53	(20) 13	(159)
Segundo muestreo (enero 2016)	(65) 42	(77) 50	(12) 8	(154)
Recapturas (14) 4,7	Estimación de la población: Petersen (1749)			

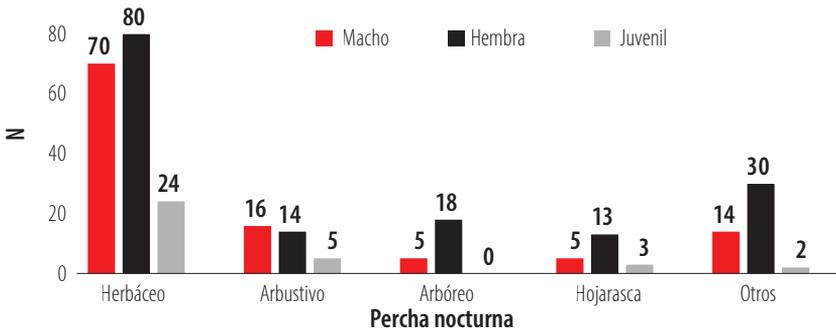
Dos de los 11 transectos, denominados TH03 y 07 no presentaron registros en ninguno de los dos muestreos, tres transectos presentaron menos del 1% de los registros totales (TH01, 02 y 05), Dentro de las áreas con más abundancia de *P. unistrigatus* está el transecto TH06 (27,79%) donde se pudo observar un parche de vegetación y un pequeño humedal artificial. Los transectos TH04, 08, 09, 10 y 11 presentaron más del 10% de los registros, teniendo en común parches de vegetación nativa y espacios poco transitados ya sea por su pendiente o la ubicación retirada de las principales áreas de interés para la comunidad universitaria (aulas, oficinas, laboratorios, entre otros).

El tipo de percha más usado por *P. unistrigatus* fue el herbáceo con más de la mitad de los individuos registrados en este estrato, mientras que el menos común fue el sustrato denominado "Otros", que incluyó registros en concreto, barras de hierro (oxidadas), tubos de metal y mallas de alambre (Fig. 4). No existieron diferencias estadísticamente significativas entre el tamaño tanto de las hembras ( $H= 2,44$ ;  $p= 0,65$ ) como de los

machos ( $H=1,20$ ;  $p= 0,87$ ) y el tipo de estrato elegido para la percha nocturna. Se encontraron diferencias significativas entre la preferencia de percha y el sexo ( $Z= 2,93$ ,  $p= 0,001$ ) lo cual se puede apreciar en la Fig. 5. Los juveniles están presentes en los estratos más cercanos del suelo.



**Figura 4.** Relación entre el tipo de percha nocturna y el porcentaje total del número de individuos de *P. unistrigatus* colectados en la captura-recaptura (n=299).



**Figura 5.** Preferencia del tipo de percha nocturna elegida y el sexo (macho y hembra) de los individuos identificados durante la captura-recaptura.

El análisis de las fotografías de los patrones dorsales de los individuos de *P. unistrigatus* registrados dio como resultado cuatro morfos para hembras y cuatro para machos. En el caso de hembras (Fig. 3) predomina una pigmentación negra en una base café clara, los patrones negros se extienden desde la línea dorso cloacal hacia los flancos, en algunos casos con pigmentos blancos. Los machos (Fig. 3) presentan más variación, con patrones dorsales desde pigmentos negros similares a la hembra, con la base desde rojiza hasta anaranjada oscura y negra, y los pigmentos negros pueden estar en forma de líneas siguiendo la LRC, poco presentes hasta casi todo el dorso cubierto de este color. El patrón (D) en hembras posee características similares al patrón (E) de los machos, solo que con la pigmentación dorsal de fondo más oscuro y pequeños puntos blancos conspicuos (Fig. 3).



Existen pocos estudios que evalúan poblaciones de anfibios, específicamente en el género *Pristimantis*, pese a ser uno de los grupos altamente diversos en el Neotrópico. Es por esta razón que este estudio es un punto de partida para aclarar la relación del estado poblacional de una especie de *Pristimantis* que habita distintos ambientes (urbanos y rurales), Funk et al. [33] presentó un estudio que analizó poblaciones de especies del género *Pristimantis* en Yanayacu, provincia de Napo, Ecuador, reportando densidades para *P. simbolivari* (564 ind/ha), *P. eriphus* (154 ind/ha), *P. lanthanites* (129 ind/ha) y *P. martiae* (99 ind/ha), con altos valores de densidad poblacional con respecto a nuestro trabajo. El estudio de Velásquez-Trujillo et al. [34], realizado en Colombia con *P. calcaratus*, obtuvo 91 ind/ha. La menor densidad registrada en el presente estudio podría deber a que los estudios antes citados se realizaron en zonas de mayor superficie, cubiertas por vegetación nativa, y lejos de zonas urbanas.

Es importante continuar estudiando las poblaciones urbanas de anfibios para conocer de mejor manera si estas podrían sufrir futuros declives poblacionales por distintas causas como aislamiento urbano [35] o enfermedades o malformaciones, como las reportadas por Yáñez-Muñoz et al. [26] y Ramírez y Rodríguez [28]. La población de *P. unistrigatus* podría aumentar si se incrementan las áreas verdes dentro del campus universitario, principalmente usando vegetación nativa y restringiendo el paso de los usuarios en áreas estratégicas para permitir un remanente para los anfibios. También se puede implementar conexiones que puedan ser utilizadas por los anfibios, principalmente entre los transectos TH04, 06, 08, 09, 10 y 11. Se pueden tener en cuenta áreas verdes fuera del campus como el bosque nativo de la zona de Armero que se encuentra junto a la avenida Mariscal Sucre, cerca del campus universitario y que representa un área mayor que puede contener poblaciones más establecidas del Cutín de Quito. Conseguir establecer conexiones entre estos parches de vegetación a pesar de las barreras humanas podría favorecer enormemente el desarrollo futuro de estas poblaciones de anfibios [10,26].

Los resultados de este estudio sugieren que no existe segregación en el uso de perchas según el tamaño del individuo, pero sí por su sexo. En la relación entre el tipo de percha nocturna entre machos hembras y juveniles se mostró que en su mayoría los individuos prefieren las plantas herbáceas, las hembras adultas fueron más abundantes en el estrato arbóreo. Este patrón coincide con el estudio de García y colaboradores en el 2008 con *Pristimantis jubatus*, donde los individuos adultos ocuparon estratos más altos que los juveniles [36]. *Pristimantis unistrigatus* utilizó con mayor frecuencia las hierbas seguidas por arbustos, concordando con el estudio de Molina-Zuluaga y Gutiérrez-Cárdenas [37]. Esta preferencia se podría deber a la importancia de la estructura física de la percha para evitar la exposición frente a depredadores más que la preferencia del tipo de especie vegetal [38]. Por otro lado, las ranas de hábitos arbóreos o las que prefieren estar más lejos del suelo tienen un sistema de forrajeo pasivo que les permite capturar presas móviles mientras perchan [39,40]; de forma que se reduzca el peligro de depredación [41]. Para explicar la preferencia de los juveniles podrían deberse a que los anuros pueden cambiar su dieta a medida que crecen, siendo los artrópodos más pequeños disponibles los que se encuentran en estratos más cercanos del suelo [42].

Los registros de diferentes morfos para *P. unistrigatus* fueron de gran ayuda para la identificación en la recaptura mediante foto identificación, semejante a los métodos usados por Yáñez-Muñoz et al. [10], Ramírez y Rodríguez [28], Alzate-Lozano et al., [30].



Lynch [22] describe que la coloración del dorso contiene cuatro patrones morfológicos, mientras que Ron et al. [6] describen cinco patrones morfológicos del dorso. Sin embargo, para este estudio se describen ocho patrones morfológicos del dorso considerando los dos sexos. Estos cambios en los patrones morfológicos de coloración son evidentes y a menudo se encuentra ligados a su base genética [43]. Los patrones encontrados en este estudio podrían estar relacionados con la disponibilidad de recursos existentes y la diversidad de microhábitats que permiten a la especie suplir sus necesidades fisiológicas [30], algo que sugiere también Ortega-Andrade et al. [27] en su estudio poblacional de *Agalychnis spurrelli*.

A pesar de que *Pristimantis unistrigatus* se encuentra bajo la categoría de Preocupación Menor (LC) en la lista roja de anfibios del Ecuador [44] podría en un futuro evidenciar su desaparición en áreas urbanas muy aisladas e intervenidas, lo que representaría además una pérdida de la identidad cultural con la naturaleza, teniendo en cuenta que esta es una especie emblemática de la ciudad de Quito.

## AGRADECIMIENTOS

A las Biólogas Silvana Gallegos, Paulina Guarderas y Cecilia Tobar, por sus sugerencias de ecología de poblaciones para el presente trabajo. A Erick Acosta, Dulce Jordán, Patricio Mora, Iván De la Cruz por su colaboración en la fase de campo. A los biólogos Juan Francisco Rivadeneira por la representación en la carrera de Ciencias Biológicas y Ambientales de la UCE, Gonzalo Soto por la logística durante el estudio en el campus universitario junto con el Centro de Biología. A Malki Bustos, por la prestación de una cámara fotográfica para el registro digital. A la Universidad Central del Ecuador por los permisos necesarios para la ejecución del proyecto dentro del campus. A los dos revisores anónimos y al editor que contribuyeron en gran proporción al mejoramiento del manuscrito con sus valiosos comentarios.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Hernán Orellana-Vásquez concibió la investigación, realizó la fase de campo junto a Alex Achig-Vega, Katherine Nicolalde y Mariana Duque, Luna Barragán-Tabares realizó los análisis e interpretación de los datos y contribuyó en la redacción del manuscrito.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflicto de intereses en relación a la publicación de este artículo.

## REFERENCIAS

- [1] Scovazzi, E. (2018). Centros históricos y cultura urbana en América Latina. *Ciudades*, (3), 135-154. doi: <https://doi.org/10.24197/ciudades.03.1996.135-154>
- [2] Rodríguez, C. P. (2018). Rehabilitación urbana y pobreza oculta, La Mariscal, Quito. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(2), 17-24. doi: <https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n2.70065>
- [3] Amador-Oyola, L. (2015). Fauna urbana de Guayaquil: el caso de los anfibios y reptiles, nuestros vecinos menospreciados. *Yachana Revista Científica*, 4(Edición Especial noviembre de 2015), 181-188. doi: <https://doi.org/10.1234/yach.v0i0.150>
- [4] Salvador, J. D. (2013). Análisis comparativo de los métodos de cálculo del tiempo de concentración en la red de Alcantarillado del Campus Universitario. Tesis de titulación. Carrera de Ingeniería Civil. Quito: UCE. p. 253. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1709>
- [5] Murray, S. (1998). El Ecosistema Forestal Urbano En Quito. En *Silvicultura Urbana y Periurbana en Quito, Ecuador: Estudio de Caso*. <https://www.fao.org/3/W7445S/w7445s04.htm#3.%20el%20ecosistema%20forestal%20urbano%20en%20quit>
- [6] Ron, S. R., Frenkel, C., Varela-Jaramillo, A. y Guayasamín, J. M. (2018). *Pristimantis unistrigatus*. En Ron, S. R., Merino-Viteri, A. Ortiz, D. A. (Eds). Anfibios del Ecuador. Version 2021.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/FichaEspecie/Pristimantis%20unistrigatus>, acceso, junio 2018.
- [7] Becker, C. G., Fonseca, C. R., Haddad, C. F. B., Batista, R. F. y Prado, P. I. (2007). Habitat split and the global decline of amphibians. *Science*, 318, 1775–1777. doi: <http://doi.org/10.1126/science.1149374>
- [8] Barragán-Vásquez M., Zenteno Ruíz C., Solís Surita C., López Luna M., Hernández Estaño E., Martínez Zetina M., Ríos Rodas L., Hernández Velásquez J., Rodríguez Sánchez Y., Peregrino Reyes D., Rodríguez Azuaga G. y González Ramón M. (2010). Herpetofauna Asociada a Ambientes Urbanos y Sub urbanos de Villahermosa, Tabasco, México. *Kuxulkab, Revista de divulgación*, 16(30), 19-26. [https://www.researchgate.net/publication/345974426\\_Herpetofauna\\_asociada\\_a\\_ambientes\\_urbanos\\_y\\_suburbanos\\_de\\_Villahermosa\\_Tabasco\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/345974426_Herpetofauna_asociada_a_ambientes_urbanos_y_suburbanos_de_Villahermosa_Tabasco_Mexico)
- [9] Jácome Mejía, A. E. (2017). Diseño de un programa de interpretación y educación ambiental en el parque Guápulo, Quito, Ecuador. Tesis de titulación. Carrera de Turismo Ecológico. Quito: UCE. p. 128. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/9662>
- [10] MECN. (2009). Guía de Campo de los Pequeños Vertebrados del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), Publicación Miscelánea N° 5. Serie de Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN) – Fondo Ambiental del MDMQ. 1-89 pp. Imprenta Nuevo Arte. Quito-Ecuador.
- [11] Ron S. R., Merino, A. (2000). "Declinación de anfibios del Ecuador: información general y primer reporte de Chytridiomycosis para Sudamérica", pp. 2-3. [https://multimedia20stg.blob.core.windows.net/publicaciones/Ron\\_&\\_Merino\\_2000.pdf](https://multimedia20stg.blob.core.windows.net/publicaciones/Ron_&_Merino_2000.pdf)
- [12] Babini, M. S., Salas, D. E., Bionda, C. L. y Martino, A. L. (2015). Implicaciones de la urbanización en la presencia, distribución y ecología reproductiva de la fauna de anuros de una ciudad del área central de Argentina. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(1), 188-195. doi: <https://doi.org/10.7550/rmb.43684>
- [13] Rubbo, M. J. y Kiesecker, J. M. (2005). Amphibian breeding distribution in an urbanized landscape. *Conservation Biology*, 19(2), 504–511. <https://www.jstor.org/stable/3591262>
- [14] Sih, A., Ferrari, M. C. O. y Harris, D. J. (2011). Evolution and behavioural responses to human-induced rapid environmental change. *Evolutionary applications*, 4(2), 367–387. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2010.00166.x>
- [15] Endler, J. A., Wescott, D. A., Madden, J. R. y Tobson, T. (2005). Animal visual systems and the evolution of colour patterns: sensory processing illuminates signal evolution. *Evolution*, 59(8), 1795–1818. doi: <http://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2005.tb01827.x>
- [16] Toledo, L. y Haddad, C. (2009). Colors and some morphological traits as defensive mechanisms in anurans. *International Journal of Zoology*, 2009, 910892. doi: <https://doi.org/10.1155/2009/910892>

- [17] María, D., Vera, F. y Vaira, C. M. (2019). Plasticidad fenotípica en diferentes etapas del ciclo de vida de *Phyllomedusa boliviana* y *Phyllomedusa sauvagii* (Anura: Phyllomedusidae): respuesta ante factores bióticos y abióticos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. <http://hdl.handle.net/11336/97933>
- [18] Carranza Almansa J. (2003). La evolución del sexo. En M. Soler (Ed.) *Evolución. La base de la biología*. Proyecto sur de ediciones.
- [19] Lips K. y Reaser, J. (1999). "El monitoreo de Anfibios en América Latina", The Nature Conservancy. <https://amphibiaweb.org/resources/Anfibios.pdf>
- [20] Crump, M. L. y Scott, N. J. (1994). Visual Encounter Survey. En W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. C. Hayek y M. S. Foster (Eds.), *Measuring and Monitoring biological diversity. Standard methods for Amphibians* (pp. 84-92). Smithsonian Institution Press.
- [21] Angulo, A., Rueda-Almonacid, J. V., Rodríguez-Mahecha, J. V. y La Marca, E. (2006). Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina, Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo N.º 2. Panamericana Formas e Impresos S.A.
- [22] Lynch, J. D. 1981. Leptodactylid frogs of the genus *Eleutherodactylus* in the Andes of Northern Ecuador and adjacent Colombia. *The University of Kansas, Museum of Natural History Miscellaneous Publications*, 72, 1-46.
- [23] Hoyos, J., Mantilla, C., Galindo, D. y Salgar, L. (2014). Phylogenetic analysis within the *Pristimantis unistrigatus* (Anura, Craugastoridae) group based on morphological characters. *Caldasia*, 36(1), 107-124. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v36n1.43894>
- [24] Lynch, J. D. y Duellman, W. E. (1980). The *Eleutherodactylus* of the Amazonian slopes of the Ecuadorian Andes (Anura: Leptodactylidae). *The University of Kansas, Museum of Natural History, Miscellaneous Publications*, 69, 1-86.
- [25] Duellman, W.E. y Lehr, E. (2009). *Terrestrial-Breeding frogs (Strabomantidae) in Perú*. Natur und Tier-Verlag.
- [26] Yáñez-Muñoz, M., Mesa-Ramos, P., Altamirano, M. B. y Castro, C. M. (2010). Estado poblacional de una rana nodriza (Anura: Dendrobatidae: *Hyloxalus delatorreae*), críticamente amenazada, en los Andes Norte de Ecuador. *Boletín Técnico, Serie Zoológica* 6, 38-64. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1428>
- [27] Ortega-Andrade, H. M., Tobar-Suárez, C. y Arellano, M. M. (2011). Tamaño poblacional, uso del hábitat y relaciones interespecíficas de *Agalychnis spurrelli* (Anura: Hylidae) en un bosque húmedo Tropical remanente del noroccidente de Ecuador. *Papeles Avulsos de Zoología*, 51(1), 1-19. doi: <https://doi.org/10.1590/S0031-10492011000100001>
- [28] Ramírez, S. M. y Rodríguez, M. L. (2019). Estado poblacional y relaciones ecológicas de *Gastrotheca riobambae* (Anura: Hemiphraetidae) en dos localidades del Volcán Pasochoa, Pichincha – Ecuador. *Boletín técnico, Serie Zoológica*, 10(7), 69-97. doi: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1449>
- [29] Arnason, A. N. y Mills, K. H. (1981). Bias and loss of precision due to tag loss in Jolly-Seber estimates for mark-recapture experiments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 38(9), 1077-1095. doi: <http://doi.org/10.1139/f81-148>
- [30] Alzate-Lozano, S., Lozano-Osorio, R. y Galvis, C. (2018). Parámetros poblacionales de la rana dorada, *Phyllobates terribilis* (Myers et al., 1978) (Dendrobatidae), en una localidad de Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia. *Biota colombiana*, 19(1), 133-146. doi: <https://doi.org/10.21068/c2018.v19n01a09>
- [31] Donnelly, M. A. y Guyer, C. (1994). Estimating population size. En W. R. Heyer, M.A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. C. Hayek y M. S. Foster (Eds.), *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press.
- [32] Zar, J. H. (1998). *Biostatistical analysis* (4th edition). Prentice Hall.
- [33] Funk, W. K., Almeida-Reinoso, D., Nogales-Sornosa, F. y Bustamante, M. R. (2003). Monitoring Population Trends of *Eleutherodactylus* Frogs. *Journal of Herpetology*, 37(2), 245-256. doi: [https://doi.org/10.1670/0022-1511\(2003\)037\[0245:MPTOEF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1670/0022-1511(2003)037[0245:MPTOEF]2.0.CO;2)
- [34] Velásquez-Trujillo, D. A., García, W. B. y López, A. G. (2014). Ensamblaje de anuros y estado poblacional de *Pristimantis calcaratus* (Anura: Craugastoridae), Bitaco, la Cumbre-Colombia, Universidad del Valle. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Departamento de Biología, pp. 1-9. doi: <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.21159.14247>



- [35] Saunders, D. A., Hobbs, R. J. y Margules, C. R. (1991). Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 5(1), 18-32. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x>
- [36] García, R. J. C., Lucas-Velásquez, L., Cárdenas, H. H. y Posso, G. C. E. (2012). Ecología alimentaria de la rana de lluvia endémica *Pristimantis jubatus* (Craugastoridae) en el Parque Nacional Natural Munchique, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 17(2), 411-420. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2012000200014&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2012000200014&script=sci_abstract&tlng=es)
- [37] Molina-Zuluaga, C. y Gutiérrez-Cárdenas, P. G. A. (2007). Uso nocturno de perchas en dos especies de Anolis (Squamata: Polychrotidae) en un bosque Andino de Colombia. *Papeis Avulsos de Zoología*, 47(22), 273-281. doi: <https://doi.org/10.1590/S0031-10492007002200001>
- [38] Rubbo, M. J. y Kiesecker, J. M. (2005). Amphibian breeding distribution in an urbanized landscape. *Conservation Biology*, 19, 504-511. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.000101.x>
- [39] Guayasamin J. M., Bonaccorso E., Menéndez P. A. y Bustamante M. R. (2004). Morphological variation, diet, and vocalization of *Eleutherodactylus eugeniae* (Anura: Leptodactylidae) with notes on its reproduction and ecology. *Herpetological Review*, 35(1), 17-23. [https://www.academia.edu/33236673/Morphological\\_variation\\_diet\\_and\\_vocalization\\_of\\_Eleutherodactylus\\_eugeniae\\_Anura\\_Leptodactylidae\\_with\\_notes\\_on\\_its\\_reproduction\\_and\\_ecology](https://www.academia.edu/33236673/Morphological_variation_diet_and_vocalization_of_Eleutherodactylus_eugeniae_Anura_Leptodactylidae_with_notes_on_its_reproduction_and_ecology)
- [40] Santos E. M., Almeida A. V. y Vasconcelos S. D. (2004). Feeding habits of six anuran (Amphibia: Anura) species in a rainforest fragment in Northeastern Brazil. Iheringia. *Série Zoologia*, 94(4), 433-438. doi: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212004000400014>
- [41] Toft, C. A. (1985). Resource partitioning in amphibians and reptiles. *Copeia*, 1985(1), 1-21. doi: <https://doi.org/10.2307/1444785>
- [42] Leyte-Manrique, A., González-García, R. L. E., Quintero-Díaz, G. E., Alejo-Iturvide, F., & Berriozabal-Islas, C. (2018). Aspectos ecológicos de una comunidad de anuros en un ambiente tropical estacional en Guanajuato, México. *Acta zoológica mexicana*, 34. doi: <https://doi.org/10.21829/azm.2018.3412138>
- [43] O'Neill, E. M. y Beard, K. H. (2010). Genetic basis of a color pattern polymorphism in the coqui frog *Eleutherodactylus coqui*. *Journal of Heredity*, 101(6), 703-709. doi: <https://doi.org/10.1093/jhered/esq082>
- [44] Ortega-Andrade HM, Rodes Blanco M, Cisneros-Heredia DF, Guerra Arévalo N, López de Vargas-Machuca KG, et al. (2021) Red List assessment of amphibian species of Ecuador: A multidimensional approach for their conservation. *PLOS ONE* 16(5): e0251027. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251027>

## Primer registro de *Stenophysa marmorata* (Guilding, 1828), Gastropoda, Physidae en ríos de la provincia de Loja, Ecuador

Gabriela Palacio-Villamagua<sup>1\*</sup>, Verónica Iñiguez-Gallardo<sup>1</sup>, Modesto Correoso-Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Vida, Ciencias de la Tierra y la Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, Ecuador.

\*Autor para Correspondencia/Corresponding Author, e-mail: [mgpalacio@utpl.edu.ec](mailto:mgpalacio@utpl.edu.ec)

## First record of *Stenophysa marmorata* (Guilding, 1828), Gastropoda, Physidae in rivers of Loja province, Ecuador

### Abstract

We present the first record of the freshwater gastropod *Stenophysa marmorata* in Loja, Ecuador. Specimens were collected in the rivers of the urban zone in Loja city, between 2019 and 2020, through techniques such as manual collection and use D-net for aquatic invertebrate sampling. *Stenophysa marmorata* is an introduced and invasive species in many parts of the world.

**Keywords:** Ecuador, rivers, freshwater mollusks, urban zone, bioindicators, invasive species

### Resumen

Presentamos el primer registro del gasterópodo dulceacuícola *Stenophysa marmorata* en Loja, Ecuador. Los especímenes fueron colectados en los ríos del casco urbano de la ciudad de Loja, entre 2019 y 2020, a través de la aplicación de técnicas como colecta manual y uso de red tipo D para muestreo de macroinvertebrados. *Stenophysa marmorata* es una especie introducida e invasora en varias partes del mundo.

**Palabras clave:** Ecuador, ríos, moluscos dulceacuícolas, zona urbana, bioindicadores, especies invasoras

*Stenophysa marmorata* es una especie exótica para Ecuador, con rango de distribución amplio, presente a lo largo de América y África [1-5]. La especie está catalogada como colonizadora exitosa y se le encuentra en sustratos pedregosos o fangosos, ricos en materia orgánica [3,6,7].

En Ecuador, en las lagunas de Mapasingue en Guayaquil, se ha reportado la presencia de varias especies nativas de la familia Physidae. Un ejemplo es *Mexinauta peruvianus*, Gray, 1828, y sinónima de *Aplecta gualbertoi*, Cousin, 188. Otro ejemplo, son *Physa acuta*,



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Elisa Bonaccorso

Recibido /  
Received:  
23/12/2021

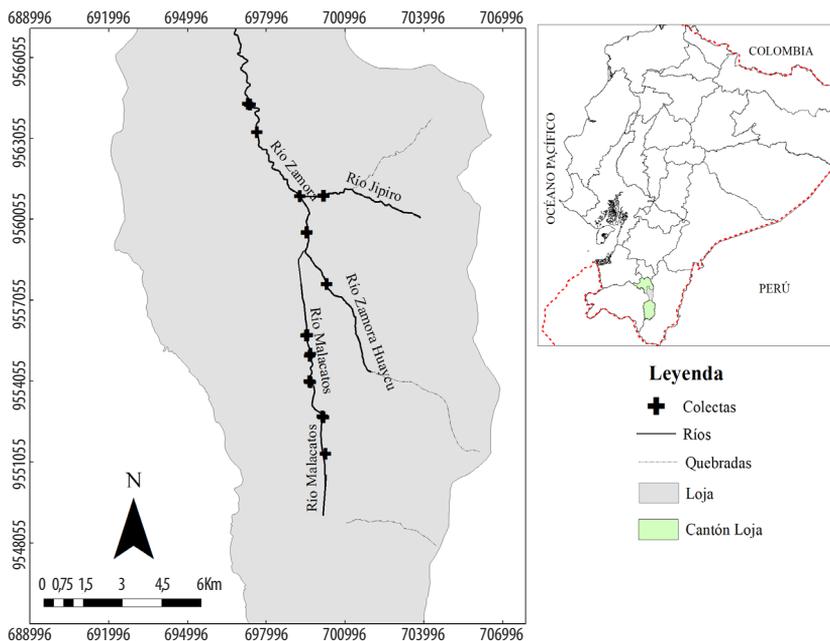
Aceptado /  
Accepted:  
20/06/2022

Publicado en línea /  
Published online:  
12/12/2022

Draparnaud, 1805 y *P. cubensis*, Pfeiffer, 1839, que se encuentran en tributarios del río San Pedro, Pichincha [8,9,10,11]. Asimismo, se han registrado especies de moluscos dulceacuícolas nativas e introducidas de esta familia en las provincias de Imbabura y Pichincha [12,13].

Existen también reportes previos de *Physa* spp., encontrados en zonas eutróficas del río Itambi, cuenca del lago San Pablo en la provincia de Imbabura, así como en ríos de Pichincha [14]. Sin embargo, estos registros no tienen mayor precisión taxonómica, ya que no se analizaron las partes blandas para determinación de la especie debido al incipiente estado de conocimiento malacológico en su momento [12]. Es así que *Physa* spp. morfológicamente pertenecen a *S. marmorata* por una errónea identificación.

Para este estudio, se realizaron dos muestreos durante noviembre y diciembre de 2019, y un tercero en los meses de julio y agosto de 2020, en tres quebradas (WGS84 17S 702565, 9554182; 701065, 9548819; 703588, 9562898) y cuatro ríos (WGS84 17S 701400, 9556287; 699477, 9558937; 700223, 9551434; 700207, 9560916) que rodean a la ciudad de Loja (Fig. 1). Con base en el protocolo de Duncan, se aplicó la técnica de "Red de patada", misma que consiste en remover el sustrato del fondo del río y posteriormente realizar la búsqueda de los individuos con la ayuda de tamices. Se realizó la búsqueda y colecta manual en piedras y lugares con vegetación y materia orgánica abundante [15,16].





En total se colectaron 36 ejemplares, que, según los rangos de tamaño, pueden corresponder a juveniles y adultos. Estos especímenes fueron medidos, pesados y fotografiados para su posterior identificación (Tabla 1). Para ello se analizaron las características morfológicas de la especie, específicamente la conchilla y partes blandas externas. La taxonomía de los especímenes fue determinada por referencias bibliográficas, registros históricos y actuales, comparación con la colección de referencia del autor MCR, con la colección del Instituto Nacional de Biodiversidad, INABIO, y datos obtenidos mayormente de MolluscaBase [17]. Los individuos colectados reposan en el Museo Zoología de la Universidad Técnica Particular de Loja, bajo los números de catalogo MUTPL-Macros-00122.1, MUTPL-Macros-00122.2, MUTPL-Macros-00122.3, MUTPL-Macros-00122.4 y MUTPL-Macros-00123.5.

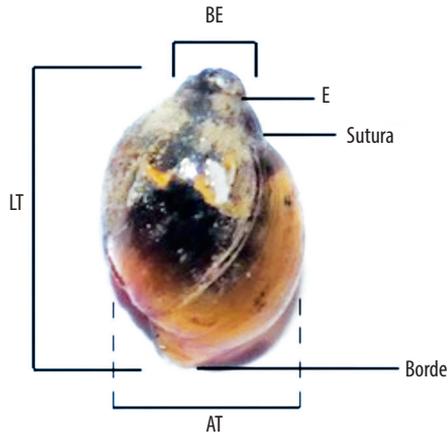
**Tabla 1.** Datos morfométricos de *Stenophysa marmorata*. Todas las medidas pertenecen a la parte externa o conchilla de los individuos de *S. marmorata*. Por el tamaño de los especímenes estos pueden ser juveniles o adultos. Las medidas corresponden a 12 de los 36 individuos colectados.

	Medidas												Media	Desviación estándar
Largo Total (mm)	5	2,4	7	4	3	5,7	7,2	5,1	4	7	4	2,9	4,77	1,67
Ancho Total (mm)	2,2	1,9	3,3	2	2	2,2	3	3,1	2	4	2,1	2	2,48	0,68
Longitud de Espira (mm)	2	1	2	1	1	2	2,2	2,1	1,4	3,5	2	1,6	1,81	0,70
Base de Espira (mm)	1,3	0,9	2	1,1	1	2	2,1	1,4	1	1,1	1	1	1,32	0,44

Los 36 especímenes colectados fueron identificados como *Stenophysa marmorata* según Guilding [1]. Esta especie pertenece a la familia Physidae, subclase Pulmonata, clase Gastrópoda (Fig. 2). Presenta una conchilla frágil, de superficie lisa, brillante y translúcida, de forma ovoide con cierto grado de polimorfismo. Es importante destacar que una de las características de la familia Physidae es poseer una conchilla con apertura hacia la izquierda, tal como se identificó en los especímenes [18]. La espiral representa el 13,67% de la longitud total; además, la conchilla presenta anfractos medianamente altos, poco convexos y con sutura superficial y apertura alta, con labio externo afilado (Fig. 3) [7,19]. Vale la pena mencionar que, junto a algunos individuos identificados en los sitios de muestreo, se encontraron cápsulas de huevos que contenían entre 10 y 30 huevos en su interior (Fig. 4).



**Figura 2.** *Stenophysa marmorata*. A, B, C diferentes individuos de la especie estudiada. a) largo total del individuo y b) ancho total.



**Figura 3.** Conchilla, morfología externa. Medidas para la descripción de la conchilla de *Stenophysa cf marmorata*. Vista dorsal: Ancho total (AT), Largo total (LT), Base de la espira (B), Longitud de la espira (BE) y Borde.



**Figura 4.** Cápsula de huevos de *Stenophysa marmorata*. Cápsula exterior tipo C gelatinosa y viscosa, adherida a la roca.



En las zonas muestreadas de Loja, no se encontró otra especie de molusco junto a *Stenophysa marmorata*. La presencia de esta única especie podría resumirse en su naturaleza colonizadora, alta capacidad de adaptación a ecosistemas degradados, facilidad para conseguir alimento y reproducirse. El éxito de supervivencia de esta especie conlleva al desplazamiento de otras menos resistentes, las mismas que requieren de nichos específicos y menos alterados para sobrevivir [20,21,5]. Además, varias especies de la familia Physidae habitan en aguas mesotróficas y son indicadores de contaminación [12,22].

Es fundamental coordinar y aunar esfuerzos para el estudio de esta y otras especies de moluscos dulceacuícolas presentes en Ecuador. También es importante destacar su potencial como posibles bioindicadores de calidad de agua, e identificar especies invasoras, como es el caso de *Stenophysa marmorata* y especies de moluscos dulceacuícolas amenazadas o en peligro de desaparecer. En este sentido, en el capítulo IV de Lasso et al. [23], se menciona que más del 50% de las especies endémicas de los Andes Tropicales aparecen en la Lista Roja con datos insuficientes según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN [23].

## AGRADECIMIENTOS

La colecta de los especímenes se realizó bajo permiso de Investigación MAE-DNB-CM-2015-0016 otorgado por el Ministerio del Ambiente al Departamento de Ciencias Naturales de la Universidad Técnica Particular de Loja. Agradecemos a Anna Chase, Matt Hill (Universidad de Idaho) e Ignacio Agudo (Avulsos malacológicos) quienes también apoyaron en la identificación de esta especie. Finalmente agradecemos al personal del Museo de Zoología de la UTPL por la recepción de las muestras.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Gabriela Palacio, Verónica Iñiguez y Modesto Correoso concibieron la investigación; Modesto Correoso y Gabriela Palacio redactaron el manuscrito; Gabriela Palacio realizó el trabajo de campo y se encargó de la producción de tablas y figuras; Modesto Correoso se encargó de la supervisión del manuscrito, de la validación y verificación de los resultados; Verónica Iñiguez y Modesto Correoso de la revisión crítica del contenido.

## CONFLICTO DE INTERÉS

No existen conflictos de intereses que revelar. Todos los autores declaran que no hay conflicto de interés alguno.

## REFERENCIAS

- [1] Guilding, I. (1828). Observations on the zoology of the Caribbean Islands. *The Zoological Journal*, 3, 527–544. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/27486053#page/555/mode/1up>
- [2] GBIF. (2021). *Distribución Stenophysa marmorata*. GeoCAT. Recuperado de <http://geocat.kew.org/editor>
- [3] Linares, E. L., C. A. Lasso, M. L. Vera-Ardila y M. A. Morales-Betancourt. 2018. XVII. Moluscos dulceacuícolas de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. doi: <http://doi.org/10.21068/a2018n03>
- [4] Ramírez, R., Paredes, C. y Arenas, J. (2003). Moluscos del Perú. *Biología Tropical*, 73(3), 171–175. doi: <https://doi.org/10.21521/mw.5652>
- [5] Taylor, D. W. (2003). Introduction to Physidae (Gastropoda: Hygrophila); biogeography, classification, morphology. *Revista de Biología Tropical*, 51(Suplemento 1), 1–287. doi: <https://doi.org/10.15517/rbt.v51i1.26340>
- [6] Strong, E. E., Gargominy, O., Ponder, W. F. y Bouchet, P. (2008). Global diversity of gastropods (Gastropoda; Mollusca) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1), 149–166. doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9012-6>
- [7] Núñez, V. (2011). Revisión de dos especies de Physidae. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(1), 93–108. doi: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.1.1193>
- [8] MolluscaBase. (2000). Mexinauta Peruvianus (JE Gray, 1828). Recuperado de: <https://molluscabase.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1286908#links>
- [9] Cousin, A. (1887). Faune malacologique de la Republique de L'Equateur. *Bull. Soc. Zool de Fr.*, 12(1).
- [10] Paraense, W. L. (2003). Planorbidae, Lymnaeidae and Physidae of Peru (Mollusca: Basommatophora). *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 98(6), 767–771. doi: <https://doi.org/10.1590/S0074-02762003000600010>
- [11] Pointier, J. P., David, P. y Jarne, P. (2005). Biological invasions: the case of planorbid snails. *Journal of Helminthology*, 79(3), 249–256. doi: <https://doi.org/10.1079/joh.2005292>
- [12] Correoso, M. (2008). *Los Moluscos terrestres y fluviales del Ecuador continental. La Biodiversidad desconocida*. SIMBIOE.
- [13] Correoso, M., Coello, G., Arrébola, J. y Martini, L. (2015). *Pomacea canaliculata, plaga del arroz en Ecuador*. Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10170/3/Pomacea%20Canaliculata%2C%20plaga%20de%20arroz%20en%20el%20ecuador.pdf>
- [14] Carrera, P. y Gunkel, G. (2003). Ecology of a high Andean stream, Rio Itambi, Otavalo, Ecuador. *Limnologia*, 33(1), 29–43. doi: [https://doi.org/10.1016/S0075-9511\(03\)80005-1](https://doi.org/10.1016/S0075-9511(03)80005-1)
- [15] Duncan, N. (2008). *Survey Protocol for Aquatic Mollusk Species: Preliminary Inventory & Presence/Absence Sampling*, Version 3.1. July, 52.
- [16] Hernández, M., Álvarez, L., Martínez, D., Maceira, D., Fernández, A. y Espinosa, J. (2017). Capítulo 11. Moluscos terrestres y dulceacuícolas. En M. Carlos y C. Daryl (Eds.), *Diversidad Biológica de Cuba. Métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas* (p. 408). Recuperado de [https://www.undp.org/content/dam/cuba/docs/MedioAmbiente y Energia/Publicaciones/Metodos \\_Inventario\\_Monitoreo.pdf](https://www.undp.org/content/dam/cuba/docs/MedioAmbiente y Energia/Publicaciones/Metodos _Inventario_Monitoreo.pdf)
- [17] MolluscaBase. (2021). *Physa marmorata* (Guilding, 1829). Recuperado de <https://www.molluscabase.org/aphia.php?p=taxdetails&id=848621>
- [18] De Marco, S., Vega, E. y Bellagamba, P. (2011). *Reserva natural de Puerto Mar del Plata, un oasis urbano de vida silvestre*. (Vol. 148).
- [19] Paraense, W. L. (1986). *Physa marmorata* Guilding, 1828 (Pulmonata: Physidae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 81(4). doi: <https://doi.org/10.1590/S0074-02761986000400014>
- [20] Dana, P. (2000). *Aplexa marmorata* (Guilding, 1828) (Basommatophora: Physidae) - an invasive freshwater snail in South Africa. Pelisa Dana. March. <http://hdl.handle.net/10413/3691>
- [21] De Oliveira Dias, T. (2013). Composição da Malacofauna Limnica da Microrregião de Juiz de Fora, Zona da Mata. *MG. In Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9). doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>



- [22] Darrigran, G., Agudo-Padrón, I., Baez, P., Belz, C., Cardoso, F., Carranza, A., Collado, G., Correoso, M., Cuezco, M. G., Fabres, A., Gutiérrez Gregoric, D. E., Letelier, S., Ludwig, S., Mansur, M. C., Pastorino, G., Penchaszadeh, P., Peralta, C., Rebolledo, A., Rumi, A., . . . Damborenea, C. (2020). Non-native mollusks throughout South America: emergent patterns in an understudied continent. *Biological Invasions*, 22(3), 853–871. doi: <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02178-4>
- [23] Lasso, C. A., Correoso, M., Lopes-Lima, M., Rina, R. y Tognelli, M. F. (2016). Capítulo 4. Estado de conservación y distribución de los moluscos de agua dulce de los Andes Tropicales. En M. F. Tognelli, C. A. Lasso, C. Bota-Sierra, L. Jiménez-Segura, y N. Cox (Eds.), *Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de los Andes Tropicales*. (pp. 57-66). <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.02.es>

## Caracterización del microbioma de plantas de banano (*Musa × paradisiaca* L.) bajo sistemas de producción orgánico y convencional

Claudia G. Zapata-Ramón<sup>1</sup>, Alejandra Paladines-Montero<sup>1</sup>, Darío X. Ramírez-Villacis<sup>1,2</sup>, Antonio Leon-Reyes<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Biotecnología Agrícola y de Alimentos, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador

<sup>2</sup>Department of Biology, University of North Carolina, Chapel Hill, NC 27599 \*Autor para Correspondencia / Corresponding Author, e-mail: [aleon@usfq.edu.ec](mailto:aleon@usfq.edu.ec)

## Characterization of the banana (*Musa × paradisiaca* L.) microbiome under organic and conventional production systems

### Abstract

Banana (*Musa × paradisiaca* L.) is one of the most important farming crops in many countries around the world, while also being the most consumed fruit worldwide. In order to increase the yield and productivity of the crops, chemical fertilization is widely used as a common practice. A variety of literature has examined how soil properties change with different methods of fertilization. While the microbiome of plants has an important role in both health and productivity, few studies focus on the effects of using different agricultural management on microbiome communities. This study reports on the structure, diversity, and richness of the microbiome community in soil, rhizosphere, and leaves from banana plants under organic and conventional management. Samples were obtained from two plantation sites located in El Oro, a province in Ecuador where banana production is among the highest in the country. Analyses were based on sequencing the region V3-V4 from 16s rRNA gene for bacteria, and ITS2 region for fungi, in order to generate ASVs, DNA sequences with only one nucleotide change that differentiates them between each other, thus permitting characterization and distinction of microorganisms. The study found that the agricultural managements had a significant effect in the composition and diversity of the bacterial and fungi population. In general terms, the richness and uniformity of the microbial community was higher in the soil and rhizosphere under conventional management in comparison to the organic. The soil and rhizosphere using the organic management showed association with higher abundance of Proteobacteria, Firmicutes and Bacteroidetes, and exhibited an overrepresentation of microbial genera known as plant growth promoters and genera involved in important carbon cycle processes for the ecosystem. It was also found that various microorganisms from the same genera had different responses to both agricultural managements in soil and rhizosphere. On the other hand, the bacterial communities from leaves were more similar in both types of agricultural systems. Comprehension on how the methods of long-term cropping management systems modified the microbial diversity and structure, as shown in this study, can



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Diego Cisneros-  
Heredia & Eva O.L.  
Lantsoght

Recibido /  
Received:  
09/06/2021

Aceptado /  
Accepted:  
01/06/2022

Publicado en línea /  
Published online:  
12/12/2022



help design methods in agriculture with high profitability from banana cultivation by stimulating growth promoter bacteria and soil-borne disease suppressors.

**Keywords:** diversity, ecosystem functions, soil micro-organism, agroecosystem, agricultural management, banana, plant microbiome

## Resumen

El cultivo de banano (*Musa × paradisiaca* L.) es una de las actividades agrícolas más importantes para muchos países y es la principal fruta consumida mundialmente. La fertilización química es una de las prácticas más comunes utilizada para aumentar el rendimiento y productividad de los cultivos. Una gran cantidad de literatura ha examinado los cambios en las propiedades del suelo asociados con diferentes regímenes de fertilización. A pesar del papel fundamental del microbioma en la salud y la productividad de las plantas, los efectos de los diferentes sistemas de gestión agrícola sobre las comunidades microbianas son poco estudiados. Este estudio informa sobre la estructura, diversidad y riqueza de la comunidad microbiana del suelo, rizosfera y hoja de las plantas de banano bajo manejo orgánico y convencional. Se obtuvieron muestras de dos plantaciones ubicadas en El Oro, una de las provincias con mayor productividad bananera en Ecuador. El análisis se basó en la secuenciación de la región V3-V4 del gen del ARNr 16S para bacterias y la región ITS2 para hongos, para luego generar ASVs, que son secuencias de ADN diferenciadas entre sí por un único cambio de nucleótidos, lo que nos permitió caracterizar y distinguir a los microorganismos. Se encontró que el sistema de manejo agrícola tuvo un efecto significativo en la composición y diversidad de la población bacteriana y fúngica. En términos generales, la riqueza y uniformidad de la comunidad microbiana fue mayor en el suelo y rizosfera bajo manejo convencional en comparación con el orgánico. El suelo y la rizosfera bajo agricultura orgánica se asociaron con una mayor abundancia de Proteobacteria, Firmicutes y Bacteroidetes, y exhibieron una sobrerrepresentación de géneros microbianos conocidos como promotores del crecimiento de plantas, así como géneros involucrados en procesos importantes del ecosistema como el ciclo de carbono. También encontramos que varios microorganismos del mismo género responden diferente a los dos tipos de manejo agrícola en el suelo y la rizosfera. Por otro lado, las comunidades bacterianas en las hojas fueron más similares en ambos tipos de manejo. Comprender cómo los sistemas de gestión de cultivos a largo plazo modifican la diversidad y la estructura microbiana, como se presenta en esta investigación, puede ayudar a diseñar sistemas agrícolas que puedan mantener una alta rentabilidad de los cultivos de banano mediante la estimulación de bacterias promotoras del crecimiento y supresoras de las enfermedades transmitidas por el suelo.

**Palabras clave:** diversidad, microorganismos del suelo, agroecosistema, manejo agrícola, banano, microbioma vegetal



## INTRODUCCIÓN

Entre 1969 y 2015 hubo una expansión del uso de la tierra y recursos naturales destinados a la agricultura. Esto fue impulsado por las tecnologías, industrialización y globalización de la agricultura en la Revolución Verde cuando la productividad de los cultivos mejoró significativamente, creciendo más del triple [1,2]. Sin embargo, a pesar de dichas mejoras, el rendimiento se ha empezado a ralentizar, pues existe una gran presión sobre los suelos y recursos hídricos que impiden que la frontera agrícola pueda expandirse aún más [3]. Esto supone una amenaza para el abastecimiento de alimentos en cantidades ideales para una población en aumento, pues para el 2050 se estima que la población humana alcanzará los 9700 millones de personas [1].

El cultivo de banano es una de las actividades agrícolas de mayor importancia para la economía y seguridad alimentaria de varios países incluido el Ecuador. En el 2019 la superficie cosechada de banano en Ecuador fue de 183 mil hectáreas y se exportó cerca de 6,6 millones de toneladas. Las provincias de Los Ríos, El Oro y Guayas suman el 84% de la superficie total cosechada de este producto [4,5]. Sin embargo, así como todos los demás cultivos, el banano es susceptible a una serie de plagas y enfermedades que constituyen un factor limitante para su producción ocasionando grandes pérdidas económicas. Para combatir dichas amenazas se ha empleado fungicidas preventivos como mancozeb o clorotalonil y otros sistémicos como benzimidazoles, triazoles, morfolinas y estrobilurinas, que se aplican en las plantaciones con ayuda de avionetas [6]. El aumento del uso de estos químicos junto con el aporte de fertilizantes sintéticos ha incrementado la productividad del cultivo de banano [7], a costa de una creciente preocupación sobre los impactos negativos en el ambiente y salud de los trabajadores. Adicionalmente, este manejo agrícola convencional está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas, pérdida de biodiversidad, aumento de emisiones de gases de efecto invernadero y deterioro de la función del suelo [8,9].

Actualmente se busca lograr una transición hacia una agricultura que optimice las técnicas y recursos disponibles, reduciendo los impactos sobre el ambiente, y permita el desarrollo y mayor rendimiento de los cultivos. La agricultura orgánica se ha asociado a una mayor fertilidad del suelo y un alto rendimiento agrícola, con un menor impacto en el ambiente [10]. En Ecuador, en el 2018 el banano orgánico representó el 7,2% de las exportaciones y para el 2020 este aumentó a 10%. En este contexto las exigencias sanitarias de diferentes países y la tendencia saludable que cada día toma más fuerza entre los consumidores han permitido el crecimiento de la demanda del banano orgánico en el mundo [11]. Sin embargo, aún se necesita una visión más amplia sobre todos los componentes de los sistemas de producción.

Las comunidades microbianas están involucradas en una serie de servicios ecosistémicos modulando el ciclo de nutrientes e interacciones simbióticas y patógenas con las plantas, por lo que su rol en la productividad de los agroecosistemas es esencial [12,13]. Varios estudios han demostrado que la intensificación agrícola puede afectar al microbioma asociado a las plantas y como consecuencia a su rol ecosistémico [14,15]. Dada la importancia de los microorganismos en la agricultura, explorar el efecto de las prácticas agrícolas sobre la diversidad y la estructura microbiana sirve para tener un mejor entendimiento de los procesos ecosistémicos, y, de esta forma, desarrollar



sistemas de agricultura sostenible. Para esto, las tecnologías de secuenciación masiva presentan grandes oportunidades ya que permiten detectar una gran proporción de microorganismos cultivables y no cultivables [16]. El secuenciamiento de amplicones, en este caso 16s rDNA e ITS2, permite la obtención de ASVs (por sus siglas en inglés "Amplicon Sequence Variant"), que son secuencias de ADN únicas que se distinguen entre sí por un único cambio de nucleótidos. Estos se utilizan para clasificar grupos de especies encontrando variaciones biológicas y ambientales para finalmente determinar patrones ecológicos [17].

Con base en investigaciones previas llevadas a cabo en sistemas agrícolas similares, tenemos la hipótesis de que el tipo de manejo agrícola impactará significativamente la estructura, riqueza y uniformidad de comunidades fúngicas y bacterianas asociadas al banano. Para probar esta hipótesis, en este estudio se caracterizó el microbioma asociado a la rizosfera, suelo y hoja de plantas de banano, mediante secuenciación de amplicones, en dos plantaciones en la provincia del Oro: bajo sistema de producción orgánico y convencional. Para nuestro conocimiento este es el primer estudio en banano que evalúa el efecto del sistema agrícola enfocado en tres compartimentos de la planta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Selección de sitio y recolección de muestras

El muestreo se llevó a cabo en dos haciendas bananeras localizadas al sur del Ecuador en el cantón Santa Rosa, provincia de El Oro, en mayo 2019. La hacienda "Central, San José" (3,355000, -79,901611) con manejo fitosanitario orgánico desde hace 5 años, se caracteriza por usar controladores biológicos, composta y fertilizantes orgánicos. La hacienda "Cueva" (-3,359361, -79,916194) con manejo convencional por 60 años, utiliza fungicidas, insecticidas y fertilizantes sintéticos, con un incremento en la frecuencia de aplicaciones de dichos químicos (mensual) a lo largo de los años.

La recolección de muestras se realizó en los días de cosecha. Dentro de cada hacienda se seleccionaron plantas ubicadas en el centro de las plantaciones a una distancia 50 m entre sí, con mínimo 5 hojas. Las muestras de suelo se recolectaron de una ubicación al azar alrededor de la planta a una distancia de 50 cm y una profundidad de 20 a 30 cm. Para obtener las muestras de rizosfera, las raíces se retiraron del suelo con una pala a una profundidad de 10 a 15 cm y luego se agitaron suavemente para limpiar la tierra que no estaba firmemente adherida, para su posterior procesamiento. Finalmente, para las muestras de las hojas, se seleccionó el tercio medio de la cuarta hoja. En total se obtuvieron cuatro muestras de suelo, cuatro de rizosfera y cuatro de hojas. Todas las muestras se colocaron en bolsas de polietileno y se guardaron en una nevera portátil hasta su transporte al laboratorio. En este estudio, los diferentes órganos o compartimentos analizados (suelo, rizosfera y hoja) se denominaron como "fracciones" de la planta.

### Procesamiento de muestras y extracción de DNA

Se midieron cuatro parámetros químicos (K, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, NO<sup>3</sup>) y conductividad de la fracción suelo. Para esto se tomó 25 gramos de cada muestra de suelo previamente recolectada



y se colocó sobre un filtro, se roció agua destilada sobre la muestra y se recuperaron dos gotas (0,6 ml) del líquido resultante para luego colocarlas en los sensores de los medidores de bolsillo LAQUATwin de HORIBA®.

Las hojas se desinfectaron superficialmente sumergiendo pedazos de hoja de 2 x 2 cm [18] en una solución de NaClO 10% y Tween 0,1% por dos minutos. Los residuos del desinfectante se lavaron con dH<sub>2</sub>O durante dos minutos [19]. Las muestras se congelaron con nitrógeno líquido y se liofilizaron para luego ser colocadas en una solución enzimática (Macerozima 0,1%, Celulasa 1%, 0,7 M de D-Manitol, 5 mM de MES, 9 μM de Cloruro de calcio dihidratado, 65 μM de Fosfato diácido de potasio, pH 5,7) en una relación 5:1. Se incubó en un agitador a 28 °C, 125 rpm, durante 48 horas. Posteriormente, se realizó tres centrifugaciones seriadas a 500 rcf por 5 min, rescatando el sobrenadante, y otra a 3000 rcf por 20 min. El pellet obtenido, se resuspendió con PBS y una vez colocado en tubos Eppendorf 1,5 ml, se centrifugó una última vez a 13 000 rpm por 1 min. Se descartó el sobrenadante y se conservó a -20 °C [20].

Para obtener la rizosfera, las raíces se colocaron en tubos Falcon con PBS, y se agitó en el vortex por 10 min para desprender la rizosfera. Se extrajeron las raíces del tubo y se centrifugó a 500 rcf durante 10 min. Se descartó el sobrenadante y se conservó a -20 °C [21].

La extracción de ADN de la comunidad microbiana de las tres fracciones de la planta (raíz, suelo y rizosfera) se realizó con el kit comercial DNeasy Powersoil® según las instrucciones del fabricante (Qiagen, Hilden, Alemania). La concentración y calidad del ADN extraído se verificó con el fluorómetro Qubit 4 (Invitrogen, Thermo Fisher Scientific, USA) y electroforesis en gel de agarosa.

## Preparación de las librerías y secuenciamiento

Se amplificó la región V3–V4 del gen 16S rRNA usando los cebadores 338F (5'-ACTCTACTCGGGAGGCGACA-3') y 806R (5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3'). Se añadieron dos barcodes y seis cambios en marcos de lectura en el extremo 5' de los cebadores [22]. Cada reacción de PCR se realizó por triplicado, cada una incluyó una mezcla única de tres cebadores con cambio de marco de lectura para cada plato. El protocolo de PCR se realizó con 5 μl de Kapa Enhancers, 5 μl de Kapa Buffer A, 1,25 μl de cada *primer* (5 μM) y 0,375 μl de una mezcla de ácidos nucleicos peptídicos bloqueadores de genes de ARNr, 0,5 μl de Kapa dNTPs, 0,2 μl de Kapa Robust Taq (Kapa Biosystems, Wilmington, MA), 8 μl de dH<sub>2</sub>O y 5 μl ADN. Los ciclos de temperatura fueron: 95 °C durante 60 segundos, 24 ciclos a 95 °C por 15 segundos, 78 °C durante 10 segundos, 50 °C por 30 segundos, 72 °C por 30 segundos y finalmente, 4 °C hasta su uso [22]. Para la purificación de amplicones se usaron perlas magnéticas AMPure XP (Beckman Coulter, Brea, CA) y luego se cuantificaron con el fluorómetro Qubit 2.0 (Invitrogen, Carlsbad, CA).

Para la amplificación de la región ITS2 se usaron los cebadores ITS1-F (5'-CTTGGTCATTAGAGGAAGTAA-3') e ITS2 (5'-GCTGCGTCTTCATCGATGC-3'). Las muestras de ADN se diluyeron a concentraciones de 3,5 ng μl<sup>-1</sup>. Se prepararon reacciones por triplicado compuestas por 10 ng de ADN, 1 U de buffer, albumina de suero bovino al 0,3%, 2 mM de Cloruro de magnesio 200 μM de dNTPs, 300 nM de cada *primer*, y 2 U de la polimerasa DFS-Taq DNA (Bioron, Ludwigshafen, Alemania). Los ciclos de temperatura fueron: 2 minutos a



94 °C, 25 ciclos a 94 °C por 30 segundos, 55°C durante 30 segundos, 72 °C por 30 segundos, y 10 minutos a 72 °C para finalizar [22]. Los productos de PCR pasaron a una purificación enzimática con exonucleasas. Se realizó una segunda amplificación por triplicado con 3 µl de los productos de PCR purificados y cebadores con barcodes específicos para las muestras con ciclos bajo las condiciones previamente mencionadas [22]. Los amplicones fueron purificados con el kit Agencourt AMPure XP (Beckman Coulter, Krefeld, Germany).

Finalmente, los amplicones de bacterias y hongos se unieron en proporciones iguales y fueron diluidas hasta obtener una concentración de 10 pM por secuenciamiento, mismo que se llevó a cabo en la plataforma de Illumina MiSeq (Illumina, San Diego, CA) usando el kit 600-cycle V3 [22], en las instalaciones de la Universidad de Carolina del Norte.

### Análisis bioinformático

Las secuencias obtenidas de la región 16S se clasificaron por muestras según sus códigos de identificación y se eliminaron adaptadores y cebadores usando MT-Toolbox [23]. Las secuencias procesadas se filtraron en Sickle eliminando aquellas de baja calidad (Q scores < 20) y con lecturas menores a 1000 [24]. Las secuencias resultantes se colapsaron en ASVs con ayuda del paquete DADA2 en R v4.0.2. Dichos ASVs se clasificaron taxonómicamente usando el método naïve Bayes kmer contra la base de datos Silva v132 generando finalmente la tabla de ASVs [25]. Las secuencias de la región ITS2 se procesaron de igual manera. Sin embargo, para la asignación taxonómica de estas secuencias se utilizó la base de datos UNITE con el paquete MOTHUR [25]. Se obtuvo un total de 233 595 lecturas de la región V3-V4 16s rRNA para bacterias y 1670504 lecturas de la región ITS2 para hongos de 12 muestras (dos tipos de manejo, tres fracciones de la planta, dos réplicas). Luego de normalizar los datos, 28 800 lecturas de bacterias y 30 0000 de hongos fueron retenidas para el análisis. Las secuencias de alta calidad generaron 2190 ASVs para bacterias y 1118 ASVs para hongos. Todos los datos se encuentran depositados en [https://github.com/darioxr/ACI\\_banano\\_cultivo](https://github.com/darioxr/ACI_banano_cultivo)

### Análisis estadísticos

Se comparó las comunidades microbianas entre las muestras usando tres métricas amplias: diversidad, composición y abundancia con los paquetes OhChibi y vegan en R. Se calculó Chao1, Inverso de Simpson e Evenness de las comunidades de bacterias y hongos como medida de diversidad alfa. Asimismo, se probó la similitud de la composición microbiana de las múltiples fracciones usando un análisis de coordenadas principales (PcoA) junto con PERMANOVA para calcular la variación en la β-diversidad explicada por la variable fracción. Para maximizar la discriminación entre los diferentes sistemas agrícolas, orgánico y convencional, se usó un análisis canónico de coordenadas principales (CAP) en base a las matrices de disimilitud Bray-Curtis. Se llevaron a cabo ordenaciones separadas para bacterias y hongos. También se analizaron las abundancias diferenciales para explorar que taxones contribuyen a la variación en la comunidad, tanto a nivel de filo para bacterias como a nivel de clase para hongos [26,27]. El paquete VennDiagram se utilizó para construir diagramas de Venn de los dos tipos de manejo por cada fracción para observar el número de ASVs únicos y compartidos entre los diferentes sistemas agrícolas [28]. Finalmente, se realizaron mapas de calor usando el paquete pheatmap, para explorar cambios en las comunidades microbianas en cada fracción según el tipo de manejo a una escala taxonómica más fina [29].

## RESULTADOS

### Sistemas de manejo agrícola y propiedades físico-químicas del suelo

Se encontró que la concentración de los parámetros K, Na<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ppm) y conductividad (μS/cm) fueron mayores en el sistema agrícola convencional, mientras que la concentración de Ca<sup>2+</sup> (ppm) fue ligeramente mayor en el manejo orgánico (Tabla 1).

**Tabla 1.** Concentración de los parámetros físico-químicos de las muestras de suelo analizadas.

Fracción	Suelo		
	Manejo agrícola	Convencional	Orgánico
K		10 ppm	9,5 ppm
Ca <sup>2+</sup>		40,5 ppm	50 ppm
Na <sup>+</sup>		33,5 ppm	16,5 ppm
NO <sub>3</sub>		86,5 ppm	63,5 ppm
Conductividad		0,00037 μS/cm	0,000271 μS/cm

### Efecto de las diferentes fracciones y regímenes de fertilización sobre la diversidad alfa

Tanto la diversidad alfa de las comunidades de bacterias como de hongos, se vio afectada según el órgano de la planta analizado (fracción). Los índices de diversidad Chao1, Inverso de Simpson e Eveness fueron mayores en la rizosfera, seguida del suelo y finalmente la hoja, a excepción del Inverso de Simpson en la comunidad de los hongos el cual fue mayor en suelo (Tablas 2–3). Por otro lado, el efecto del tipo de manejo agrícola sobre la diversidad alfa de las comunidades bacterianas y fúngicas se analizó por separado para cada fracción. Se observó que los tres índices analizados mostraron consistentemente una mayor diversidad alfa en el manejo convencional en comparación con el orgánico, en las fracciones rizosfera y suelo. Al evaluar las hojas, los índices Inv Simpson e Eveness, excluyendo a Chao1, respaldaron una mayor diversidad bacteriana en el manejo orgánico, mientras que en el caso de la comunidad fúngica de la hoja dichos índices fueron mayores en el manejo convencional (Tablas 2–3).

**Tabla 2.** Parámetros de α-diversidad para la comunidad de bacterias determinados para los dos tipos de manejo dentro de cada fracción.

Fracción	Tipo de manejo	Chao 1	Inv Simpson	Eveness
Suelo	Convencional	473,1	188,6	0,9
	Orgánico	148,5	22,6	0,8
Rizosfera	Convencional	525,7	166,4	0,9
	Orgánico	267,4	81,0	0,9
Hoja	Convencional	<b>207,4</b>	3,9	0,4
	Orgánico	110,3	<b>4,3</b>	<b>0,4</b>

**Tabla 3.** Parámetros de  $\alpha$ -diversidad para la comunidad de hongos determinados para los dos tipos de manejo agrícola dentro de cada fracción.

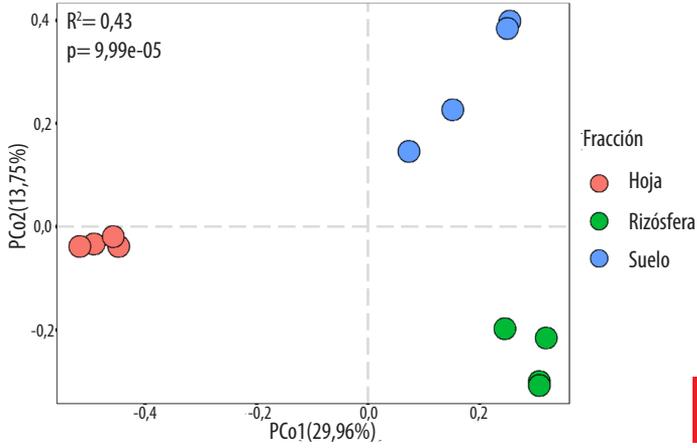
Fracción	Tipo de manejo	Chao 1	InvSimpson	Eveness
Suelo	<b>Convencional</b>	352,8	25,3	0,7
	Orgánico	85,5	23,1	0,9
Rizosfera	<b>Convencional</b>	284,7	14,5	0,8
	Orgánico	174,5	22,9	0,9
Hoja	<b>Convencional</b>	34,5	<b>12,4</b>	<b>0,7</b>
	Orgánico	<b>82,5</b>	9,4	0,6

### Efecto de las diferentes fracciones y regímenes de fertilización sobre la diversidad beta

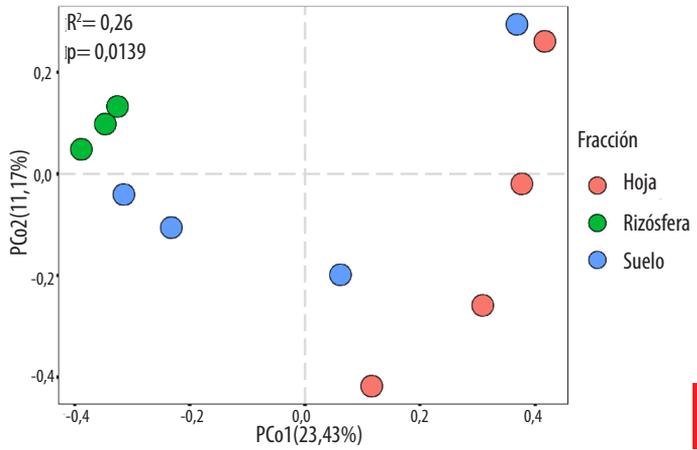
Los cambios en la diversidad beta de la comunidad microbiana fueron evaluados calculando las disimilitudes de Bray-Curtis. Se encontró que las comunidades bacterianas se separaron en clusters diferentes según los órganos de la planta. La coordenada 1, que representó el 29,9% de la variación, separó las fracciones subterráneas (rizosfera y suelo) de la aérea (hoja). El análisis PERMANOVA mostró que la variable fracción tuvo un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la composición de la comunidad de bacterias asociadas a las plantas de banano explicando el 43% de la variación (Fig. 1A).

En el caso de la comunidad fúngica, este efecto fue menor pero igualmente significativo ( $p < 0,05$ ) y se observó que los clusters de las distintas fracciones se encuentran más dispersos. El PERMANOVA corroboró las observaciones mostrando que la variación explicada por la variable fracción fue de 26% (Fig. 1B).

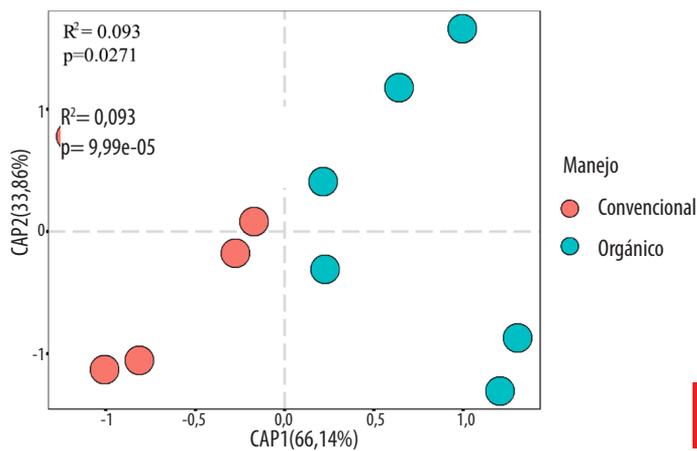
Mediante análisis canónico de coordenadas principales (CAP), se observó que el tipo de manejo agrícola tuvo un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre las comunidades de bacterias y hongos, y fue mayor para los hongos con 11% de varianza en comparación con el 9,3% de varianza para la comunidad bacteriana. Al observar las gráficas, se identifican dos clusters según el tipo de manejo separados por la coordenada 1 para ambas comunidades microbianas (Fig. 1C–1D).



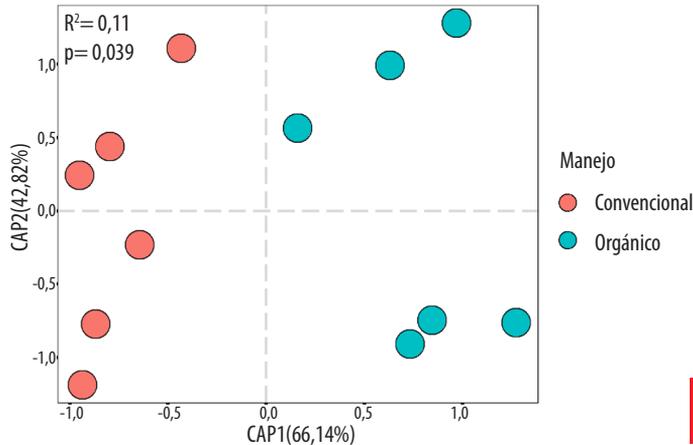
A



B



C

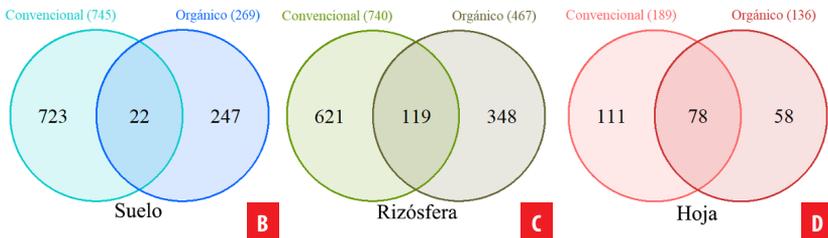
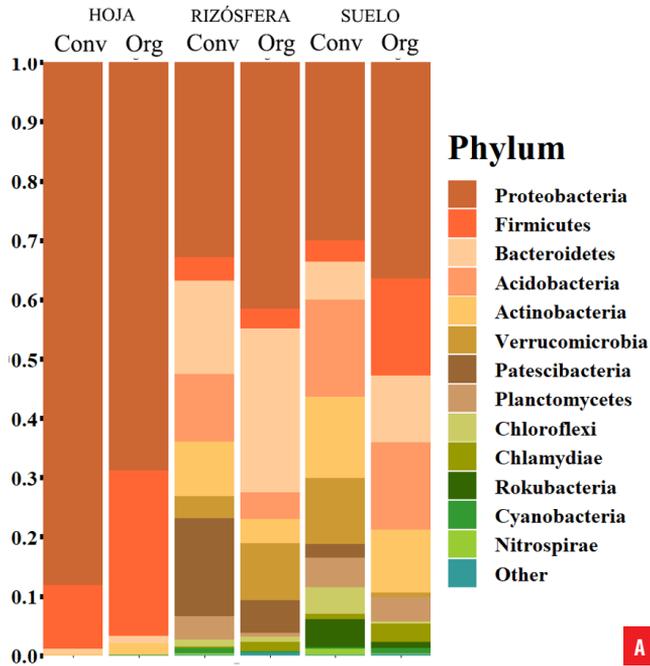


**Figura 1.** Efecto del tipo de la fracción y tipo de manejo en la estructura de las comunidades bacterianas y fúngicas. Ordenaciones PCo en base a disimilitudes Bray-Curtis para A) bacterias y B) Hongos. La varianza explicada por cada coordenada está colocada en paréntesis. Ordenaciones CAP de comunidades C) de bacterias y D) de hongos maximizando la discriminación entre los diferentes sistemas agrícolas, orgánico y convencional. La correlación canónica de cada eje CAP se da entre paréntesis. La varianza explicada se encuentra en la esquina superior izquierda (con 95% de intervalo de confianza, significancia evaluada con 104 permutaciones).

## Composición de bacterias y hongos en las diferentes fracciones analizadas y manejos agrícolas

La abundancia relativa de las bacterias fue investigada a nivel de filo. De los 18 filos detectados, los más abundantes, independientemente del tipo de manejo o fracción, fueron Proteobacterias (49,6%), Firmicutes (11%), Bacteroidetes (10,5%), Acidobacteria (7,8%) y Actinobacteria (6,6%). La composición de filos fue similar para el suelo y rizosfera, pero en la hoja hubo una abundancia relativa predominante de Proteobacteria (78,4%) y Firmicutes (19,3%).

Dentro de cada fracción hubo cambios en la distribución de filos en función de los diferentes tipos de manejo. El manejo orgánico aumentó la abundancia relativa de Proteobacteria en el suelo y rizosfera, pero disminuyó en la hoja en comparación con el convencional. El filo Firmicutes se encontró en mayor proporción en el suelo y hoja orgánica, y en la rizosfera convencional. El manejo orgánico enriqueció a Bacteroidetes en las tres fracciones, mientras que Acidobacteria, Actinobacteria, Patescibacteria y Chloroflexi aumentaron en el suelo y rizosfera convencional (Fig. 2A). Por otro lado, el manejo convencional tuvo más cantidad de variantes de secuencia de amplicones (ASVs) o microorganismos únicos asociados a este manejo en el suelo (723 ASVs) (Fig. 32B), rizosfera (621 ASVs) (Fig. 2C) y hoja (111 ASVs) (Fig. 2D) en comparación con el orgánico (247, 348 y 58 ASVs respectivamente). La fracción con la mayor cantidad de ASVs compartidos entre ambos manejos fue la hoja (24%) seguido de la rizosfera (9,9%) y finalmente el suelo (2,7%). Finalmente, a una escala taxonómica más fina (Fig. 3) se observó que el manejo orgánico en el suelo y rizosfera tiende a enriquecer a la mayoría de ASVs, mientras que en las hojas el enriquecimiento de ASVs fue similar en ambos manejos.



**Figura 2.** Composición filogenética bacteriana asociada a los diferentes manejos agrícolas en cada fracción de la planta. Abundancia relativa de A) los filer bacterianos presentes en los manejos agrícolas, convencional (conv) y orgánico (org), en la hoja, rizosfera y suelo. Diagrama de Venn con el número de ASVs compartidos y únicos de cada manejo agrícola, orgánico y convencional, en B) el suelo C) la rizosfera y D) la hoja.

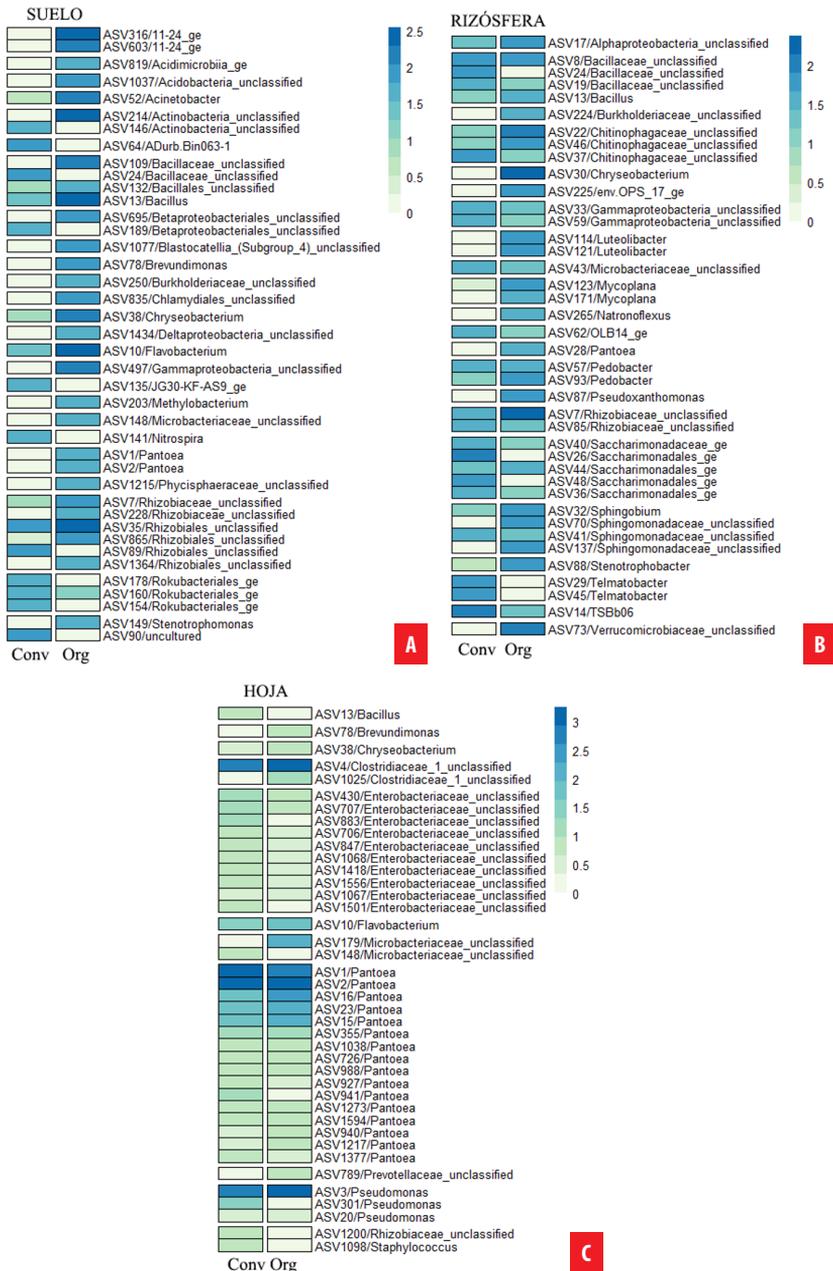
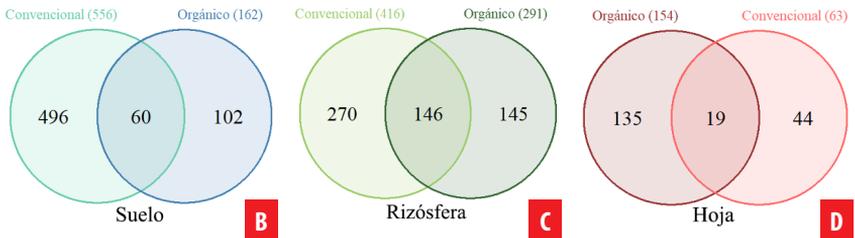
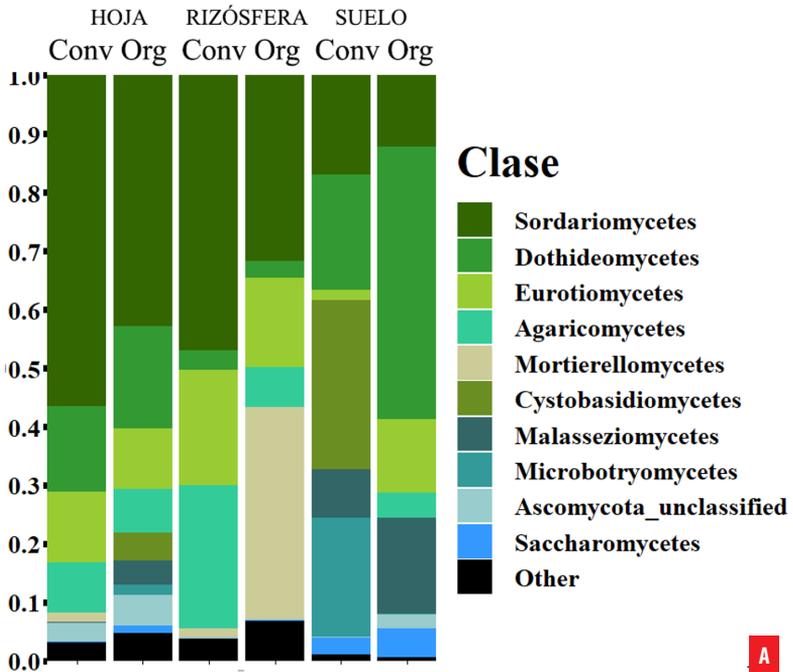


Figura 3. Heatmap con la asignación taxonómica para cada ASV de los diferentes tipos de manejo asociados a A) el suelo, B) la rizósfera y C) las hojas. El heatmap muestra los recuentos de los 40 ASVs más abundantes por muestra para la comunidad de bacterias. Los ASVs están coloreados según su contribución al recuento total (azul: aporta un alto porcentaje de AVS a la muestra; verde claro: contribuye con un bajo porcentaje de AVS).

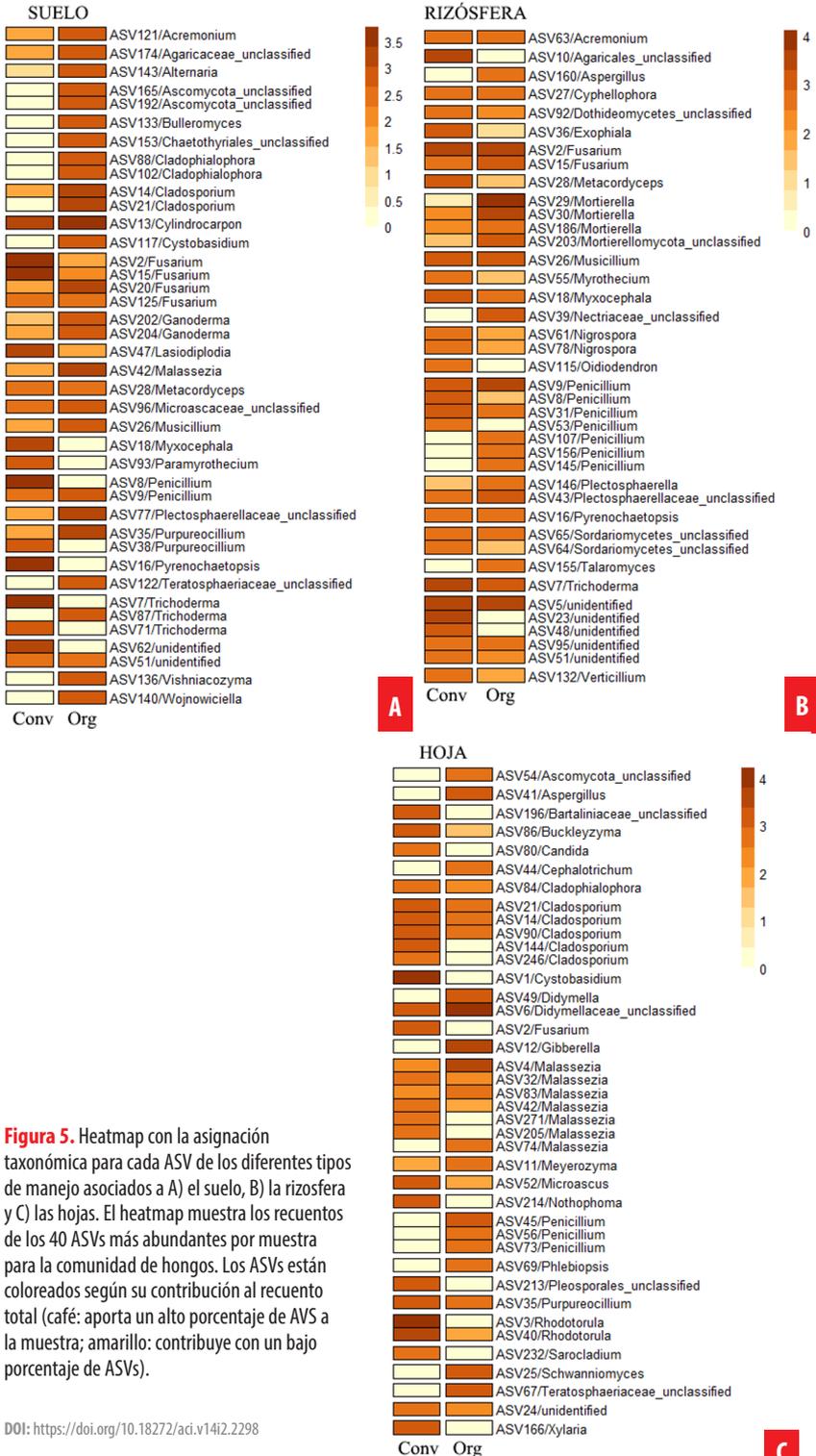


Por otro lado, la abundancia relativa de los hongos fue revisada a nivel de clase, siendo las más abundantes, independientemente de la fracción o manejo, Sordariomycetes (34,6%), Dothideomycetes (17,4%), Eurotiomycetes (11,9%), Agaricomycetes (8,6%) y Mortierellomycetes (6,5%). En este caso las abundancias relativas de las clases varían mucha más entre fracciones y entre manejos agrícolas. En general, la abundancia de Sordariomycetes se vio favorecida por el manejo convencional en las tres fracciones. Dothideomycetes estuvo enriquecido en el suelo, rizosfera y hoja bajo manejo orgánico, llegando a predominar en esta última fracción. La hoja y suelo orgánico aumentaron la abundancia de Malasseziomycetes. Finalmente, en la rizosfera, hubo un aumento evidente de la clase Agaricomycetes bajo manejo convencional, mientras que, Mortierelloctes fue muy abundante en el manejo orgánico (Fig. 4A).

En los diagramas de Venn se observó que el manejo convencional tiene más cantidad de ASVs tanto en el suelo (496 ASVs) (Fig. 4B) como en la rizosfera (270 ASVs) (Fig. 4C) mientras que la hoja tuvo más ASVs asociados al manejo orgánico (135 ASVs) (Fig. 4D). La fracción con la mayor cantidad de ASVs compartidos entre ambos manejos fue la rizosfera (20,6%) seguido de la hoja (8,76%) y finalmente el suelo (8,4%). En los mapas de calor a una escala taxonómica más fina, se observó que el enriquecimiento de ASVs es más equitativo entre ambos manejos en las tres fracciones (Fig. 5).



**Figura 4.** Composición filogenética fúngica asociada a los diferentes manejos agrícolas en cada fracción de la planta. Abundancia relativa de A) las clases fúngicas presentes en los manejos agrícolas, convencional (conv) y orgánico (org), en la hoja, rizósfera y suelo. Diagrama de Venn con el número de ASVs compartidos y únicos de cada manejo agrícola, orgánico y convencional, en B) el suelo C) la rizósfera y D) la hoja.



**Figura 5.** Heatmap con la asignación taxonómica para cada ASV de los diferentes tipos de manejo asociados a A) el suelo, B) la rizósfera y C) las hojas. El heatmap muestra los recuentos de los 40 ASVs más abundantes por muestra para la comunidad de hongos. Los ASVs están coloreados según su contribución al recuento total (café: aporta un alto porcentaje de AVS a la muestra; amarillo: contribuye con un bajo porcentaje de ASVs).

## DISCUSIÓN

Las plantas han evolucionado en conjunto con microorganismos cuyo rol en los agroecosistemas ha sido reportado extensamente en la literatura [30, 31], lo que ha permitido acumular información sobre la estructura y dinámica del microbioma vegetal. Sin embargo, aún no se conoce del todo bien cómo dichas comunidades responden a los diferentes tipos de sistemas agrícolas.

Los resultados sobre las propiedades químicas del suelo varían entre estudios según los sistemas de fertilización y protección de plantas. La química del suelo ha sido considerada como un determinante estadísticamente significativo de la estructura de la comunidad microbiana del suelo [32,15]. Sin embargo, se ha encontrado que el tipo de manejo agrícola no altera de forma significativa el contenido químico del suelo, o que la diferencia de algunos parámetros químicos entre el manejo orgánico y convencional es mínima o no significativa [33,14,34], como se encontró en este estudio; por lo que la probabilidad de que esta diferencia tenga significancia biológica es mínima [32]. Adicionalmente, en previos estudios se ha encontrado que las comunidades microbianas de sistemas de manejo agrícola con el mismo régimen de protección vegetal, mecánico o químico, comparten menos similitud que los sistemas con un estado nutricional similar, pero diferentes regímenes de protección vegetal, lo que sugiere que el componente fitosanitario tiene una importancia secundaria [32]. Por estos motivos, las enmiendas colocadas en los diferentes sistemas de manejo agrícola probablemente tengan un efecto más directo en la estructura de la comunidad microbiana que indirectamente al alterar el estado químico del suelo [35].

Varios de los factores que dan forma a las comunidades de bacterias y hongos incluyen el compartimento del hospedador, los factores ambientales y genotipo del hospedador [36]. El compartimento o fracción de la planta es probablemente la variable que induce el mayor efecto sobre la estructura de las comunidades microbianas [37,38]. En este estudio se encontró que las muestras se agrupan según la fracción de la planta analizada. Las comunidades microbianas de la parte subterránea, es decir del suelo y rizosfera, se asemejan más en comparación con las hojas (Fig. 1A). Esto no es sorprendente si se considera que los microorganismos presentes en la rizosfera se reclutan y acumulan a partir del suelo [39]. A parte de ensamblar una comunidad diferente de bacterias, las hojas tienen menos diversidad que las otras fracciones analizadas (Tabla 2–3), lo mismo que se ha reportado en un estudio en sorgo [40]. Se ha sugerido que existe una disminución progresiva de la diversidad desde suelo a la rizosfera y luego hacia la parte aérea de la planta como las flores y hojas. Además, varios estudios señalan que la comunidad microbiana en las hojas está influida fuertemente por factores específicos del huésped, mientras que los factores del suelo no afectan significativamente a esta fracción de la planta [36].

Otro de los factores igual de importantes al ensamblar las comunidades microbianas es el tipo de manejo agrícola [41]. En este estudio este efecto fue mayor para las comunidades fúngicas en comparación con las bacterias. El establecimiento de hongos en las raíces de las plantas parece verse más afectado por variaciones estocásticas y responder diferente a los factores ambientales en comparación con las bacterias [36] lo que se corroboró a nivel de clase (Fig. 4) y a escalas taxonómicas más finas (Fig. 5).



En general, se considera que el manejo orgánico alberga mayor diversidad microbiana debido a la aplicación de sustratos ricos en nutrientes como la composta y prácticas biológicas sin la interferencia de compuestos sintéticos que ayudan a generar nichos heterogéneos que pueden ser ocupados por una comunidad microbioma altamente variable, mientras que, el estrés inducido por el uso de pesticidas disminuirá la diversidad para inhibir ciertos grupos de microorganismos [42]. Sin embargo, este efecto difiere entre varios estudios según las metodologías, contextos y variables analizadas. Se ha visto, por ejemplo, que el efecto del tipo de manejo agrícola varía en cada órgano y estadio de crecimiento de la planta [37] en diferentes años de muestreo [32,43] ubicaciones geográficas [44,45], e incluso al evaluar diferentes estrategias de secuenciamiento [46]. Adicionalmente, las composiciones y tipos de fertilizantes sintéticos y orgánicos, así como estrategias de manejo varían entre estudios, pues algunos incluyen arado o tratamientos para la salud del suelo [47]. Esto incluso se aplica a estudios de macrobiota, pues se ha encontrado que los resultados varían entre grupos de organismos y paisajes dado que la estructura y heterogeneidad del paisaje son factores que influyen en la biodiversidad de las diferentes áreas geográficas [48]. Por estos motivos, los efectos del tipo de manejo agrícola sobre el microbioma asociados a los cultivos son complejos y diversos, y resulta difícil obtener conclusiones universales válidas.

En este estudio se encontró que la diversidad fue mayor en el suelo y rizosfera bajo manejo convencional. Se ha sugerido que la aplicación intensiva de composta puede llevar a la acumulación de metales pesados lo que llevará a inhibir ciertos microorganismos [49,50]. Así mismo se tiene la hipótesis de que la disponibilidad de un sustrato rico en nutrientes, como los usados en el manejo orgánico, promueve el crecimiento de organismos copiotróficos [32]. Al facilitar la reproducción intensiva de estos microorganismos, muchos otros se verán desplazados por lo que la diversidad se verá reducida, principalmente en términos de uniformidad, dada la predominancia únicamente de ciertos microorganismos. En el caso de las hojas, los índices de diversidad arrojaron diferentes resultados, por lo que no se puede concluir sobre el efecto del tipo de manejo sobre la diversidad bacteriana y fúngica en esta fracción. Esto en parte se debe a que el microbioma de la hoja está mayormente influido por la química y topología del tejido foliar y el ambiente alrededor, y menos limitado por propiedades del suelo [40], esto se ve reflejado incluso en los mapas de calor (Fig. 5) donde el enriquecimiento de los diferentes ASVs es similar en ambos manejos.

Al analizar la composición microbiana, se encontró que la abundancia de los filos Proteobacteria y Bacteroidetes es mayor en suelo y rizosfera bajo manejo orgánico, mientras que los filos Acidobacteria y Actinobacteria fueron más abundantes en el manejo convencional.

Estos resultados concuerdan parcialmente con lo esperado en base al estilo de vida putativo de estos microorganismos. Los filos Proteobacteria, Bacteroidetes y Actinobacteria son principalmente copiotróficos [51], es decir, crecen rápido en ambientes ricos en nutrientes como se considera al manejo orgánico [32]. Por otro lado, el filo Acidobacteria se lo considera oligotrófico, es decir, crecen lento en ambientes pobres en nutrientes [51] por lo que se espera que se encuentren enriquecidos bajo manejo convencional [32]. Sin embargo, no todos los miembros de un grupo taxonómico tienen las mismas características ecológicas [52] y se espera que las respuestas a los



diferentes manejos agrícolas ocurran a niveles taxonómicos bajos [42]. En efecto, en los mapas de calor (Fig. 3, 5) se observa que miembros del mismo grupo taxonómico, como Bacillaceae, responden diferente a ambos manejos agrícolas.

La hipótesis general es que la diversidad microbiana de las plantas es crítica para su integridad, funcionamiento y sostenibilidad de los ecosistemas, y una menor diversidad en el manejo orgánico puede ser desafortunada [49], sin embargo, una mayor diversidad es importante solo si está ligada a un componente de funcionalidad ecológica [53]. En este estudio se encontró que el suelo y la raíz bajo manejo orgánico tuvieron menos diversidad microbiana, pero enriquecen más ASVs asociados a funciones ecológicas importantes como es el caso de Acidobacteria, taxón reconocido como keystone en el suelo [54], asociado con la descomposición de materia orgánica lo que implica su importancia en del ciclo de carbono, además de incluir bacterias promotoras de crecimiento vegetal [55]. Burkholderia también se encuentra enriquecido en el suelo y rizosfera bajo manejo orgánico, este taxón tiene especies promotoras de crecimiento vegetal y son capaces de reducir la disponibilidad de metales pesados [56]. Finalmente, el taxón Rhizobiales, enriquecido en el suelo orgánico, ha sido reconocido por sus especies fijadoras de nitrógeno y facilitadoras de fitohormonas, esto en conjunto favorece el crecimiento de las plantas. También se ha reportado su capacidad de degradar contaminantes orgánicos y resistir a la presencia de metales pesados [57]. Por otro lado, al analizar las comunidades fúngicas (Fig. 5), se observa un enriquecimiento de Fusarium en ambos tipos de manejo, género que alberga especies patógenas para varios cultivos incluido el banano [58]. También se observó la presencia de hongos con funciones ecosistémicas importantes como Penicillium involucrado en la solubilización del fosfato [59], este se encuentra enriquecido en las hojas orgánicas donde podría estar jugando un rol de defensa induciendo el desarrollo de resistencia adquirida como se ha observado en hojas de algodón y melón [60].

Este estudio estuvo limitado por variables espacio temporales, se muestreo en un punto de tiempo único a una escala local, por lo que los resultados no se pueden generalizar a todos los sistemas agrícolas. Las conclusiones deben ser confirmadas por experimentos a largo plazo en condiciones ambientales diversas a escalas geográficas y temporales más grandes.

## CONCLUSIONES

El tipo de manejo agrícola fue importante al momento de estructurar las comunidades bacterianas y fúngica. En la hoja este efecto fue menor dado que este tejido de la planta se ve más limitado con la genética del huésped, por lo que estudios con esta temática deben enfocarse en el suelo y la rizosfera que se ven más influidos por el tipo de manejo dado que están en contacto directo con las diferentes enmiendas orgánicas e inorgánicas. El manejo convencional albergó mayor diversidad microbiana en el suelo y la raíz en comparación con el orgánico, sin embargo, este último enriqueció más bacterias y hongos con funciones ecológicas importantes.



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a los agricultores por permitir el acceso a sus tierras de cultivo y proveer la información necesaria. A la Universidad de Carolina del Norte por sus instalaciones para el secuenciamiento. Los fondos de financiamiento que posibilitaron la ejecución de este estudio provienen del Laboratorio de Agrobiotecnología, USFQ.

Esta investigación se ejecutó bajo la autorización del Ministerio del Ambiente del Ecuador por medio del Contrato Marco de Acceso a Recursos Genéticos MAE-DNB-CM-2018-0085 con el título “Estudio de Diversidad de Microorganismos de Importancia Medica, Veterinaria, Industrial, Ambiental y Agropecuaria del Ecuador”.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Claudia Zapata, Antonio León y Dario Ramírez concibieron la investigación y realizaron el diseño de la metodología. Claudia Zapata y Dario Ramirez adquirieron, analizaron e interpretaron los datos. Darío Ramírez realizó el secuenciamiento y su posterior procesamiento. Antonio León adquirió los fondos, proveyó los recursos y realizó la supervisión del estudio. Claudia Zapata redactó el manuscrito y Darío Ramírez y Antonio León realizaron críticamente el contenido y validaron los resultados. Alejandra Paladines estuvo involucrada en el trabajo de campo.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en el presente trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] FAO. (2017). *El futuro de la alimentación y agricultura: tendencias y desafíos* (I6881ES/1/02.17) <http://www.fao.org/3/i6881s/i6881s.pdf>
- [2] Khush, G. (1999). Green revolution: preparing for the 21st century. *Genome* 42(4),646-655. doi: <https://doi.org/10.1139/g99-044>
- [3] Paul, J., Choudhary, A., Suri, V., Sharma, A., Kumar, V. y Shobhna (2014). Bioresource nutrient recycling and its relationship with biofertility indicators of soil health and nutrient dynamics in rice–wheat cropping system. *Communications in soil science and plant analysis* 45(7),912-924. doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.867051>
- [4] FAO. (2020). *FAOSTAT*. Recuperado el 11 abril del 2020, desde: <http://www.fao.org/faostat/es/#data>
- [5] INEC. (2020). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua- ESPAC 2019*. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf)
- [6] Marin, D., Romero, R., Guzmán, M. y Sutton, T. (2003). Black Sigatoka: an increasing threat to banana cultivation. *Plant disease* 87(3),208-222. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.3.208>
- [7] Arvanitoyannis, I. y Mavromatis, A. (2009). Banana cultivars, cultivation practices, and physicochemical properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 49(2),113-135. doi: <https://doi.org/10.1080/10408390701764344>
- [8] Gruber, N. y Galloway, J. (2008). An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature* 451(7176),293-296. doi: <https://doi.org/10.1038/nature06592>
- [9] Yin, C., Fan, F., Song, A., Li, Z., Yu, W. y Liang, Y. (2014). Different denitrification potential of aquatic brown soil in Northeast China under inorganic and organic fertilization accompanied by distinct changes of nirK-and nirK-denitrifying bacterial community. *European journal of soil biology* 65,47-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.09.003>
- [10] Evenson, R. y Gollin, D. (2003). Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* 300(5620),758-762. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1078710>
- [11] Oportunidades y desafíos del mercado internacional para el banano orgánico (2020, Agosto 12). *Agrocalidad*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/oportunidades-y-desafios-del-mercado-internacional-para-el-banano-organico/>
- [12] Bahram, M., Hildebrand, F., Forslund, S., Anderson, J., Soudzilovskaia, N., Bodegom, P. y Bork, P. (2018). Structure and function of the global topsoil microbiome. *Nature* 560(7717),233-237. doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0386-6>
- [13] Bardgett, R. y Van Der Putten, W. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature* 515(7528),505-511. doi: <https://doi.org/10.1038/nature13855>
- [14] Pershina, E., Valkonen, J., Kurki, P., Ivanova, E., Chirak, E., Korvigo, I. y Andronov, E. (2015). Comparative analysis of prokaryotic communities associated with organic and conventional farming systems. *PLoS One* 10(12). doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145072>
- [15] Bakker, M., Looft, T., Alt, D., Delate, K. y Cambardella, C. (2018). Bulk soil bacterial community structure and function respond to long-term organic and conventional agricultural management. *Canadian journal of microbiology* 64(12),901-914. doi: <https://doi.org/10.1139/cjm-2018-0134>
- [16] Clooney, A. G., Foully, F., Sleator, R. D., O'Driscoll, A., Stanton, C., Cotter, P. D. y Claesson, M. J. (2016). Comparing apples and oranges: next generation sequencing and its impact on microbiome analysis. *PLoS one* 11(2),e0148028. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148028>
- [17] Callahan, B. J., McMurdie, P. J. y Holmes, S. P. (2017). Exact sequence variants should replace operational taxonomic units in marker-gene data analysis. *The ISME journal* 11(12),2639-2643. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.119>
- [18] Gamboa, M. A., Laureano, S. y Bayman, P. (2003). Measuring diversity of endophytic fungi in leaf fragments: does size matter? *Mycopathologia* 156(1),41-45. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1021362217723>

- [19] Lu-Irving, P., Harenčár, J., Sounart, H., Welles, S., Swope, S., Baltrus, D. y Dlugosch, K. (2019). Native and Invading Yellow Starthistle (*Centaurea solstitialis*) Microbiomes Differ in Composition and Diversity of Bacteria. *MSphere* 4(2). doi: <https://doi.org/10.1128/mSphere.00088-19>
- [20] Jiao, J., Wang, H., Zeng, Y. y Shen, Y. (2006). Enrichment for microbes living in association with plant tissues. *Journal of Applied Microbiology* 100(4),830–837. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02830.x>
- [21] Schmidt, J., Rodrigues, J., Brisson, V., Kent, A. y Gaudin, A. (2020). Impacts of directed evolution and soil management legacy on the maize rhizobiome. *Soil Biology and Biochemistry* 145,107794. doi: [tps://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107794](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107794)
- [22] Finkel, O., Salas-González, I., Castrillo, G., Spaepen, S., Law, T., Teixeira, P., Jones, C. y Dangl, J. (2019). The effects of soil phosphorus content on plant microbiota are driven by the plant phosphate starvation response. *PLOS Biology* 17(11),1–34. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000534>
- [23] Yourstone, S., Lundberg, D., Dangl, J. y Jones, C. (2014). MT-Toolbox: improved amplicon sequencing using molecule tags. *BMC bioinformatics* 15(1), 1-7. doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2105-15-284>
- [24] Joshi, N. y Sickle, F. (2011). No Title. A Sliding-Window, Adaptive, Quality-Based Trimming Tool for FastQ Files (Version 1.33). <https://github.com/najoshi/sickle>
- [25] Callahan, B., McMurdie, P., Rosen, M., Han, A., Johnson, A. y Holmes, S. (2016). DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nature Methods* 13(7), 581–583. doi: <https://doi.org/10.1038/nmeth.3869>
- [26] Oksanen, J., Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., O'hara, R. y Wagner, H. (2016). Vegan: Community Ecology Package. R Package Version. 2.0-10. CRAN. *FEMS microbiology ecology* 83(3), 607-621. <https://cran.r-project.org/soils>
- [27] Salas, I. (2019). [isaig/ochibi](https://github.com/isaig/ochibi). Github. <https://github.com/isaig/ochibi>
- [28] Chen, H. (2018). Package "VennDiagram". R Package Versión 1.6.20. CRAN. <https://cran.r-project.org/>
- [29] Kolde, R. (2019). pheatmap: Pretty Heatmaps. R Package Version 1.0.12. CRAN. <https://cran.r-project.org/>
- [30] Dos Santos, L. y Olivares, F. (2021). Plant microbiome structure and benefits for sustainable agriculture. *Current Plant Biology* 100198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2021.100198>
- [31] Schlaeppi, K. y Bulgarelli, D. (2015). The plant microbiome at work. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 28(3),212-217. doi: <https://doi.org/10.1094/MPMI-10-14-0334-FI>
- [32] Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Mäder, P. y Widmer, F. (2015). Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME journal* 9(5),1177-1194. doi: <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.210>
- [33] Li, R., Khafipour, E., Krause, D., Entz, M, de Kievit, T. y Fernando, W. (2012). Pyrosequencing reveals the influence of organic and conventional farming systems on bacterial communities. *PLoS one* 7(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051897>
- [34] Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. y Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296(5573),1694-1697. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1071148>
- [35] Bünemann, E., Schwenke, G. y Van Zwieten, L. (2006). Impact of agricultural inputs on soil organisms—a review. *Soil Research*, 44(4),379-406. doi: <https://doi.org/10.1071/SR05125>
- [36] Trivedi, P., Leach, J, Tringe, S., Sa, T. y Singh, B. (2020). Plant–microbiome interactions: From community assembly to plant health. *Nature Reviews Microbiology* 18(11),607-621. doi: <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>
- [37] Longley, R., Noel, Z., Benucci, G., Chilvers, M., Trail, F. Bonito, G. (2020). Crop Management Impacts the Soybean (*Glycine max*) Microbiome. *Frontiers in Microbiology* 11,1116. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01116>
- [38] Miura, T., Sánchez, R., Castañeda, L., Godoy, K. y Barbosa, O. (2019). Shared and unique features of bacterial communities in native forest and vineyard phyllosphere. *Ecology and evolution* 9(6),3295-3305. doi: <https://doi.org/10.1002/ece3.4949>
- [39] Qu, Q., Zhang, Z., Peijnenburg, W., Liu, W., Lu, T., Hu, B. y Qian, H. (2020). Rhizosphere microbiome assembly and its impact on plant growth. *Journal of agricultural and food chemistry* 68(18),5024-5038. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00073>

- [40] Sun, A., Jiao, X., Chen, Q., Wu, A., Zheng, Y., Lin, Y. y Hu, H. (2021). Microbial communities in crop phyllosphere and root endosphere are more resistant than soil microbiota to fertilization. *Soil Biology and Biochemistry* 153,108113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108113>
- [41] Singh, U., Choudhary, A. y Sharma, S. (2020). Comparative performance of conservation agriculture vis-a-vis organic and conventional farming, in enhancing plant attributes and rhizospheric bacterial diversity in Cajanus cajan: A field study. *European Journal of Soil Biology* 99,103197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103197>
- [42] Lupatini, M., Korthals, G., de Hollander, M., Janssens, T. y Kuramae, E. (2017). Soil microbiome is more heterogeneous in organic than in conventional farming system. *Frontiers in microbiology* 7,2064. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02064>
- [43] Zhang, J., Bei, S., Li, B., Zhang, J., Christie, P. & Li, X. (2019). Organic fertilizer, but not heavy liming, enhances banana biomass, increases soil organic carbon and modifies soil microbiota. *Applied Soil Ecology* 136,67-79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.017>
- [44] Zhang, M., Zhang, X., Zhang, L., Zeng, L., Liu, Y., Wang, X. y Ai, C. (2021). The stronger impact of inorganic nitrogen fertilization on soil bacterial community than organic fertilization in short-term condition. *Geoderma* 382,114752. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114752>
- [45] Peruzzi, E., Franke-Whittle, I. H., Kelderer, M., Ciavatta, C. y Insam, H. (2017). Microbial indication of soil health in apple orchards affected by replant disease. *Applied Soil Ecology* 119,115-127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.003>
- [46] Aparna, K., Pasha, M., Rao, D. y Krishnaraj, P. (2014). Organic amendments as ecosystem engineers: microbial, biochemical and genomic evidence of soil health improvement in a tropical arid zone field site. *Ecological engineering* 71,268-277. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.016>
- [47] Lupatini, M., Korthals, G., Roesch, L. y Kuramae, E. (2019). Long-term farming systems modulate multi-trophic responses. *Science of the Total Environment* 646,480-490. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.323>
- [48] Bengtsson, J., Ahnström, J. y Weibull, A. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of applied ecology* 42(2),261-269. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x>
- [49] Tian, W., Wang, L., Li, Y., Zhuang, K., Li, G., Zhang, J. y Xi, Y. (2015). Responses of microbial activity, abundance, and community in wheat soil after three years of heavy fertilization with manure-based compost and inorganic nitrogen. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 213,219-227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.009>
- [50] Tian, W., Zhang, Z., Hu, X., Tian, R., Zhang, J., Xiao, X. y Xi, Y. (2015). Short-term changes in total heavy metal concentration and bacterial community composition after replicated and heavy application of pig manure-based compost in an organic vegetable production system. *Biology and Fertility of Soils*, 51(5),593-603. doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1005-4>
- [51] Fierer, N., Bradford, M. A., & Jackson, R. B. (2007). Toward an ecological classification of soil bacteria. *Ecology*, 88(6),1354-1364. doi: <https://doi.org/10.1890/05-1839>
- [52] Navarrete, A., Kuramae, E., de Hollander, M., Pijl, A., van Veen, J. y Tsai, S. M. (2013). Acidobacterial community responses to agricultural management of soybean in Amazon forest soils. *FEMS Microbiology Ecology* 83(3),607-621. doi: <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12018>
- [53] Bonanomi, G., De Filippis, F., Cesarano, G., La Stora, A., Ercolini, D. y Scala, F. (2016). Organic farming induces changes in soil microbiota that affect agro-ecosystem functions. *Soil Biology and Biochemistry* 103,327-336. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.09.005>
- [54] Banerjee, S., Kirkby, C., Schmutter, D., Bissett, A., Kirkegaard, J. y Richardson, A. (2016). Network analysis reveals functional redundancy and keystone taxa amongst bacterial and fungal communities during organic matter decomposition in an arable soil. *Soil Biol. Biochem.* 97,188-198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.03.017>
- [55] Kalam, S., Basu, A., Ahmad, I., Sayyed, R., El Enshasy, H., Dailin, D. y Suriani, N. (2020). Recent understanding of soil Acidobacteria and their ecological significance: A critical review. *Frontiers in Microbiology*, 11,2712. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.580024>



- [56] Touceda, M., Brader, G., Antonielli, L., Ravindran, V., Waldner, G., Friesl-Hanl, W. y Sessitsch, A. (2015). Combined amendment of immobilizers and the plant growth-promoting strain *Burkholderia phytofirmans* PsJN favours plant growth and reduces heavy metal uptake. *Soil Biology and Biochemistry* 91,140-150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.08.038>
- [57] Teng, Y., Wang, X., Li, L., Li, Z., & Luo, Y. (2015). Rhizobia and their bio-partners as novel drivers for functional remediation in contaminated soils. *Frontiers in plant science*, 6, 32. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00032>
- [58] Ma, L., Geiser, D. M., Proctor, R. H., Rooney, A. P., O'Donnell, K., Trail, F. y Kazan, K. (2013). *Fusarium* pathogenomics. *Annual review of microbiology* 67,399-416. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>
- [59] Wakelin, S., Warren, R., Harvey, P. y Ryder, M. (2004). Phosphate solubilization by *Penicillium* spp. closely associated with wheat roots. *Biology and Fertility of Soils* 40(1),36-43. doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0750-6>
- [60] Amaresan, N., Kumar, M., Annapurna, K., Kumar, K. y Sankaranarayanan, A. (Eds.). (2020). *Beneficial Microbes in Agro-Ecology: Bacteria and Fungi*. Elsevier. Recuperado de: <https://elsevier.com/books-and-journals>

## Nuevas observaciones y ampliación en la distribución de *Stenocercus aculeatus* (Iguanidae: Tropidurinae) en el sur de Ecuador

José M. Falcón-Reibán<sup>1</sup>, Darwin Núñez<sup>2</sup>, Johe A. Sozoranga-Farez<sup>3</sup>, Juan C. Sánchez-Nivicela<sup>4,5,6</sup>

<sup>1</sup>Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas. C. de José Antonio Novais, 12, 28040 Madrid

<sup>2</sup>Naturaleza y Cultura Internacional NCI, sede Loja, Loja, Ecuador

<sup>3</sup>Universidad Estatal Amazónica UEA, sede El Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador

<sup>4</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Bogotá D.C., Colombia; Grupo de Investigación Evolución y Ecología de Fauna Neotropical

<sup>5</sup>Universidad San Francisco de Quito USFQ, Instituto de Diversidad Biológica Tropical iBIOTROP, Museo de Zoología & Laboratorio de Zoología Terrestre, Laboratorio de Zoología Terrestre y Museo de Zoología, Quito 170901, Ecuador

<sup>6</sup>Instituto Nacional de Biodiversidad INABIO, División de Herpetología, Quito, Ecuador

\*Autor para correspondencia, email: [juan.sanchezn13@gmail.com](mailto:juan.sanchezn13@gmail.com)

## New observations and expansion in the distribution of *Stenocercus aculeatus* (Iguanidae: Tropidurinae) in southern Ecuador

### Abstract

The lizard *Stenocercus aculeatus*, from the Amazonian foothill forests of Ecuador and Peru, was described from preserved scientific specimens, and its life color patterns, and other aspects of its external morphology have remained poorly known. In Ecuador, it has been scarcely observed and reported in a locality in the extreme south in Zamora Chinchipe province. In this work, based on detailed photographs, we report two new records of *S. aculeatus*, taken in foothill forests and intervened areas near the Zamora river at Zamora Chinchipe province. These records extend its distribution 62 km northeastern of its northern record. We also present information on its color patterns and photographs of specimens in life.

**Keywords:** Guagsa, Lepidosauromorpha, lizard, new records, reptile

### Resumen

El lagarto *Stenocercus aculeatus*, de los bosques piemontanos amazónicos de Ecuador y Perú, fue descrita a partir de especímenes científicos preservados, y sus patrones de coloración en vida y otros aspectos de su morfología externa son poco conocidos. En Ecuador, ha sido escasamente observado y ha sido reportado en una localidad del extremo sur, en la provincia de Zamora Chinchipe. En este trabajo, basados en fotografías detalladas, reportamos dos nuevos registros de *S. aculeatus* tomados en bosques piemontanos y áreas intervenidas cercanos al río Zamora, en la provincia de Zamora Chinchipe. Estos registros extienden la distribución de la especie en 62 km al



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Elisa Bonaccorso

Recibido /  
Received:  
03/06/2022

Aceptado /  
Accepted:  
14/10/2022

Publicado en línea /  
Published online:  
12/12/2022



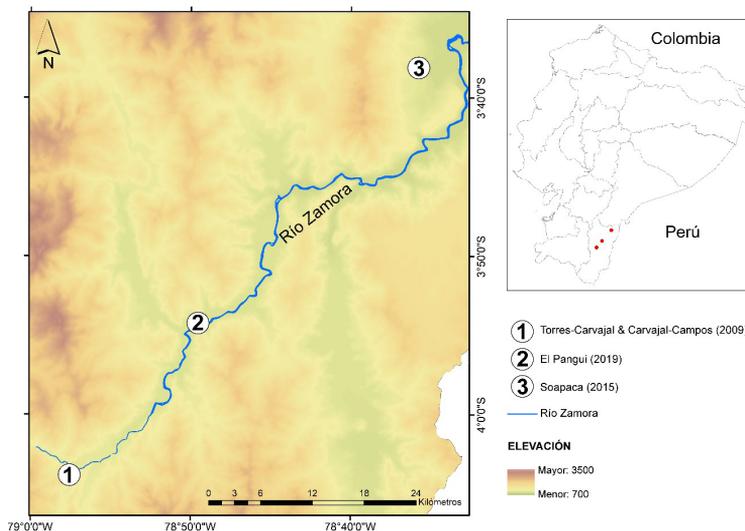
noreste de su registro más septentrional. Presentamos, además, información de sus patrones de coloración y fotografías de ejemplares en vida.

**Palabras clave:** Guagsa, Lepidosauromorpha, lagarto, nuevos registros, reptil

*Stenocercus aculeatus* [1] es un lagarto que se distribuye en los bosques piemontanos de la vertiente amazónica de los Andes de Ecuador y Perú [1–4]. En Ecuador, fue formalmente registrada con base a un ejemplar recolectado en la provincia de Zamora Chinchipe, en la localidad de Chorrillos (-4.070000, -78.960000, 925 m s. n. m.), cantón Zamora [4].

Los patrones conocidos de coloración se han descrito como un verde bronceado con flancos café y rayas verticales; rayas blancas, una que va desde el oído al brazo, otra del oído hasta el hombro y otra desde la cresta lateral al brazo [1]; dorso café con flancos claros amarillo café; un parche supraxilar, rostro y garganta negros; vientre rosa con costados gris azulados; lados de la cola con puntos azules y superficie ventral de la cola azulado; dorso café pálido; flancos, superficie dorsal de la cabeza y base de la cola, café oscuros; una línea café crema en el hombro; línea café rojiza abajo del ojo con márgenes negros; vientre café grisáceo con algo de rosa; iris café cobrizo pálido [2].

En este trabajo reportamos los hallazgos de dos expediciones realizadas en el sureste de Ecuador. La primera la llevé a cabo Darwin Núñez, en la localidad de Soapaca (-3.910176, -78.826263, 837 m s. n. m.), parroquia Panguintza, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador, el 13 de julio de 2015. La segunda la llevaron a cabo José M. Falcón y Johe Sosoranga, en la localidad de El Pangui (-3.641234, -78.597089, 879 m s. n. m.), cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador, el 15 de abril de 2019 (Fig. 1).



**Figura 1.** Mapa de observaciones de *Stenocercus aculeatus* en la provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador (puntos rojos en el recuadro de la derecha). Mapa ampliado muestra la localidad conocida y las dos nuevas observaciones (círculos blancos).

El individuo observado en Soapaca, fue un macho adulto (longitud total = 278 mm), capturado mientras atravesaba un sendero estrecho, en un área de bosque y matorral denso (Fig. 2A). El individuo observado en El Pangui también fue un macho adulto (longitud total = 248 mm), capturado durante la noche, mientras este dormía sobre una hoja de pasto a una altura aproximada de 80 cm desde el nivel del suelo. El sitio de colecta fue un campo abierto, con presencia de charcas estacionales, cercano a un pequeño parche de bosque (Fig. 2B).



**Figura 2.** Fotografías de las nuevas observaciones de *Stenocercus aculeatus*. **A)** registro de Soapaca, en 2015; **B)** registro de El Pangui, en 2019. Fotografías: Darwin Núñez y Patricio Picón, respectivamente.

El individuo observado en Soapaca (Fig. 2A), fue reconocido como *S. aculeatus* por los siguientes caracteres: i) escamas imbricadas y quilladas; ii) temporales proyectadas angularmente; iii) cresta vertebral y dorsolaterales presentes; iv) dorso amarillo verdoso con manchas transversales verde oliva; v) región latero-ventral con escamas blanquecinas; vi) manchas transversales pálidas azul turquesa; vii) extremidades y cola siguen los patrones del cuerpo; viii) la cola se torna negra hacia el extremo distal; ix) cabeza verde oliva dorsalmente, punta del hocico amarillenta, región loreal, labial y garganta rojo anaranjado con un collar gular negro que se extiende hacia la cabeza lateralmente formando un antifaz.

El individuo observado en El Pangui (Fig. 3) fue identificado por ser de tamaño medio (longitud rostro–cloaca = 83 mm) y la combinación de los siguientes caracteres: 31 escamas vertebrales; 41–44 escamas paravertebrales; 34 escamas alrededor de la mitad del cuerpo; cuatro supraoculares; hilera de supraoculares ocupa la mayor parte de la región supraocular; cinco internasales; cuatro postrostrales; cinco loreales; 16 escamas gulares; 19 subdigitales en el dedo IV de la mano; 27 subdigitales en el dedo IV del pie. A excepción de las escamas cefálicas, todas las escamas en el cuerpo están imbricadas con una quilla medial; dos temporales proyectadas angularmente; cresta vertebral proyectada notoriamente más que crestas dorsolaterales; preanales proyectadas; escamas caudales no espinosas. Cabeza verde oliva dorsalmente, punta del hocico amarillenta, región loreal, labial y garganta rojo anaranjado con un collar gular negro que se extiende hacia la cabeza lateralmente formando un antifaz; ojos café rojizo; cuerpo, extremidades y cola en vista dorsal son amarillo verdoso, con manchas transversales verde oliva, volviéndose negro hacia el extremo distal de la cola, hacia el límite con la región ventral del cuerpo y base de la cola, las escamas se tornan blanquecinas, con manchas transversales pálidas azul turquesa; vientre rosa pálido en los bordes; pecho, región central del vientre y cola en vista ventral, amarillos pálidos. El individuo fue encontrado durante la noche y presentaba una coloración amarillo-verdoso pálido sin distinción de rayas o marcas transversales, garganta y región gular pálidas.

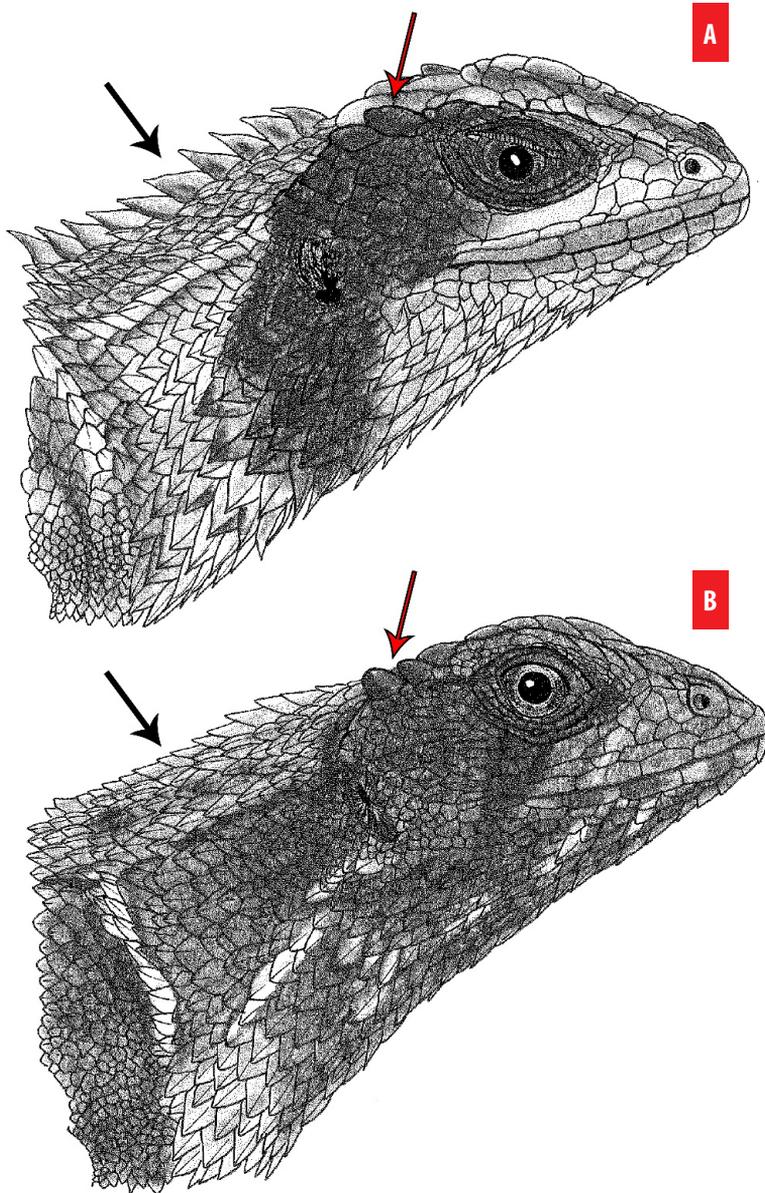


**Figura 3.** Detalles de *Stenocercus aculeatus* en vida (individuo de El Pangui). **A)** vista lateral de la cabeza, **B)** vista lateral del cuerpo, **C)** vista dorsal del cuerpo, **D)** vista ventral del cuerpo. Fotografías: Patricio Picón.

*Stenocercus aculeatus* y *S. angulifer* son similares morfológicamente por tener escamas temporales proyectadas angularmente y distribuirse en los bosques piemontanos del sureste del Ecuador, sin embargo, presentan diferencias en su lepidosis (Tabla 1). Además, *S. aculeatus* tiene crestas vertebrales más grandes y levantadas, escamas temporales más gruesas, proyectadas y de igual tamaño (Fig. 4), color amarillo verdoso y tonos claros, un antifaz y collar negro y garganta rojizo, que lo distinguen de *S. angulifer*, con coloración generalmente en tonos de café.

**Tabla 1.** Tabla comparativa de la lepidosis del individuo de *Stenocercus aculeatus* (observación de El Pangui, 2019), *S. aculeatus* y *S. angulifer*.

Lepidosis	<i>S. aculeatus</i> En este trabajo	<i>S. aculeatus</i> Torres-Carvajal (2007)	<i>S. angulifer</i> Torres-Carvajal (2007)
Vertebrales	31	31–39	37–47
Paravertebrales	41–44	41–48	37–57
Alrededor de la mitad del cuerpo	34	32–37	38–50
Supraoculares	4	4	4–5
Hilera de supraoculares	Ocupa la mayor parte de la región supraocular presente	Ocupa la mayor parte de la región supraocular presente	Ocupa la región supraocular
Internasales	5	4–5	4–8
Postrostrales	6	5–6	4–6
Loreales	5	4	2–3
Gulares	16	15–18	16–20
Subdigitales (IV Mano)	19	18–19	15–19
Subdigitales (IV Pie)	27	23–27	19–25
Temporales	2 Proyectadas angularmente	2 Proyectadas angularmente	2 Proyectadas angularmente
Cresta Vertebral	Proyectada > crestas dorsolaterales	Proyectada > crestas dorsolaterales	Proyectada > crestas dorsolaterales
Crestas dorsolaterales	Proyectadas < Cresta vertebral	Proyectadas < Cresta vertebral	Proyectadas < Cresta vertebral
Preanales	Proyectadas	Proyectadas	Proyectadas
Caudales	No espinosas	No espinosas	No espinosas
Escamas corporales	Imbricadas con quilla medial	Tamaño similar, imbricadas, quilladas	Tamaño similar.



**Figura 4.** Esquema comparativo entre **A)** *Stenocercus aculeatus* y **B)** *S. angulifer*. Cresta vertebral (flecha negra), escamas temporales (flecha roja). Ilustración: José Falcón.

Ambos registros representan las únicas observaciones luego de 7 y 11 años de su único registro en Ecuador, en 2009, y extienden la distribución de la especie 62 km al noreste de



la localidad de ese único registro previo. Los tres registros reportados hasta el momento se ubican en la cuenca del río Zamora en un rango de elevación entre 837 y 925 m s. n. m. Esta nueva información amplía la comprensión acerca de los límites de distribución y la morfología general de esta especie poco conocida y nunca antes fotografiada en vida.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Isabel Sozoranga y Luis González, por su apoyo y compañía en campo. A Patricio Picón por su colaboración en la toma de fotografías. DN agradece al Club de Ciclismo Zamora. Agradecemos el aporte de Omar Torres-Carvajal y todo el equipo del Museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (QCAZ), que brindan información valiosa para el estudio taxonómico de los reptiles ecuatorianos mediante BioWeb Ecuador-Reptiles del Ecuador.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

JMF, DN, JAS, tomaron los datos en campo, las fotografías y datos geográficos y ecológicos. JCS, JMF y DN, escribieron el manuscrito, tomaron y estimaron medidas. JCS editó las fotografías y generó el mapa. Todos los autores revisaron y editaron el manuscrito.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés en el presente trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] O'Shaughnessy, A.W.E. (1879). XXXIII. Descriptions of new species of lizards in the collection of the British Museum. *Journal of Natural History* 4(22):295–303. <https://archive.org/details/biostor-48959>
- [2] Torres-Carvajal, O. (2000). Ecuadorian lizards of the genus *Stenocercus* (Squamata: Tropiduridae). Natural History Museum The University of Kansas. *Scientific Papers* 15:1–38. doi: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.16286>
- [3] Torres-Carvajal, O. (2007). A taxonomic revision of South American *Stenocercus* (Squamata: Iguania) lizards. *Herpetological monographs* 21(1): 76–178. doi: <https://doi.org/10.1655/06-001.1>
- [4] Torres-Carvajal, O., & Carvajal-Campos, A. (2009). Reptilia, Squamata, Iguanidae, *Stenocercus aculeatus*: Distribution extension and first record for Ecuador. *Check List* 5: 753-754. doi: <https://doi.org/10.15560/5.3.753>

## Biomass Assessment of Peach Trees in the Ecuadorian Andes

B. Velázquez-Martí<sup>1</sup>, J. Vega<sup>2</sup>, A. Gutiérrez<sup>2</sup>, C. Cazco-Logroño<sup>3</sup>, H.R. Chandi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia (Spain)

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Campus Querochaca, cantón Cevallos, Tungurahua, postal code: 18-01-334, (Ecuador)

<sup>3</sup>Facultad De Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte. calle Avenida 17 de Julio 5-21 y J. M. Córdova. Ibarra (Ecuador)

Corresponding author: B. Velázquez-Martí: [borvemar@dmta.upv.es](mailto:borvemar@dmta.upv.es)

## Evaluación de biomasa de árboles de durazno cultivados en Los Andes ecuatorianos

### Abstract

This work focused on the evaluation of four essential aspects of biomass based on peach trees grown in the Andean region of Ecuador. In one case, mathematical models have been developed allowing the amount of lignocellulosic material to be quantified from easily measurable parameters such as crown diameter, stem diameter and plant height. Performing quick surveys, these equations led to obtain the amount of biomass contained in a plot. In a second case, elemental analysis of biomass was performed in order to determine the amount of CO<sub>2</sub> captured from the atmosphere through photosynthesis during its growth, and thus to assess the contribution of these plots in mitigating climate change. Afterwards, residual biomass from pruning was quantified and a proximal analysis was carried out. This allowed us to assess the suitability of these materials as solid biofuels. The models obtained to determine the volume of the branches gave determination coefficients of 0.98. Models to quantify the biomass of the whole plant had r<sup>2</sup> of 70%. The density of the dried material was 0.92 g/cm<sup>3</sup>, obtaining an average dry wood weight of 44.8 kg per plant. This represents a content of 1682 moles of captured CO<sub>2</sub> of a developed plant crop (3 years). The average ash on dry wood was 3%, fixed carbon content on dry wood was 7%, and volatile content dry wood was 78%. The moisture content of waste materials after pruning was 45.96%. The drying time in store for humidity below 10%, suitable for burning boiler, was 15 days. The higher heating value of peach wood was 18.92MJ/kg.

**Keywords:** bioenergy, dendrometry, allometric functions, renewable energy

### Resumen

Este trabajo se centró en la evaluación de cuatro aspectos esenciales de la biomasa de árboles de durazno cultivados en la región andina del Ecuador. En un caso, se han desarrollado modelos matemáticos que permiten cuantificar la cantidad de material lignocelulósico a partir de parámetros fácilmente medibles como el diámetro de la copa,



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Juan Sebastián  
Proaño Avilés

Recibido /  
Received:  
06/08/2020

Aceptado /  
Accepted:  
15/08/2022

Publicado en línea /  
Published online:  
12/12/2022



el diámetro del tallo y la altura de la planta. Realizando levantamientos rápidos, estas ecuaciones permitieron obtener la cantidad de biomasa contenida en una parcela. En un segundo caso, se realizó un análisis elemental de la biomasa para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> capturado de la atmósfera a través de la fotosíntesis durante su crecimiento, y así evaluar la contribución de estas parcelas en la mitigación del cambio climático. Posteriormente se cuantificó la biomasa residual de la poda y se realizó un análisis proximal. Esto nos permitió evaluar la idoneidad de estos materiales como biocombustibles sólidos. Los modelos obtenidos para determinar el volumen de las ramas arrojaron coeficientes de determinación de 0,98. Los modelos para cuantificar la biomasa de toda la planta tenían un r<sup>2</sup> del 70 %. La densidad del material seco fue de 0,92 g/cm<sup>3</sup>, obteniendo un peso promedio de madera seca por planta de 44,8 kg. Esto representa un contenido de 1682 moles de CO<sub>2</sub> capturado de un cultivo vegetal desarrollado (3 años). La ceniza promedio en la madera seca fue del 3 %, el contenido de carbono fijo en la madera seca fue del 7 % y el contenido de volátiles en la madera seca fue del 78 %. El contenido de humedad de los materiales de desecho después de la poda fue del 45,96 %. El tiempo de secado en almacenamiento para humedad inferior al 10 %, apto para caldera de combustión, fue de 15 días. El poder calorífico superior de la madera de durazno fue de 18,92 MJ/kg.

**Palabras clave:** bioenergía, dendrometría, funciones alométricas, energías renovables

---

## INTRODUCTION

Recently, several studies have demonstrated the importance of being able to quickly identify the amount of biomass contained in agricultural species and their characteristics [1,2]. The total amount of lignocellulosic biomass is related to parameters such as the residue production and the need of fertilizer inputs or pesticides. The development of simple field methods for the quantification of biomass is a scientific challenge because it allows us not only to obtain indirectly related agronomic parameters, but also to study the relation of remote sensing and the development of extended management models [3,4]. Therefore, it breaks new view in agricultural science.

Traditionally, dendrometric methods for quantification of lignocellulosic biomass of trees have been developed in forestry. However, few studies have been conducted in agricultural, urban or shrub species. Velázquez et al. [5] developed methods for dendrometric analysis of the biomass of five types of Mediterranean shrubs: *Rosmarinus officinalis*, *Quercus coccifera*, *Cistus albidus*, *Ulex parviflorum*, *Erica multiflora*. Callejón et al. [6] examined the potential of various residues of horticultural crops cultivated in greenhouses. In 2013 Velázquez et al. [7] worked in fruit trees, mainly olive and citrus. The dendrometric equations allow quick biomass surveys in plots of specific areas. From elemental biomass analysis, it allows us to calculate the amount of CO<sub>2</sub> captured from the atmosphere through photosynthesis during its growth, and thus to assess the contribution of these plots in mitigating climate change [8,9]. It also allows us to determine the absorption of N in order to optimize fertilization or in order to use this specie as green filter.



The biomass quantification methods are based on the assumption of proportionality between different elements of the natural systems. Natural systems keep a proportionality when balance is established at a steady state [7]. The different varieties of plants, diversity in climate and differentiated types of crop management obligate particularized studies for the different species in each ecosystem. The characteristics of Ecuadorian agricultural production systems, with permanently warm weather, makes peach plants not exhibit winter hibernation as it happens in Europe. The withering should be induced by chemical defoliants in this area, moments in which the pruning is practiced. These circumstances together with widely dispersed ownership structures, small size of farms and small planting area per tree require a specific analysis of this system.

This work was focused on the evaluation of four essential aspects of the biomass based on peach crops grown in the Andean region of Ecuador. In one case, mathematical models have been developed allowing us to quantify the amount of lignocellulosic material of the plant from easily measurable parameters, such as crown diameter, stem diameter and plant height. In a second case, an elemental analysis of biomass has been carried out, which allows determining the amount of CO<sub>2</sub> captured from the atmosphere through photosynthesis during the plant growth, and thus to assess the contribution of these plots in mitigating climate change [9]. Subsequently, residual biomass from pruning has been quantified, and a proximal analysis has been performed: high heat value, moisture content, percentage of volatile matter, fixed carbon content and ash content. This allowed assessing the suitability of these materials as solid biofuels.

Developing a suitable methodology to calculate volumes and total biomass contained in fruit trees from an adapted dendrometry laid the foundations for the use of this methodology as a tool to manage resources from the orchards, establishing adequate predicting models for assessing other parameter such as incomes in raw materials for the cultivation, fruit production, CO<sub>2</sub> sink, and waste materials (residual wood) used for energy or industry. To develop the process of biomass quantification, it was necessary to perform systems of measurement, enabling to determine volumes of the analyzed trees. This is the first step for the implementation of logistics models for the biomass delivery chains, where the input is a network structure in which all relevant parameters should be included [1]. On the other hand, the methodology applied in this article allows us to relate the actual volume of fruit trees with data from remote sensing, such as LiDAR [10]. This is the next step in our investigation [4].

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

These tests were conducted in two areas of the Ecuadorian Andes at the north of the country in the province of Imbabura, in the canton Pimampiro UTM X: 172965, Y: 44442 (WGS 84), at 2400 AMSL, and in the central area, in the province of Tungurahua, canton Cevallos UTM X: -1366901, Y: -78606775 at 2850 AMSL.

These two locations allowed us to test and validate the quantization models obtained. Imbabura is characterized by an average temperature of 14.5 °C and rainfall of 1100 mm/



year. Tungurahua is characterized by an average temperature of 12.85 °C and annual rainfall of 650 mm/year.

## Dendrometric analysis of branches

Dendrometric analysis was carried out to ease the measure of the volume of the branches. To reach this goal, two approaches were undertaken: first, through the determining form factors, and then by obtaining regression functions.

Form factor is defined by equation (1) as the ratio between the actual volume of the branch and a volume of revolution, with models such as cylinder, paraboloid, cone or neiloid taken as reference [11]. In principle the morphic coefficient is a parameter characteristic of the species and diameter class. However, for each of the determinations there was a statistical variability, where the average and the dispersion were determined. As observed, the form factor ( $f$ ) allows determining the volume of any structure by measuring the basal diameter and length.

$$f = \frac{\text{Actual volume of the plant structure}}{\text{Geometric volume model}} \quad (1)$$

Thirty branches of 60 trees were sampled in each studied area. In each branch, the diameter was measured every 10 cm. The actual volume of each portion of 10 cm length was calculated using equation (2) which is the truncated cone formula. The whole volume was calculated as the sum of each portion between two sections, using equation (3). The calculation model of branch volume was performed by applying formula (4) from the base diameter ( $d$ ) and length ( $L$ ) of the branch.

$$V_i = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r) \quad (2)$$

$$V_{branch} = \sum_1^i V_i \quad (3)$$

$$V_{MODEL} = k \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \quad (4)$$

Where  $R$  is the radius of the largest section,  $r$  is the radius of the smallest section,  $V_i$  is the volume of a portion of the branch,  $V_{branch}$  is the actual volume of the branch,  $V_{MODEL}$  is the volume of revolution,  $k=1$  for the cylinder,  $k=1/2$  for the paraboloid,  $k=1/3$  for the cone,  $k=1/4$  for the neiloid,  $d$  is the diameter of the base, and  $L$  is the length of the branch.

## Models to quantify whole wood biomass of the tree

To calculate the volume of wood biomass in the whole plant, two methods were also developed. First, occupation factor was analyzed, and second, regression models were developed for predicting the volume from crown diameter, stem diameter and plant height.



Occupation factor is defined by equation (5) as the ratio between the actual volume of all branches of the peach tree and apparent volume of the crown obtained as a volume of revolution from crown diameter and height from the base to the apex. Semi-ellipse, cylinder, paraboloid and cone were analyzed as models, which contain both the branches as the gaps between them.

$$PO = \frac{\text{Actual crown volume}}{\text{Apparent model crown volume}}$$

Measuring the actual volume of all peach plant branches was performed by layers (strata). In each layer the volume of the branches was measured according to the formula obtained in the previous dendrometric analysis.

### Pruning residues and collection

Sixty trees were pruned in the different study areas and evaluated. Before pruning the stem diameter, crown diameter and tree height were taken. Subsequently, the trimming was carried out, which was based on removing branches to improve the light into the crown and to induce new sprouting. The branches affected with diseases were also thinned. Pruning and collection times were taken. The weight of cut branches were measured doing bundles and using a dynamometer or scale. Then branches were defoliated to determine the percentage of leaf mass and wood mass. Subsequently, regression models were carried out to relate the amount of residue and collection times from the sizes of the plant.

### Characterization of biomass

The characterization of the biomass materials was conducted according to the standards of Table 1.

**Table 1.** Standards used in the characterization of biomass

Standard	Title
CEN/ S 14778-1	Solid biofuels - Sampling - Part 1: Sampling Methods
CEN/TS 14779	Solid biofuels - Sampling - Methods for preparing sampling plans and sampling certificates
CEN/TS 14780	Solid biofuels - Methods for sample preparation
EN 14774-2	Solid biofuels - Determination of moisture content - oven drying method. Part 2. Simplified Method: Total moisture
EN 14918	Solid biofuels - Determination of calorific value
EN 15148	Solid biofuels - Determination of volatile matter
EN 14775	Solid biofuels - Determination of ash
CEN/TS 15104	Solid biofuels - Determination of total carbon, hydrogen and nitrogen - Instrumental Methods

## RESULTS AND DISCUSSION

### Dendrometric analysis of branches

First, a descriptive one-dimensional analysis of parameters measured in the sampled branches is presented in Table 2. This table includes the following statistics: mean, standard deviation, coefficients of skewness and kurtosis. As seen, the values of the coefficients of skewness and kurtosis were within the range (-2 , +2), asserting that the parameters follow a Gaussian distribution.

**Table 2.** Statistical parameters in the studied branches

		Diameter (cm)	Length (cm)	Volume Real (cm <sup>3</sup> )	V <sub>cylinder</sub> (cm <sup>3</sup> )
Large branches (strata 1 and 2)	Average	5.33	112.0	2139.38	2699.43
	Standard Deviation	1.02	20.9103	1107.68	1357.55
	Coefficient of Variation	19.10%	18.66%	51.77%	50.29%
	Minimum	3.63	70.0	673.98	851.72
	Maximum	7.03	150.0	4368.82	5815.65
	Asymmetry coefficient	-0.13	-0.31	0.96	1.11
	Coefficient of kurtosis	-1.29	-0.68	-0.95	-0.77
Small branches (strata 3 and 4)	Average	0.70	38.83	15.20	21.91
	Standard Deviation	0.23	14.24	2.61	2.50
	Coefficient of Variation	42.44%	36.68%	17.17%	11.41%
	Minimum	0.33	10.0	2.7	9.00
	Maximum	1.22	65.0	24.02	36.36
	Asymmetry coefficient	0.68	-0.51	1.59	1.93
	Coefficient of kurtosis	-1.42	-0.91	-0.70	0.25

**Table 3.** Form factors for each of the geometric models studied

		f cylinder	f paraboloid	f cone	f neiloid
Large branches	Average	0.79	1.57	2.36	3.15
	Std. Deviation	0.09	0.18	0.27	0.35
Small branches	Average	0.58	1.15	1.73	2.31
	Std. Deviation	0.12	0.14	0.36	0.48

The goal of this section was to define the volume of a branch from its diameter and length, through both form factor and multiple regression equations. In Table 3 form factors obtained for the different models are provided. The model with form factor closer to 1



is the best that represents its shape. In large branches (strata 1 and 2) cylindrical model gave the form factor nearest to 1, with mean of 0.79, standard deviation of 0.09, and coefficient of variation of 11.39%. These results are acceptable for calculating the actual volume by equation (6), according to studies carried out in the forest area such as Zianis and Mencuccini [12] or Jiang et al. [13], where  $VR$  is the branch volume,  $D_b$  is the basis diameter,  $L$  is the branch length and  $f$  is the form factor. In small branches the paraboloid model provides a volume that more closely resembles the actual volume of the branch, with a  $f$  mean of 1.5 and standard deviation of 0.24. The coefficient of variation was 12.17%.

$$VR = \frac{\pi \cdot D_b^2}{4} \cdot L \cdot f \tag{6}$$

Four regression models are shown in Table 4: two allow calculating the actual volume of the branches, one provides the volume of the whole plant, and the other predicts the weight of the residual biomass from pruning. The explanatory variables had p-values less than 0.05 which give them significance greater than 95%. The coefficients of determination ( $r^2$ ) of the volume of branch equations are high, above 95%. This is the percentage of variability that explains the functions obtained. Moreover, the average error obtained in the application of such equations is 175.05  $\text{cm}^3$  in large branches and 1.39  $\text{cm}^3$  in small branches, the standard deviations being 58.38  $\text{cm}^3$  and 0.52  $\text{cm}^3$  respectively. Given that the average of large branches is 2139.38  $\text{cm}^3$  and 11  $\text{cm}^3$  small, the average error obtained does not exceed 8.20%.

**Table 4.** Regression models

Equation	MAE	S	$r^2$	p-value
$BV_{(E1-2)} (\text{cm}^3) = -17.51 + 0.63 \cdot L \cdot D^2$	175.05	58.38	95.89	<0.05
$BV_{E3} (\text{cm}^3) = -2.53 + 0.44 \cdot L \cdot D$	1.29	0.52	96.31	<0.05
$TV(\text{dm}^3) = -2432.11 + 2174.82 \cdot H_t - 446.06 \cdot H_t^2 - 6.25 \cdot D_t \cdot H_t$	7.46	9.78	70.01	<0.05
$BW(\text{kg}) = -7.09 + 0.51 \cdot Dt + 0.88 \cdot D_c \cdot H_t$	0.77	0.99	76.02	<0.05

Where MAE is the mean absolute error; SD is the standard deviation of the errors;  $r^2$  is the coefficient of determination;  $BV$  is branch volume ( $\text{cm}^3$ );  $L$  is length (cm);  $D$  is diameter of the base of the branch (cm);  $TV$  is total plant volume ( $\text{dm}^3$ );  $BW$  is weight of the pruned branches dry (kg);  $Dt$  is diameter of the tree stem (cm);  $D_c$  is diameter of tree top (m); and  $Ht$  is height of tree (m).

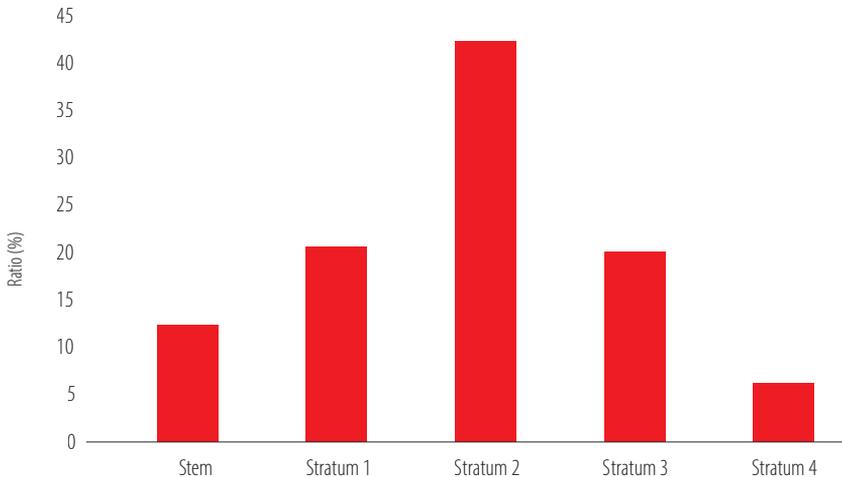
Branch volume models used by researchers have similar or minor coefficients of determination, both in forest species [14] and fruit trees [7]. However, few models have been obtained in agricultural trees.

## Models quantification in whole plant biomass

The analysis of the distribution of biomass in the crown has been done by strata. The branches that arise from the trunk form the first layer. These branches are called primary branches. The branches that arise from the primary branches constitute the second stratum, called secondary branches. The branches that arise from the secondary branches constitute the third layer and are the tertiary branches, and so on. Table 5 shows the average diameter, average length and average volume of branches that occupy each stratum. The volume occupied by the branches in the different layers was calculated from the application of the previously obtained volume functions. The volume of the branches of each stratum decreased, as expected. In Figure 1, the distribution of biomass within the crown is shown. As can be seen, most of the biomass is found in strata 1, 2 and 3 (over 50%) and subsequently in stratum 4 of the plant where the branches are smaller, but in a larger number.

**Table 5.** Mean parameters of peach branches in each stratum.

	Diameter of the base (cm)	Length (cm)	Branch Volume (cm <sup>3</sup> )
Stratum 1	6.61	50.71	1740.18
Stratum 2	4.74	75.08	1324.86
Stratum 3	3.1	60.2	454.37
Stratum 4	2.1	21.4	74.12



**Figure 1.** Distribution diagram of the biomass in different strata in the peach crown



A statistical analysis of parameters measured in the trees was carried out. This is shown in Table 6. The average volume of the woody part of the peach tree was 42.17 dm<sup>3</sup> and standard deviation 5.8 dm<sup>3</sup> (Table 6).

**Table 6.** Summary statistics for the studied parameters of the whole plant.

	Average	Std. Dev.	Coef. of kurtosis	Coef. of Asymmetry	Max.	Min.
Actual volume of the whole plant (cm <sup>3</sup> )	48762.3	5830.02	0.795	1.929	31885.5	7424.27
Apparent volume of the whole plant (cylindrical model) (dm <sup>3</sup> )	6865.19	542.50	1.925	1.281	93.39	20.42
Crown diameter (m)	3.31	0.69	1.07	1.58	5.94	3.02
Stem diameter (cm)	11.62	1.40	3.58	1.51	16.23	8.59
Plant height (m)	3.03	0.25	0.17	-1.22	3.46	2.38
Crown height to soil (cm)	0.17	0.06	-0.89	0.14	0.28	0.07
Occupation Factor	9.06	1.50	0.397	1.129	11.29	4.95
Residual dry biomass (kg)	5.04	2.53	0.79	1.46	12.15	0.92

Table 4 shows the prediction equation for the calculation of the volume of the whole plant from total height and stem diameter. This finding has great practical value, given that with its application, technicians can calculate the biomass of the whole plot and their respective relationships with agronomic and environmental (CO<sub>2</sub> fixation) parameters [14]. The determination coefficient obtained is acceptable, 70%. Values in this range are common in agricultural predictions where there is a huge influence of uncontrolled factors such as microclimate, nutrient availability, water, and management conditions, which provide a great variability. Mean absolute error obtained in the equation is 7.46 dm<sup>3</sup>, which we consider acceptable as indicated in Table 6. The average volume is 48.76 dm<sup>3</sup> per plant, which represents a relative error of 15%. It is necessary to note that volume equations for common timber species are higher because they only consider stem, and they are not influenced by crown pruning [11,13,16].

Finally, the mean value and standard deviation of the occupation factor (FO) are 9.06 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> and 1.50 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup>, respectively. This factor is the ratio of the actual volume of lignocellulosic material of the plant and its apparent volume. The apparent volume is a geometric model, generally cylinder, calculated from crown diameter and height. The volume of this theoretical cylinder is formed by the branches and the gaps between them. FO values assume a conversion factor in order to obtain the actual volume from the calculation of the cylinder model volume. Similar values were obtained for citrus trees [17] and olive trees [18].



## Residues from pruning

Correlation coefficients between the measured variables and the residual biomass are shown in Table 7. Correlation coefficients can vary between -1 and +1, measuring the strength of linear relationship between variables. Negative values indicate inverse linear relationships; however, positive values indicate direct linear relationships. As can be seen, the residual biomass from pruning is positively related to the crown diameter, stem diameter and plant height. This means that when the size of the plant increases, the available amount of residual biomass is larger. However, it was found that the relationship between residual biomass and height from the crown to the soil was very low, because the Pearson coefficient is close to 0. It can also be observed that the crown diameter and plant height were positively related to stem diameter. This means that when the stem is larger in the peach tree, the crown diameter and height is also greater. However, plant height was less influenced by the crown diameter because the Pearson coefficient had a relatively low value (0.19).

**Table 7.** Analysis of the linear relationship between the variables through the Pearson coefficient.

	Residual dry biomass (kg)	Crown diameter (m)	Stem diameter (cm)	Plant height (m)	Crown height to soil (cm)
Residual dry biomass (kg)	1	0.63	0.52	0.44	-0.07
Crown diameter (m)		1	0.40	0.19	0.02
Stem diameter (cm)			1	0.35	-0.09
Plant height (m)				1	-0.02
Crown height to soil (cm)					1

Finally, a regression model to predict residual biomass obtainable from peach tree pruning was calculated from the dimensions of the plant, which is shown in Table 4. Coefficient of determination ( $r^2$ ) was 76%. This was not a very high value because of the high variability and uncontrolled factors. However, the absolute value of the errors of this equation is 0.77 kg and the deviation of the errors obtained by the equation is 0.99 kg. These values are better than results obtained by Velázquez et al. [7]

It is important to notice that in order to estimate the residual biomass of the plant, two approaches can be applied: average value of the residual biomass shown in Table 6, and the equation *BW* in Table 4 with  $R^2 = 0.77$ . Using the average, the available average residual biomass is 5.05 kg dry matter per tree. Assuming a planting area of 4 x 4 m<sup>2</sup>, this equates to 3.15 tonnes of dry matter per hectare.

Average pruning time per tree was 3.35 min with standard deviation of 0.65 min. Collection time of the pruning residues per tree to do piles next to the tree was 2.36 min with standard deviation of 0.75 min.

## Energy characterization

In this section the physical parameters such as moisture content, density, percentage of volatiles, and ash of the lignocellulosic material in peach wood were analyzed. The average data and standard deviations are shown in Table 8. The higher heating value of peach wood is 18.9 MJ/kg. This is within the same range of energy wood [19], but it is higher than in the residues coming from horticultural crops [6]. The N content is lower than the limits established by the standard EN 14691-part 4 which fixes the conditions for chips used as biofuels (N<1%).

**Table 8.** Mean and standard deviation of the physical parameters of lignocellulosic materials of peach trees.

		Average	Std. Dev.
<b>Proximal analysis</b>	Moisture content %	45.96	8.56
	Ash %	5.01	1.37
	Volatile material %	78.99	2.48
	Fixed carbon %	16.00	0.25
	Humid density g/cm <sup>3</sup>	1.02	0.119
	Dry density g/cm <sup>3</sup>	0.92	0.273
<b>Elemental analysis</b>	% C	45.21	1.25
	% H	5.17	0.12
	% N	0.82	0.05
<b>Heat High value MJ/kg</b>		18.92	1.28

Note that the number of carbon atoms contained in the carbon dioxide molecule is 1. Therefore, the number of moles of CO<sub>2</sub> absorbed by the plant through photosynthesis is equal to the number of moles of carbon that exists in its structure. The percentage of carbon contained in the peach wood is 45% [19].

On the other hand, by multiplying the plant volume by its density (0.92 g/cm<sup>3</sup>) the mass is determined. By multiplying the mass of the plant by the percentage of its carbon content, the total carbon mass in the plant is obtained. Since the atomic weight of carbon is 12, dividing the weight of carbon contained in the plant by its atomic weight gives the number of existing carbon moles, equal to the number of moles of carbon dioxide.

Note that the molecular weight of carbon dioxide is 44 g/mol CO<sub>2</sub> (12 C + 32 O<sub>2</sub>). Therefore, it is possible to calculate the grams of CO<sub>2</sub> previously absorbed by the plant, fixed in the biomass that will later be released to the atmosphere with its combustion.

Whereas the average volume per plant is 48762 cm<sup>3</sup>, the number of moles of CO<sub>2</sub> fixed by the crop during its growth is 48762 cm<sup>3</sup> × 0.92 g cm<sup>-3</sup> × 0.45 g C g biomass<sup>-1</sup>/12 = 1682 moles CO<sub>2</sub>, which is equivalent to 77.38 kg of CO<sub>2</sub> per tree. The high volatile matter content suggests that this residue may have good aptitude for direct combustion in boiler or gasification processes.



## CONCLUSIONS

In this study the shape and volume of the branches of peach trees were characterized in each stratum. It has been shown that the stem shape and thicker branches of the plant, corresponding to stratum 1, fit well into a cylinder shape, while small branches fit better to a parabolic model.

Methods have been developed to predict roughly the biomass contained in the whole plant. Calculated volume functions have high determination coefficients, so it is considered suitable for practical application in the process of quantification of biomass.

Lignocellulosic plant biomass is distributed unevenly, with stratum 2 containing most of the plant biomass, 42%. Another 40% is distributed among strata 1 and 3, and only 12% of biomass is concentrated in the stem.

From elemental and proximal characterization of waste materials, it can be concluded that ash content is less than 1%, the volatile content is greater than 75%, carbon staining in the wood is around 45%, and the nitrogen content does not exceed 1% by weight. In summary, it can be considered 5.05 kg of dry matter per plant, available for bioenergy feedstocks, which is equivalent to 624 trees per hectare to 3.15 tons per hectare.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The participation of Dr. Borja Velázquez-Martí in this work was possible by funding from the Ecuadorian Government by means of the PROMETEO program, led by the Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (SENESCYT).

This work was carried out within the framework of the inter-university cooperation ECUMASA network focused on the study and characterization of biomass in Ecuador, consisting of four Ecuadorian universities: Universidad Técnica de Ambato, Universidad Estatal de Bolívar, Universidad Técnica del Norte and Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

This work has been carried out within the framework of the IBEROMASA Network of the Ibero-American Program on Science and Technology for Development (CYTED).

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, B. Velázquez-Martí; methodology, data curation B. Velázquez-Martí and C. Cazco-Logroño; software, J. Vega; validation, J. Vega and C. Cazco-Logroño; formal analysis, B. Velázquez-Martí; investigation, B. Velázquez-Martí and A. Gutiérrez; data curation; writing—original draft preparation, B. Velázquez-Martí and H. R. Chandí. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work reported.



## CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

## REFERENCES

- [1] Velázquez-Martí, B., & Annevelink, E. (2009). GIS application to define biomass collection points as sources for linear programming of delivery networks. *Transactions of ASABE*, 52(4), 1069-1078. <https://doi.org/10.13031/2013.27776>
- [2] Velázquez-Martí, B., & Fernandez-Gonzalez, E. (2010). Mathematical algorithms to locate factories to transform biomass in bioenergy focused on logistic network construction. *Renewable Energy*, 35(9), 2136-2142. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.02.011>
- [3] Velázquez-Martí, B., Fernández-González, E., López-Cortés, I., & Salazar-Hernández, D. M. (2011). Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean almond groves. *Renewable Energy*, 36(2), 621-626. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.08.008>
- [4] Estornell, J., Velázquez-Martí, B., López-Cortés, I., Salazar, D., & Fernández-Sarria, A. (2014). Estimation of wood volume and height of olive tree plantations using airborne discrete-return lidar data. *GIScience & Remote Sensing*, 51(1), 17-29. <https://doi.org/10.1080/15481603.2014.883209>
- [5] Velázquez-Martí, B., Fernandez-Gonzalez, E., Estornell, J., & Ruiz, L. A. (2010). Dendrometric and dasometric analysis of the bushy biomass in Mediterranean forests. *Forest Ecology and Management*, 259(5), 875-882. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.11.027>
- [6] Callejón-Ferre, A. J., Velázquez-Martí, B., Lopez-Martinez, J. A., & Manzano-Agugliaro, F. (2011). Greenhouse crop residues: Energy potential and models for prediction of their higher heating value. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 948-955. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.012>
- [7] Velázquez-Martí, B., Fernández-Gonzalez, E., López-Cortés, I., & Callejón-Ferre, A. J. (2013). Prediction and evaluation of biomass obtained from citrus trees pruning. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(3&4), 1485-1491.
- [8] Cannell, M. G. R. (2003). Carbon sequestration and biomass energy offset: Theoretical, potential and achievable capacities globally, in Europe and the UK. *Biomass Bioenergy*, 24(2), 97-116. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00103-4](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00103-4)
- [9] Joosten, R., Schumacher, J., Wirth, C., & Schulte, A. (2004). Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L) in western Germany. *Forest Ecology and Management*, 189, 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.037>
- [10] Estornell, J., Ruiz, L. A., Velázquez-Martí, B., López-Cortés, I., Salazar, D., & Fernández-Sarria, A. (2015). Estimation of pruning biomass of olive trees using airborne discrete-return LiDAR data. *Biomass and Bioenergy*, 81, 315-321. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.07.015>
- [11] Husch, B., Beers, T. W., & Kershaw Jr., J. A. (2003). *Forest Mensuration*, 4th ed. John Wiley and Sons, Inc., New Jersey, USA, p. 443.
- [12] Zianis, D., & Mencuccini, M. (2004). On simplifying allometric analyses of forest biomass. *For. Ecol. Manage.*, 187(2-3), 311-332. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.007>
- [13] Jiang, L., Brooks, J. R., & Wang, J. (2005). Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest Ecology and Management*, 213(1-3), 399-409. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.04.006>
- [14] Dhote, J. F., Le Moguedec, G., Vallet, P., Dhôte, J., Le Moguédec, G., Ravart, M., & Pignard, G. (2006). Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. *Forest ecology and management*, 229(1-3), 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.013>
- [15] Brandeis, T. J., Delaney, M., Parresol, B. R., & Royer, L. (2006). Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. *Forest Ecology and Management*, 233(1), 133-142. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.06.012>
- [16] Akindede, S. O., & LeMay, V. M. (2006). Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria. *Forest Ecology and Management*, 226(1-3), 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.022>
- [17] Velázquez-Martí, B., Estornell, J., López-Cortés, I., & Martí-Gavila, J. (2012). Calculation of biomass volume of citrus trees from an adapted dendrometry. *Biosystems Engineering*, 112(4), 285-292. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.04.011>



- [18] Velázquez-Martí, B., López-Cortés, I., & Salazar, D. M. (2014). Dendrometric analysis of olive trees for wood biomass quantification in Mediterranean orchards. *Agroforestry Systems*, 88(5), 755-765. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9718-1>
- [19] Vargas-Moreno, J. M., Callejón-Ferre, A. J., Pérez-Alonso, J., & Velázquez-Martí, B. (2012). A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5): 3065–3083. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.054>

## **Análisis de la contaminación por metales pesados en la ciudad de Cuenca mediante el uso de bioindicadores**

**Johnny Beltrán<sup>1</sup>, Juan M. Aguilar<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad del Azuay

Autor para Correspondencia / Corresponding Author, e-mail: [jbeltanes@yahoo.es](mailto:jbeltanes@yahoo.es)

## **Analysis of heavy metal contamination in the city of Cuenca through the use of bioindicators**

### **Abstract**

The objective of this study is to analyze the contamination of the environment due to heavy metals in the city of Cuenca using bee products as bioindicators, in parallel the suitability of bee products for domestic consumption and the usefulness of bee products to be used for monitoring the contamination of the environment in which the analyzed samples are located. For this study, samples of pollen, honey and beeswax were taken in nine apiaries located in the urban and peri-urban areas of the city, this in order to determine the concentration of four heavy metals: Lead (Pb), Cadmium (Cd), Zinc (Zn) and Copper (Cu) in the referred samples; and as a result, to analyze the concentrations of the heavy metals in reference to their location and for determining possible sources of concurrent contamination, as well as the safety of the products to be consumed in the human diet.



**Keywords:** hives, environmental pollution, heavy metals

### **Resumen**

El objetivo de este estudio es analizar la contaminación del medio ambiente por metales pesados en la ciudad de Cuenca mediante el uso de productos apícolas en calidad de bioindicadores, paralelamente se determina la idoneidad de los productos apícolas para el consumo doméstico y la utilidad de los mismos para monitorear la contaminación del medio ambiente en el que se encuentran los apiarios analizados. En el trabajo se tomaron muestras de polen, miel y cera de abejas en nueve apiarios ubicados tanto en la zona urbana como periurbana de la ciudad con el fin de determinar la concentración de cuatro metales pesados: Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) en estas muestras; para posteriormente analizar estas concentraciones en referencia a su ubicación y determinar posibles fuentes de contaminación concurrentes, así como la seguridad de los productos a consumir en la dieta.

**Palabras clave:** colmenas, contaminación ambiental, metales pesados

Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



**Editado por /  
Edited by:**  
Eva O.L. Lantsoght

**Recibido /  
Received:**  
21/02/2022

**Aceptado /  
Accepted:**  
19/08/2022

**Publicado en línea /  
Published online:**  
12/12/2022



## INTRODUCCIÓN

### Características biológicas de la abeja melífera

Los himenópteros con aguijón (*Hymenoptera: Aculeata*), comprenden aproximadamente 20.000 especies a nivel mundial [1] y alrededor de las 13.300 especies descritas se encuentran en la Región Neotropical [2], y su importancia para los ecosistemas y el hombre es invaluable [3], siendo el principal grupo de polinizadores de las angiospermas en el Neotrópico. Las abejas han desarrollado diferentes comportamientos sociales para lograr las condiciones necesarias para facilitar la recolección de recursos tales como polen, néctar y aceites a través del forrajeo, con los cuales generan productos indispensables para su supervivencia [1].

### Contaminación del medio ambiente

Actividades antropogénicas tales como la industria, la agricultura, el transporte motorizado y la generación de energía eléctrica, liberan al medio ambiente subproductos tóxicos que afectan a los ecosistemas y a los seres humanos [4]. Los subproductos tóxicos liberados se emplazan en los compartimentos de la biósfera (agua, aire, suelo) y posteriormente son absorbidos en la cadena trófica, afectando, (en mayor o menor medida en función de las concentraciones de contaminantes,) a los ecosistemas y finalmente a los seres humanos que se alimentan de la cadena trófica y tienen contacto con los compartimentos de la biósfera.

### Contaminación del suelo y absorción de sus elementos constitutivos y contaminantes por las plantas

Los elementos constitutivos del suelo, así como trazas de materiales contaminantes pueden migrar ascendentemente por absorción de la vegetación [5]. La persistencia de contaminantes en el suelo es mucho más prolongada que en otros compartimentos de la biósfera, y la contaminación del suelo, especialmente por trazas de metales, parece ser virtualmente permanente. Los metales acumulados en el suelo se agotan lentamente por lixiviación, absorción de plantas, erosión o deflación [6].

El contenido de metales pesados en las raíces de las plantas está relacionado directamente con el contenido de estos metales en el suelo [6]; sin embargo, la translocación del Pb desde las raíces a los brotes de la planta es muy limitada (solamente 3 %) [7]. Varios parámetros del suelo y la planta afectan la translocación de los contaminantes desde el suelo a los brotes de la zona superior [6]. Se ha determinado que existen efectos antagónicos y efectos estimulantes que se producen entre metales pesados para la translocación desde el suelo a la parte superior de la planta: existe un efecto estimulante del Pb sobre la absorción del Cd, se ha determinado un antagonismo del Zn sobre la absorción del Pb, Cd y Cu; finalmente, existe un efecto inhibitorio recíproco de absorción entre Cu y Zn [6].



Los fertilizantes con macronutrientes son fuentes ubicuas de insumos de metales pesados en los suelos agrícolas en la mayor parte del mundo, excepto en algunos de los países en desarrollo más pobres donde se utilizan pocos fertilizantes [8]. Zineb, un compuesto orgánico de Zn ( $C_4H_6N_2S_4Zn$ ) y Maneb, un compuesto orgánico de Mn ( $C_4H_6MnN_2S_4$ ), también se utilizan como fungicidas de aplicación foliar en los cultivos, pero los aportes de Zn y Mn de estas fuentes no son tan grandes como los de Cu, Pb y As utilizados en tratamientos fungicidas de años anteriores, aunque los dos últimos elementos no se utilizan ahora como agroquímicos [9]. Los abonos provenientes de animales (estiércol) son otra fuente ubicua de metales pesados, las cantidades de elementos que se agregan al suelo están en función de la alimentación de los animales, el contenido de Zn y Cu en los alimentos proporcionados a los animales domésticos criados para alimentación es bastante alto [8]. Las altas concentraciones de metales pesados contenidos en lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales son una limitación importante en la aplicación de estos lodos a los suelos en calidad de fertilizantes [8].

### Contaminación de los productos apícolas

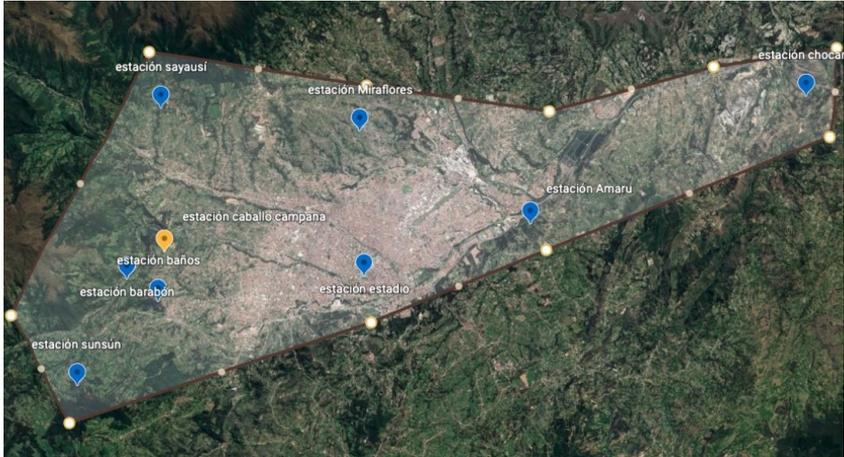
Las abejas melíferas pueden capturar contaminantes difundidos en el aire o depositados en la superficie de las plantas o absorbidos por estas desde el suelo, o pueden asimilar los contaminantes ubicados en el agua [10]. La miel de la abeja melífera, se genera del forrajeo de néctar en las flores y es procesada por dichos insectos, en consecuencia, contiene las menores concentraciones de contaminantes [11, 12]. El polen por otro lado ha demostrado ser un buen bioindicador de contaminación por metales pesados y pesticidas en la vegetación [13], en la cera se han encontrado altas concentraciones de metales pesados y aunque no es consumida en la alimentación, puede funcionar brindando información sobre la contaminación ambiental [11].

### Uso de los productos apícolas como bioindicadores de calidad ambiental

Existe unanimidad en la utilización de los productos de las colmenas como indicadores biológicos de contaminación [11,14]. La abeja melífera (*Apis mellifera*), una especie introducida en América, actualmente cosmopolita, es el insecto más estudiado del planeta y se la cultiva por su buena producción de miel y otros productos apícolas (apicultura), resultando fácil detectar cualquier anomalía tanto en su biología como en su comportamiento [15]. En la actualidad, la apicultura, es una actividad afectada por los efectos adversos de la contaminación atmosférica, el intenso uso de pesticidas y la disminución de la flora [16].

## METODOLOGÍA

El trabajo investigativo fue realizado en la ciudad interandina de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. Se colectaron muestras de polen, cera y miel de diferentes colmenas alrededor de la ciudad; conjuntamente con apicultores locales, en el periodo de septiembre a noviembre del año 2020. Las colmenas estuvieron ubicadas en la zona urbana y periurbana de la ciudad (Fig. 1).



**Figur 1.** Mapa de la zona de estudio y ubicación de las colmenas de monitoreo

Se acompañó la cosecha de 9 apiarios, revisando colmenas localizadas en un rango altitudinal entre 2400 a 3100 m s.n.m. colectando miel, cera y polen en cada una. El área de estudio tiene una extensión de 176,95 km<sup>2</sup>, se escogieron zonas de variado uso de suelo: vegetación nativa, alto tráfico vehicular, producción agrícola y pecuaria y una zona cercana a una planta termoeléctrica existente.

Las muestras colectadas fueron deshidratadas a 50 °C durante una semana, una vez secas se pesaron y luego fueron calcinadas a 400 °C por cuatro horas para la obtención de cenizas, las mismas que fueron digeridas en ácido nítrico (HNO<sub>3</sub> diluido al 50 %) a temperatura ambiente. Posteriormente, se filtraron las muestras y se aforaron con agua destilada a un volumen conocido (50 ml, recomendado) para hacer la especiación en el espectrofotómetro de absorción atómica [17]. El espectrofotómetro fue calibrado para establecer las trazas de Cu, Pb, Cd y Zn a diferentes longitudes de onda para cada elemento. Se realizó una curva de calibración de las concentraciones de cada uno de estos metales pesados para establecer mediante un análisis de regresión las concentraciones de partes por millón (ppm) de estos en las muestras.

Se analizaron los resultados de las concentraciones de Pb, Cd, Zn y Cu en los productos apícolas con la finalidad de determinar su aptitud alimenticia y la contaminación ambiental producida por estos metales en la ciudad, así como posibles fuentes de contaminación.

Para determinar la aptitud alimenticia de los productos apícolas, en relación a la concentración de Pb y Cd se realizó un estudio comparativo de las concentraciones de los metales versus los contenidos máximos permitidos en el Códex Alimentarius (Tabla 1).

**Tabla 1.** Valores de referencia toxicológica para Pb y Cd

Metal pesado	Contenido de metales pesados en los productos apícolas de apiarios		
	Brasil	Suiza	Polonia
Pb			0,1
Cd	0,1	0,03	0,1

En relación al contenido de Zn y Cu se realizó el análisis de la concentración determinada de estos metales versus la ingesta máxima diaria de estos metales recomendada [18]. Para el efecto se desarrolló un análisis hipotético de un alto consumo diario de miel y polen con las máximas concentraciones detectadas para determinar si la ingesta de Zn y Cu están por debajo de la ingesta máxima diaria recomendada.

Con el objeto de analizar la contaminación ambiental por los metales pesados estudiados en la ciudad de Cuenca, además de un análisis directo de las concentraciones en las muestras de productos apícolas extraídos de apiarios ubicados en diferentes zonas de la ciudad cotejando estas concentraciones con las actividades antrópicas que se observan en las mismas zonas; se realizó un estudio estadístico correlacional entre las concentraciones determinadas y concentraciones de otros contaminantes determinados en cuerpos de agua en un monitoreo continuo que ejecuta la Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental de la Ciudad de Cuenca; ETAPA EP [19].

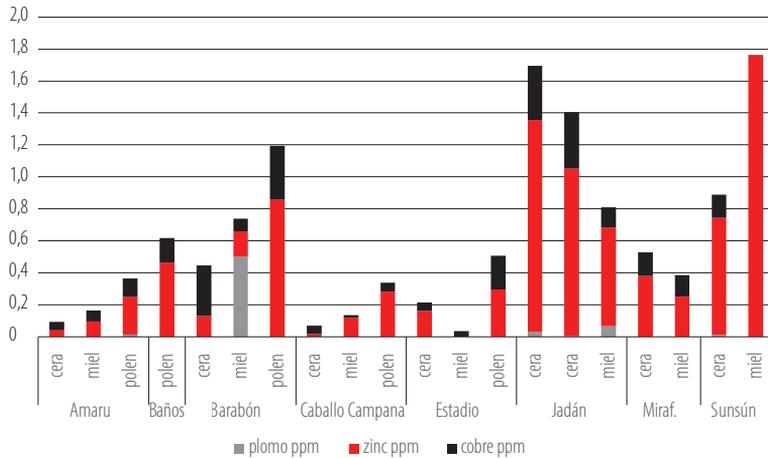
## RESULTADOS

Los resultados muestran la situación de cada uno de los metales analizados en el contexto de la apicultura en la ciudad de Cuenca y su incidencia en los ecosistemas. Se entiende que la ubicación geográfica de una colmena definirá la calidad de su miel [20]; con base a ello, se analizó la situación de la apicultura en la ciudad interandina de Cuenca. La apicultura local considera importante esta información para mejorar la calidad de la práctica apícola y su producción. Se considera de extrema importancia para los apicultores conocer, localizar y excluir estas fuentes de contaminación de la miel [21].

Un estudio previo demostró que el polen es un buen indicador para contaminación por Cd y Pb, concluyendo que los niveles de contaminación en los productos de las colmenas de la ciudad de Cuenca no sobrepasan los límites establecidos para causar efectos adversos en la salud humana. Se comprobó, además, que el polen es un buen indicador para contaminación por Cd y Pb [22].

### Concentraciones de Pb, Cd, Zn y Cu en productos apícolas analizados

En el presente estudio se determinó la presencia de Pb en cuatro muestras; Zn en veinte muestras; Cu en veintiún muestras y no se ha detectado la presencia de Cd en ninguna de las muestras. La Fig. 2 presenta los resultados de la concentración de metales pesados determinadas en los diferentes productos apícolas.



**Figura 2.** Contenido de metales pesados en los productos apícolas de apiarios

La ausencia de Cd concuerda con la literatura, donde se han descrito bajas concentraciones de este metal en muestras que tienen concentraciones insalubres de otros metales en los productos de las colmenas [23-25]. Dado que Aguilar et al. (2011) [22] señalan la presencia de Cd en muestras de la ciudad de Cuenca, es probable que su concentración local se modificó o está en muy bajas concentraciones. Sin embargo, otro fundamento sería que, la relativamente alta concentración de Zn encontrado en la mayoría de las muestras, reduce la absorción de Cd tanto por el sistema radicular como por la parte superior de las plantas [6].

Excepto una muestra de miel, todas las otras contienen Pb, que está por debajo del umbral de toxicidad para el consumo humano. En todas las muestras analizadas existe concentración simultánea de Zn y Cu, excepto en dos casos; las concentraciones más altas se dan en las muestras de polen, se registran altas concentraciones de Zn en miel de abejas en la ciudad de Cuenca, superiores a las establecidas en la ciudad de Quito [25]. Existe antagonismo Zn-Pb que afecta adversamente la translocación de cada elemento de las raíces a las puntas de las plantas [6], esto podría explicar la reducción del Pb en los productos de las colmenas frente a información de 2011 [22].

### Análisis estadístico de resultados

La Tabla 2 muestra los resultados del coeficiente de correlación de Pearson determinado entre concentraciones de diferentes parámetros de contaminación de cuerpos de agua (ETAPA EP) [19] y las concentraciones de Zn y Cu en zonas cercanas entre apiarios y estaciones de monitoreo de ETAPA EP.

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación Pearson: contaminación de cuerpos de agua Vs. resultados de concentración de Zn y Cu en productos apícolas

Parámetro calidad en agua	Zn	Cu
turbiedad	0,48	0,58
fósforo total	0,47	0,56
color aparente	0,45	0,36
OB05	0,43	0,63
aluminio	0,40	0,61
hierro	0,38	0,62
sólidos totales	0,35	0,59
coliformes fecales	0,26	0,56
conductividad	0,26	0,56
manganeso	0,22	0,53
Nitratos + Nitritos	-0,21	-0,06
pH	-0,31	-0,21
saturación O <sub>2</sub> disuelto	-0,35	-0,18
WQI	-0,36	-0,61

Del análisis de la Tabla 2 se pueden establecer los siguientes parámetros de correlación:

- La correlación relativamente alta entre el contenido de Zn y Cu de las muestras analizadas en relación a los parámetros físicos de calidad del agua (turbiedad, color y sólidos totales), se debería al arrastre de partículas de suelo contaminado con Zn y Cu en situaciones de precipitación atmosférica. Los suelos contendrían Zn y Cu provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias, este escenario confirmaría la contaminación producida por dichas actividades y el uso de agroquímicos y abonos animales (estiércol) relacionados con la contaminación de estos dos metales.
- La carga orgánica en los cuerpos de agua correlacionada con la concentración de Zn y Cu en las muestras analizadas, confirmaría el uso de abonos animales (estiércol) en las actividades agropecuarias. Debido a que existe anticorrelación entre el contenido de Zn y Cu de los productos apícolas en referencia a la saturación de oxígeno disuelto, se puede intuir que la carga orgánica adicionada a los cuerpos de agua es relativamente baja y no consumiría los recursos de oxígeno disuelto de los cuerpos de agua.
- Finalmente, la correlación media entre la concentración de Zn y Cu en las muestras analizadas y la concentración de fósforo en los cuerpos de agua y la anticorrelación entre dichos cuerpos y la concentración de nitritos y nitratos, sería un indicador del uso de fertilizantes fosfáticos en mayor medida que fertilizantes nitrogenados.

Para analizar los efectos antagónicos o estimulantes que se producen entre metales pesados para la translocación desde el suelo a la parte superior de la planta, se han determinado



coeficientes de correlación de Pearson entre la concentración de los metales pesados analizados determinados en el presente trabajo. En la Tabla 3 se muestran los coeficientes de correlación de Pearson determinados entre las concentraciones de Zn y Cu.

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación de Pearson entre Zn y Cu determinados en muestras de productos apícolas

Producto	Metales	Coefficiente Pearson	
cera	zn-cu	0,76	Coef. medio-alto en cera y polen
polen	zn-cu	0,70	
todos	zn-cu	0,07	Coef. negativo en miel (traslocación)
miel	zn-cu	-0,59	

En la Tabla 3 se observa un coeficiente de correlación negativo entre Zn y Cu, exclusivamente en miel. Esto se debería al efecto antagónico entre estos dos metales para la translocación desde las raíces de las plantas a su parte superior en donde se encuentra el néctar tomado por las abejas.

En la Tabla 4 se muestran los coeficientes de correlación de Pearson determinados entre las concentraciones de Zn, Cu y Pb exclusivamente en productos en que se determinó la presencia de Pb.

**Tabla 4.** Coeficientes de correlación de Pearson entre metales pesados determinados en muestras de productos apícolas (exclusivamente productos en los que se determinó presencia de Pb)

Producto	Metales	Coefficiente Pearson	
miel	zn-cu	1,00	Coef.alto Zn-Cu (incluso en miel (traslocación))
cera	zn-cu	0,91	
todos	zn-cu	0,89	
cera	pb-zn	0,28	Anticorrelación Pb-Zn,Cu (antagonismo)
cera	pb-cu	-0,15	
todos	pb-zn	-0,60	
todos	pb-cu	-0,68	
miel	pb-cu	-1,00	
miel	pb-zn	-1,00	

En la Tabla 4 se observa una perfecta correlación Zn-Cu en miel, cuando existe una anticorrelación perfecta entre Pb-Cu y Pb-Zn; esto se debería a que la presencia de plomo estaría anulando los efectos antagónicos Zn-Cu para la translocación de estos dos metales pesados desde las raíces a la parte superior de la planta donde se localiza el néctar que las abejas toman para generar la miel. El Zn y el Cu estarían produciendo un efecto antagónico en la translocación del Pb.

## CONCLUSIONES

Los resultados de la concentración de Pb, Zn y Cu en las muestras de productos apícolas, indican que existen trazas de estos elementos contaminantes en los compartimientos de la biósfera en la ciudad de Cuenca (o en parte de estos): aire, suelo y agua.

En la ciudad de Cuenca la actividad industrial estaría contaminando los suelos en forma muy baja y exclusivamente en las zonas aledañas al área industrial [26], razón por la cual la contaminación industrial no estaría incidiendo en las concentraciones de Pb, Cu y/o Zn en los diferentes productos apícolas registrados en el trabajo.

En ciertos sectores de la zona de estudio existe tráfico vehicular más o menos alto y en un sector se localiza una planta de generación termoeléctrica. La combustión de combustibles fósiles habría contaminando con Pb el medio ambiente en épocas en que los combustibles contenían tetraetilo de plomo como antidetonante (actualmente los combustibles ya no contienen Pb [27]).

En función de lo expuesto, se puede concluir que las concentraciones de Pb, Zn y Cu encontradas en las muestras de productos apícolas del presente estudio, provendrían del uso de agroquímicos y abonos de origen animal (estiércol) en las actividades agrícolas y ganaderas dentro de la zona de análisis, así como de la deposición de Pb en los suelos, desde una atmósfera contaminada en años anteriores por la combustión de combustibles fósiles que contenían tetraetilo de plomo.

Del análisis de concentración de Pb, Cd, Zn y Cu en los productos apícolas, se concluye que, para Pb y Cd, exceptuando una sola muestra de miel en la zona de Barabón, todas las muestras de productos tienen concentraciones de estos metales pesados que están por debajo de los límites de toxicidad determinados en el Códex Alimentarius, mientras que; para Zn y Cu, todas las muestras tienen concentraciones cuya ingestión no superará la ingesta máxima recomendada de estos metales pesados [18], incluso para consumo alto de productos apícolas en la alimentación diaria. El análisis del presente estudio contribuirá a mejorar la calidad de los productos de las colmenas [12]; se puede concluir que los productos de las colmenas alrededor de Cuenca no contienen concentraciones de de Pb, Cd, Zn y Cu que representen peligro para la salud humana.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Juan M. Aguilar gestionó el proyecto, analizó los datos y revisó el manuscrito, Johnny Beltrán escribió la propuesta, tomó las muestras, analizó los datos y redactó el manuscrito.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] Roubik, D. (1989). *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge University Press.
- [2] Fernandez, C. F. (2002). Filogenia y Sistemática de los himenópteros con aguijón en la Región Neotropical (Hymenoptera: Vespomorpha). En C. Costa, S. A. Vanin, J. M. Lobo y A. Melic, *Proyecto Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática PrIBES 2002*. Monografías Tercer Milenio (Vol. II, págs. 101-138). SEA.
- [3] Lietaer, C. (18-23 de octubre de 2009, octubre 18-23). *Impacto de la apicultura en la conservación de los bosques, de los ecosistemas forestales y la reducción de la pobreza*. [Conferencia]. XII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. [http://www.cadamda.org.ar/portal/index.php?option=com\\_content&task=view&id=418&Itemid=81](http://www.cadamda.org.ar/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=418&Itemid=81)
- [4] van der Perck, M. (2014). *Soil and Water Contamination* (2.a ed.). CRC Press.
- [5] Barišić, D., Bromshenk, J.J., Kezić, N., Vertačnik, A., Devillers, J., y Pham-Delègue, M. (2002). The role of honey bees in environmental monitoring in Croatia. En J. Devillers, y M.-H. Pham-Delègue (Eds.), *Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals* (pp. 161-187). CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203218655>.
- [6] Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press/Taylor & Francis Group. doi: <http://doi.org/10.1017/S0014479711000743>
- [7] Zimdahl, R. L. (1976). Entry and movement in vegetation of lead derived from air and soil sources. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 26(7), 655-660. <https://doi.org/10.1080/00022470.1976.10470298>
- [8] Alloway, B. J. (2010). *Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3.a ed.). Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- [9] Codling, E. (2007). Long-term effects of lime, phosphorus and iron amendments on water-extractable arsenic, lead and bioaccessible lead from contaminated orchard soils. *Soil Science*, 172(10), 811-819. doi: <http://doi.org/10.1097/S5.0b013e3180dc9aa3>
- [10] Porrini, C., Ghini, S., Girotti, S., Sabatini, A., Gattavecchia, E. y Celli, G. (2002). Use of honey bees as bioindicators of environmental pollution in Italy. En J. Devillers, y M.-H. Pham-Delègue (Eds.), *Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals* (pp. 188-224). CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203218655>
- [11] Formicki, G., Greń, A., Stawarz, R., Zyśk, B., y Gał, A. (2013). Metal Content in Honey, Propolis, Wax, and Bee Pollen and Implications for Metal Pollution Monitoring. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(1), 99-106. <http://www.pjoes.com/Metal-Content-in-Honey-Propolis-Wax-r-and-Bee-Pollen-and-Implications-for-Metal,88957,0,2.html>
- [12] Džugan, M., Tomczyk, M., Sowa, P. y Grabek-Lejko, D. (2018). Antioxidant Activity as Biomarker of Honey Variety. *Molecules*, 23(8), 2069. <https://doi.org/10.3390/molecules23082069>
- [13] Cabrera de Oliveira, R., do Nascimento Queiroz, S. C., Fernandes Pinto da Luz, C., Silveira Porto, R. y Rath, S. (2016). Bee pollen as a bioindicator of environmental pesticide contamination. *Chemosphere*, 163, 525-534. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.022>
- [14] Bargańska, Ż., Ślebioda, M. y Namieśnik, J. (2016). Honey bees and their products: Bioindicators of environmental contamination. *Critical reviews in environmental science and technology*, 46(3), 235-248. <https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1078220>
- [15] Gorza, G. E. (2007). *Biomonitoreo con Abejas. Estaciones Gemelas con Análisis Simultáneos*. Universidad Nacional del Sur: [https://www.apiservices.biz/documents/articulos-es/biomonitoreo\\_con\\_abejas.pdf](https://www.apiservices.biz/documents/articulos-es/biomonitoreo_con_abejas.pdf)
- [16] Rivera, J., Losada, H., Lopez, M., Cortes, J., Vieyra, J. y Grande, D. (2007). Sistema de producción de miel en las áreas peri-urbanas de Milpa Alta, sureste de Ciudad de México. *Livestock Research for Rural Development*, 19(2). <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd19/2/rive19029.html>
- [17] Fredes, C. y Montenegro, G. (2006). Contenido de metales pesados y otros elementos traza en mieles de abeja en Chile. *Ciencia e investigación agraria*, 33(1), 57-66. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/8283>
- [18] National Institutes of Health, disponible en: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Zinc-DatosEnEspañol/> y <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Copper-DatosEnEspañol/>
- [19] ETAPA E.P. (s.f.). *Monitoreo eco-hidrológico*. Recuperado en Agosto de 2021, de <https://geo.etapa.net.ec/monitoreoecohidrologico/>



- [20] Mohammed Elimam, A. M. (2020). Factors Affecting the Physicochemical Properties and Chemical Composition of Bee's Honey. *Food Reviews International*, 38(6), 1330-1341. doi: <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1810701>
- [21] Suescún, L., y Vit Olivier, P. (2008). Control de calidad de la miel de abejas producida como propuesta para un proyecto de servicio comunitario obligatorio. *Fuerza Farmacéutica*, 1(Año 12), 6-15. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/16252>
- [22] Aguilar, J., Alvarez, P., Molina, P. y, & Zarate, E. (2011). Algunos productos de las colmenas de la Abeja melífera (*Apis mellifera*) como indicadores para el monitoreo de metales pesados en el ambiente urbano de Cuenca. Universidad del Azuay. *Revista Universidad Verdad*, . Avances en la Ciencia y Tecnología.(54), 77-98. <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/2442>
- [23] Montiel, J., Marmolejo, Y., Castellanos, I., Pérez, F., Gaytán, J. y, & Fonseca, M. (2020). Niveles de cadmio, cromo y plomo en abejas (*Apis mellifera*) y sus productos en Hidalgo, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 7(1), 57-68. <http://reibci.org/publicados/2020/jul/3900105.pdf>
- [24] Fakhimzadeh, K. y, & Lodenius, M. (2000). Heavy metals in finish honey, pollen and honey bees. *Apiacta*, 35(2), 85-95. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/249/2000r-Apiacta.pdf?isAllowed=y&sequence=2>
- [25] Condor Salazar, F. (2015). Determinación de metales pesados en miel de abeja para su evaluación como indicador ambiental en zonas contaminadas, en la provincia de Ppichincha-Ecuador. Quito. [Tesis].: ESPE, Universidad de las Fuerzas Armadas. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10886/1/T-ESPE-049241.pdf>
- [26] Tello, M. (2018). Determinación de las concentraciones de plomo y cadmio en suelos de sectores aledaños al parque industrial de la ciudad de Cuenca. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 2(número especial mayo de 2018(ISSN: 2588-073X)), 560-577. doi: <http://doi.org/10.26820/recimundo/2.esp.2018.560-577>
- [27] ONU. Programa para el medio ambiente. (30 de agosto de 2021). El mundo pone fin a la era de la gasolina con plomo y elimina una grave amenaza para la salud humana y ambiental. *ONU. Programa para el medio ambiente*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-pone-fin-la-era-de-la-gasolina-con-plomo-y>

## Predicción de la quiebra empresarial en el sector agroindustrial de la ciudad de Machala

Johanna Rivadeneira<sup>1</sup>, Ramiro Saltos<sup>\*2</sup>, María Rivera<sup>3</sup>, Raúl Carpio<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ESAI Business School, Universidad Espíritu Santo, Km. 2,5 Vía a Samborondón, Ecuador.

<sup>2</sup>Facultad de Innovación y Tecnología, Universidad Del Pacífico, Km. 7,5 Vía a la Costa, Ecuador.

<sup>3</sup>ESAI Business School, Universidad Espíritu Santo, Km. 2,5 Vía a Samborondón, Ecuador.

<sup>4</sup>ESAI Business School, Universidad Espíritu Santo, Km. 2,5 Vía a Samborondón, Ecuador.

\*Autor de Correspondencia. e-mail: [rjsaltos1989@gmail.com](mailto:rjsaltos1989@gmail.com)

## Prediction of Corporate Bankruptcy in the Agro-industrial Sector of Machala City

### Resumen

En el presente trabajo se propone un modelo de predicción de quiebra empresarial para las organizaciones agroindustriales domiciliadas en la ciudad de Machala, Ecuador. Para la construcción del modelo se consideró una población de 311 empresas listadas en el portal de información de la Superintendencia de Compañías del Ecuador (SC) y 13 de los 20 indicadores financieros reportados por el mismo ente, los cuales fueron seleccionados por medio de un análisis de correlación. Dado que el problema de predicción de quiebra suele ser desbalanceado por naturaleza (hay más empresas activas que inactivas en los datos), se utilizó un muestreo aleatorio simple en la base de empresas activas para igualar en cantidad a la base de empresas inactivas. Como resultado, el modelo de predicción de quiebra, basado en árboles de decisión, tiene una confiabilidad/precisión del 78,57 %, la cual es aceptable en comparación con la de otros modelos propuestos en la literatura. Finalmente, el modelo se aplicó en el ejercicio fiscal 2018 obteniendo una alerta temprana para 190 empresas de la rama en estudio, lo cual sugiere un revisión minuciosa de su situación contable-financiera para evitar posibles problemas futuros y salvaguardar la economía de la región y las plazas de trabajo que estas compañías proveen.

**Palabras clave:** Analíticas de Negocios, Modelos de predicción, Árboles de decisión, Finanzas.

### Abstract

In this paper, a corporate bankruptcy prediction model is proposed for agro-industrial organizations domiciled in the city of Machala, Ecuador. We built the model considering a population of 311 companies in the Superintendencia de Compañías del Ecuador (SC) information portal and 13 of the 20 financial ratios reported by the same entity, selected through a correlation analysis. Since the bankruptcy prediction problem tends to be unbalanced (there are more active than inactive firms in the data), simple random sampling on the active firm base was used to equate quantity to the inactive companies



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /

Edited by:

Eva O.L. Lantsoght

Recibido /

Received:

25/04/2022

Aceptado /

Accepted:

07/10/2022

Publicado en línea /

Published online:

12/12/2022



base. As a result, the prediction model based on decision trees has a reliability/accuracy of 78.57%, which is acceptable compared to other models proposed in the literature. Finally, the model was applied in the 2018 fiscal year, obtaining an early warning for 190 companies in the branch under study. This suggests a thorough review of their accounting-financial situation to avoid possible future problems and safeguard the region's economy and the jobs these companies provide.

**Keywords:** Business Analytics, Prediction models, Decision trees, Finance.

---

## INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país con condiciones agroecológicas únicas, lo cual ha facilitado la producción y exportación de bienes primarios [1]. Entre las provincias más ricas en recursos naturales se encuentra El Oro. A la riqueza de sus tierras, donde tradicionalmente se ha producido banano, cacao, café, camarón, entre otros, se añaden dos elementos de especial importancia: un grupo poblacional joven en edad económicamente activa y un clima que favorece la producción de bienes del sector primario, otorgándole a la región ventajas comparativas y competitivas sobre otras provincias del país. A pesar de la importancia que tiene la provincia para el desarrollo del Ecuador, existen pocas investigaciones que describan su tejido empresarial, así como la estructura financiera y de gestión comercial de las organizaciones que hacen vida en ella [2].

La quiebra empresarial es un problema importante para la economía de las naciones. Las crisis financieras que suelen presentarse de forma paulatina cada cierto tiempo, llevan a las empresas a reaccionar de forma inmediata frente a los cambios en los entornos del mercado donde operan, pues de otra manera corren el riesgo de deteriorar su situación financiera y provocar su quiebra. Los gerentes se ven abocados por un gran volumen de datos, información y a un sinfín de posibilidades para el diseño y análisis de escenarios. Esta diversidad de enfoques y herramientas hacen necesario seleccionar una técnica que identifique de forma acertada el deterioro de los estados financieros, permitiendo la formulación y ejecución de políticas que garanticen la supervivencia de la empresa [3]. Dado el movimiento que las empresas generan en la economía de un país, es necesario que tanto inversionistas como organismos estatales cuenten con herramientas adecuadas de predicción de la posibilidad de quiebra de una compañía, de tal manera que se puedan tomar acciones correctivas a tiempo y evitar que la bancarrota afecte tanto a los trabajadores como a la economía de la nación.

En la literatura, existen varios modelos basados en numerosas técnicas cuantitativas para estudiar la quiebra empresarial, entre los cuales destaca el famoso modelo de Altman [4, 5]. Posterior a este, numerosos modelos similares han sido propuestos utilizando como mecanismo principal el análisis discriminante multivariado [6-9]. Las principales diferencias de estas propuestas radican en las variables predictoras usadas para construir el modelo de clasificación, el tamaño de la muestra, el país y el sector económico de estudio, entre otras características [4, 10, 11]. Al disponer de herramientas financieras cuantitativas como lo son los modelos de predicción de bancarrota empresarial, los inversionistas y



los organismos de control pueden estimar hasta con cinco años de anticipación el riesgo potencial de quiebra que tiene una organización, de tal forma que se pueda alertar a esta para que ejecute planes de acción para salir de dicha posible crisis futura. Por lo anterior, se hace necesario en nuestro país la investigación y desarrollo de estas herramientas.

El objetivo del presente trabajo es aplicar los árboles de decisión para construir un modelo de predicción de quiebra empresarial para el contexto ecuatoriano, específicamente, para el sector de las empresas agroindustriales domiciliadas en la ciudad de Machala, provincia de El Oro. Para esto se toma como base la revisión de la literatura, tanto a nivel nacional como internacional, de los diferentes modelos disponibles. Esta investigación aporta información útil para empresas de otros sectores que en el futuro deseen adaptar modelos de predicción de quiebra e implementar medidas correctivas que las beneficien, y así disminuir la posibilidad que se generen problemas que las lleven a la bancarrota.

El resto del documento se encuentra estructurado de la siguiente manera: En la Sección Fundamentos teóricos y revisión de la literatura se presenta el marco teórico junto con los trabajos recientes relacionados con los modelos de predicción de quiebra tanto en el ámbito internacional como nacional. La Sección Metodología presenta el diseño metodológico de la investigación, la obtención de los datos, selección de variables y el método para modelar la quiebra. Por su parte, en la Sección Modelo de predicción de quiebra propuesto se desarrolla el nuevo modelo de predicción de quiebra, se analiza su desempeño y se presenta un caso de aplicación para ejercicio fiscal 2018. Finalmente, la Sección Conclusiones y trabajo futuro presenta las principales conclusiones obtenidas con el estudio y discute algunas ideas para trabajo futuro.

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

### La quiebra empresarial

La quiebra de las empresas es un problema muy relevante en el mundo contemporáneo, no solo por las distintas recesiones económicas que han afectado a los países en los últimos cien años, sino por situaciones fortuitas como desastres naturales locales o a mayor escala, casos como la emergencia sanitaria presentada por el Covid-19. Esto último ha conllevado a las empresas a confrontar innumerables dificultades que han provocado reducción de ventas y sueldos, aumento del desempleo y del subempleo [12] y lamentablemente, la quiebra de varias de estas. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [13], la quiebra de empresas es una consecuencia a mediano y largo plazo considerado dentro de los costos económicos del Covid-19, por lo que los países han impulsado estímulos fiscales para impedir la quiebra generalizada en sus territorios [14, 15]. En Ecuador, las medidas buscan disminuir la insolvencia para evitar la quiebra [16]. A pesar de que empresas estatales como Tame EP [17] o Correos del Ecuador EP [18] ya se encuentran en proceso de liquidación; existen otras organizaciones que debido a la paralización pueden presentar pronta quiebra y generar una cadena por desabastecimiento de materia prima y servicios en sus procesos productivos [19].

En concordancia con el problema que sugiere la quiebra empresarial, existe el permanente interés que esto representa para un amplio conjunto de agentes



económicos, políticos y sociales [20]. Desde la introducción del término en 1966, varias definiciones similares han sido propuestas en la literatura, tales como quiebra, bancarrota, fragilidad, entre otras. Las referencias [20] y [21] presentan una larga lista de definiciones acuñadas desde la introducción del tema en 1966. En la Tabla 1, de elaboración propia, se muestra la actualización de dichos conceptos hasta la fecha. De manera general, se puede decir que la quiebra de una empresa constituye un estado de crisis de su actividad económica, lo cual impide el cumplimiento de sus obligaciones financieras, representando así, un desequilibrio entre los valores realizables y las prestaciones exigibles.

**Tabla 1.** Definiciones de quiebra empresarial 2014 - presente

Término	Definición	Referencia
Quiebra	Procedimiento legal, mediante el cual se declara al deudor incapacitado para cumplir con sus obligaciones financieras, debido a su insolvencia.	[22]
Quiebra	Falta de solvencia.	[23]
Insolvencia	Situación en la que la empresa no puede atender sus pagos por razones de tesorería, depreciación de activos, vaciamiento de liquidez en los mercados financieros, etc.	[24]
Quiebra	Falta de liquidez causada en su gran mayoría por la ausencia o retraso en los pagos y la disminución en el consumo.	[25]
Quiebra	Según la ley española, se presenta cuando el deudor no es capaz de cumplir con sus obligaciones exigibles de manera regular, lo cual obliga a las empresas a pasar por un proceso sea concursal (concurso de acreedores) o por una liquidación voluntaria.	[26]
Insolvencia, fracaso o quiebra	Presentan signos de vulnerabilidad financiera y se contraponen al concepto de empresas sanas o sin estas dificultades.	[27]
Quiebra, Liquidación.	La quiebra es un proceso donde el deudor inicia una moratoria en los pagos y trata de lograr un acuerdo de bancarrota. La liquidación es un proceso en el cual se busca pagar a los acreedores por medio de la disolución del deudor sin sucesión conforme a la ley.	[28]

Fuente: Elaboración propia



Como se puede apreciar en la Tabla 1, la evolución de la conceptualización de la quiebra empresarial mantiene el hilo conductor presentado en [21], que corresponde a la imposibilidad de la organización para cumplir con sus responsabilidades y pagos, empleando en su mayoría los términos quiebra o fracaso. Los autores definen la quiebra desde las perspectivas judiciales, financieras o económicas del país de estudio. Desde el punto de vista legal, corresponde a la bancarrota o quiebre legal [29]. La perspectiva financiera se relaciona con la falta de solvencia o liquidez para cubrir las deudas tal como lo exponen en las referencias [29-31]; mientras que desde la perspectiva económica, la quiebra es cuando la empresa tiene patrimonio neto negativo, el cual es insuficiente para cubrir sus costos [29]. En las referencias [32] y [33], se define el concepto con base en dichos síntomas. En esta categoría, la quiebra supone un estado de crisis que no le permite continuar a la empresa con sus actividades por el incumplimiento a sus obligaciones financieras; sin embargo, no necesariamente considera el cierre o cese de operaciones [21].

En este trabajo de investigación la definición de quiebra empresarial que se acoge es la planteada en la referencia [28] por ser la que más se asemeja al contexto legal en Ecuador.

## Modelos de quiebra empresarial

Entre los primeros modelos de predicción de quiebra empresarial se encuentra el desarrollado por Beaver [34], quien descompuso varios ratios financieros a través de herramientas estadísticas como el análisis univariante, el análisis de varianza y el test dicotómico. El autor indica que el ratio entre el flujo de caja resultante y la deuda de la empresa es un indicador muy confiable en la determinación de la solvencia y liquidez de las organizaciones. Posteriormente, Altman [4] propone un nuevo modelo el cual calcula una puntuación que predice la posibilidad de quiebra de una compañía durante los próximos cinco años, utilizando como técnica estadística el análisis discriminante multivariado [11].

Por otra parte, Olhson [35] fue uno de los primeros autores en utilizar un método estadístico diferente a los que anteriormente se habían utilizado para predecir la probabilidad de quiebra de las empresas. Su metodología se basó en el desarrollo de un modelo econométrico de probabilidad condicional con base en la regresión logística. El principal hallazgo de su estudio fue que es posible identificar cuatro factores básicos estadísticamente significativos que afectan la probabilidad de quiebra: (1) el tamaño de la empresa, (2) una o varias medidas de la estructura financiera, (3) las medidas del desempeño y (4) las medidas de liquidez actuales.

Posterior al trabajo presentado por Altman, varios modelos de predicción de quiebra han sido propuestos en la literatura utilizando el enfoque del análisis discriminante multivariado [6-9], los cuales se diferencian principalmente por las variables predictoras usadas para construir el modelo, el tamaño de la muestra, el país y sector económico de estudio, entre otras características. Así mismo, otro método estadístico utilizado en la construcción de modelos de predicción de quiebra empresarial es la regresión logística, tal como se muestra en las referencias [10, 36, 37]. En estos trabajos, los autores realizan una comparación exhaustiva de los modelos existentes, no sólo del área estadística, sino también de otras áreas matemáticas y de las ciencias computacionales. Por ejemplo, una de las áreas que ha ganado mucha acogida en los últimos años, en especial por



el aumento considerable del poder de procesamiento de los computadores, es la inteligencia artificial o “machine learning” [38, 39]. Los modelos de predicción de quiebra corporativa derivados de esta comunidad científica están basados principalmente en Support Vector Machines [40] y Árboles de Decisión [41]. En el presente documento mencionaremos únicamente los modelos basados en árboles de decisión [27, 42-47].

El primer modelo de predicción de quiebra basado en árboles de decisión fue propuesto por Frydman [43]. El objetivo de dicho trabajo fue proponer un modelo no paramétrico que combine los enfoques de análisis univariado y multivariado, para mejorar su rendimiento en comparación de aquellos generados con el análisis discriminante. Como resultado, la precisión fue superior a los principales métodos de la época tales como el Z-Score de Altman y el modelo de Beaver. Posteriormente, Gepp [44] investigó más a fondo las ventajas y desventajas que existen al generar modelos de predicción de quiebra usando árboles de decisión, pero esta vez usando distintos algoritmos para su construcción. Como resultado se obtuvo que los árboles de decisión pueden tener mejor rendimiento en comparación con las técnicas estadísticas tradicionales.

Por otra parte, Blanco [42] propone un modelo híbrido con base en la regresión logística y los árboles de decisión, el cual obtiene un mejor desempeño en comparación con aquellos generados de forma aislada con cualquiera de las dos técnicas. De esta manera busca explotar las ventajas de los métodos paramétricos y no paramétricos en la predicción de la quiebra empresarial. Finalmente, Caro [27] propone varios modelos de predicción de quiebra para varias economías de América Latina, entre ellas Chile, Perú y Argentina. Como resultado se obtuvo que los indicadores financieros más relevantes para la predicción de la quiebra varían en función del país.

Como se puede apreciar, el área de predicción de quiebra empresarial tiene mucha relevancia a nivel internacional, lo cual se ve justificado por la gran cantidad de trabajos de investigación de diferentes comunidades científicas dirigidos a la creación de modelos de predicción de quiebra [10, 36, 48]. Por otro lado, en Ecuador no existen muchos estudios realizados con el enfoque de desarrollar modelos de predicción de la quiebra empresarial. Los trabajos más recientes en esta línea son aquellos de las referencias [49-51].

Por su parte, Morales [49] propone un modelo de predicción de quiebra para el entorno ecuatoriano utilizando empresas del sector agrícola. Para la elección de la técnica de modelado, comentó sobre tres posibilidades: redes neuronales, regresión logística y el Z-score de Altman. Basado en el hecho de que este último es el más fácil de entender y desarrollar, implementa en SPSS un Z-score para Ecuador utilizando la información de la Superintendencia de Compañías. La principal deficiencia de este trabajo es el hecho que no se hace una selección objetiva de la técnica de modelado, ni se valida la precisión del modelo propuesto.

Por otro lado, Chávez [50] desarrolla un modelo Probit y un modelo Logit para medir la fragilidad de las empresas ecuatorianas. Para ello utilizan un total de 22854 empresas listadas en la Superintendencia de Compañías en el año 2013. Los resultados arrojaron que el retorno sobre la inversión (ROA), el retorno de la empresa (ROE) y la liquidez son los factores predominantes a la hora de estimar la fragilidad de una empresa. A pesar



de que su muestra no hace distinción de sectores industriales, la cantidad de empresas declaradas en quiebra durante el periodo de estudio es aproximadamente el 2 % del tamaño total de la muestra. Esto produce que los modelos sean construidos utilizando una base de datos sesgada hacia las empresas que aún se encuentran operativas. Es decir, el modelo tendrá más posibilidad de medir la fragilidad de empresas bien constituidas que aquellas que no lo están.

Finalmente, Cueva [51] propone un modelo basado en análisis discriminante para determinar cuáles son los ratios financieros que influyen significativamente en la gestión del riesgo financiero de las empresas de la séptima región del Ecuador. Para la construcción del modelo se utilizó una muestra de 71 empresas manufactureras y como variables predictoras se consideraron 12 ratios financieros. Los resultados mostraron que la liquidez, la rentabilidad del activo total, el apalancamiento total y la rentabilidad del patrimonio son los factores más importantes a la hora de determinar el riesgo de las industrias. Como se puede apreciar, la investigación considera un reducido tamaño de la muestra, la sectorización de esta y no valida los resultados obtenidos.

En resumen, se puede observar que los trabajos de investigación orientados al análisis y predicción de la quiebra empresarial en el Ecuador cuentan con varias oportunidades para su mejora y extensión. Por esto, es necesario que se realicen nuevas investigaciones que las exploten, puesto que un adecuado análisis de los riesgos de bancarota de las compañías ecuatorianas podrían aportar conocimientos importantes a la hora de diseñar políticas públicas de apoyo a las empresas que se encuentran dentro de este perfil de riesgo.

## Árboles de Decisión

Los árboles de decisión (DT) son modelos de predicción utilizados en diversos ámbitos que permite estimar distintas alternativas facilitando la toma de decisiones. Mediante una base de datos, se elaboran diagramas de construcción lógica similares a los sistemas de predicción basados en reglas [52], que sirven para representar y categorizar una serie de condiciones que ocurren de forma sucesiva en la resolución de un problema. Su objetivo principal es clasificar una observación dentro de una categoría específica, similar a los modelos de análisis discriminante y de regresión logística [52, 53].

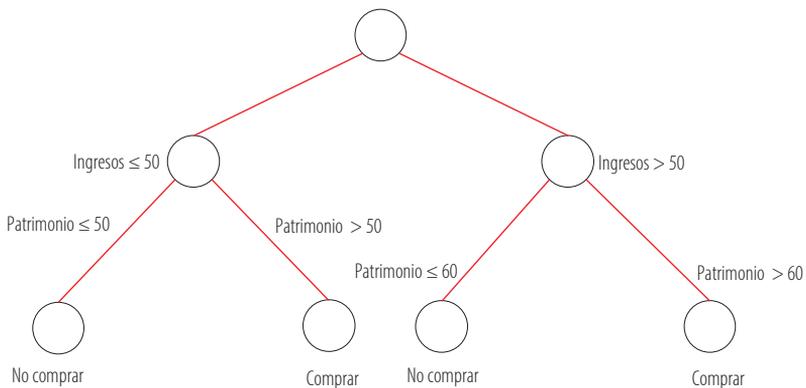
Una de las ventajas de utilizar un árbol de decisión con respecto a otros métodos es la posibilidad de combinar varias técnicas para obtener predicciones más robustas con un coste computacional más bajo. Así mismo, su estructura permite analizar las alternativas, los eventos, las probabilidades y los resultados de un problema de forma gráfica, lo que facilita su interpretación e implementación práctica [6]. Para construir un árbol de decisión se requiere [53]:

1. La variable de respuesta debe ser cualitativa y estar acotada a un conjunto bien definido de categorías.
2. Las observaciones que se utilicen para construir el árbol ya deben estar asignados a una respectiva categoría, así como también deben ser vastos y diversos.

En la Figura 1 se muestra la representación gráfica de un árbol de decisión. Como se puede apreciar, por medio del árbol de decisión, se puede clasificar de forma ágil e intuitiva una observación en alguna de las categorías existentes. En el ejemplo de la Figura 1, si una empresa tiene ingresos menores a 50 u.m. y un patrimonio mayor a 50 u.m., entonces se la categoriza como comprable; caso contrario, si el patrimonio es menor a 50 u.m., entonces es mejor no adquirirla. La facilidad de interpretación de los resultados es una de las ventajas que tiene esta herramienta matemática junto con el hecho que no asume ningún tipo de supuesto acerca de los datos usados para construirlo [6, 52, 53].

Dentro de la terminología comúnmente utilizada con los árboles de decisión se encuentran los siguientes conceptos [53]:

- **Nodos:** Los nodos son en un árbol de decisión aquellos elementos representados mediante figuras geométricas (cuadrados o círculos), que representan una decisión/pregunta que se debe tomar/contestar en esa instancia. Existen tres tipos de nodos en un árbol de decisión.



**Figura 1:** Árbol de decisión para comprar o no una empresa [6].

- **sRama o sub-árbol:** Es una porción específica del árbol de decisión que no necesariamente incluye al nodo raíz.

Existen otros elementos que conforman un árbol de decisión, los cuales serán abordados con mayor detalle en la Sección Árbol de decisión para la quiebra empresarial.

## METODOLOGÍA

En esta sección se presenta de forma detallada la metodología utilizada para abordar el problema de investigación y desarrollar el modelo de predicción de quiebra empresarial.



## Características de la investigación

Para el presente trabajo se ha definido la población de estudio como todas aquellas empresas domiciliadas en la ciudad de Machala, provincia de El Oro, activas en el año 2014, cuya actividad económica principal se categoriza dentro de la rama "A" correspondiente con el sector de "Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca", conforme al código CIIU del Servicio de Rentas Internas del Ecuador (SRI). Para la obtención de los datos se utilizan fuentes secundarias, en particular, el portal de información de la Superintendencia de Compañías.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo de alcance correlacional debido a que se utiliza los indicadores financieros proporcionados por el agente regulador estatal (Superintendencia de Compañías), para ajustar un modelo estadístico para pronosticar la quiebra de las empresas y así determinar si existe una relación entre los indicadores financieros de una empresa y su posibilidad de quiebra. Adicionalmente, el diseño de la investigación es no experimental transversal debido a que se utiliza los datos del año 2014 para predecir la quiebra de una empresa cuatro años en el futuro, es decir en 2018.

## Obtención de los datos y pre-procesamiento

Como se mencionó en la Sección Características de la investigación, la población de estudio está compuesta por todas las empresas domiciliadas en la ciudad de Machala que se encontraban activas en el año 2014 y que pertenecen a la rama económica "A" según la clasificación CIIU del Servicio de Rentas Internas. Los indicadores financieros de estas compañías se obtuvieron del portal de información de la Superintendencia de Compañías. En total, la base de datos está compuesta por 311 empresas, de las cuales 239 seguían operando en el año 2018. La distribución de las empresas según su tamaño es: 4 % empresas grandes, 35 % empresas medianas, 34 % empresas pequeñas y 27 % microempresas. Así mismo, la Superintendencia de Compañías proporciona la información de 20 indicadores<sup>1</sup> financieros calculados a partir de los balances contables del año en cuestión.

Para determinar si una empresa activa en el año 2014 seguía operando en el 2018 se tomaron en cuenta dos condiciones: (1) que el RUC de la empresa esté considerado en el informe de indicadores financieros del 2018 y (2) que su situación legal establezca que la empresa aún está activa. Usando estas dos condiciones, se agregó la variable de respuesta a la base de datos, la cual nos indica si la empresa sigue o no operando en 2018.

## Selección de variables

Uno de los principales factores que afectan negativamente el rendimiento de cualquier modelo estadístico es la correlación entre las variables que lo componen [54]. Por esta razón se calculó la matriz de correlación de los 20 indicadores financieros para determinar si existe o no dependencia lineal entre las variables predictoras. Como resultado de este análisis se eliminaron las siguientes variables de la base de datos:

1

Para un mayor detalle sobre cómo se calculan los indicadores visitar <https://tinyurl.com/u75xjan>



1. Prueba ácida
2. Endeudamiento patrimonial
3. Periodo Medio de Cobranza
4. Margen Bruto
5. Endeudamiento del Activo Fijo
6. Periodo Medio de Pago
7. Margen Operacional.

La eliminación de estas variables no se basó únicamente en el análisis de correlación, sino también en la dependencia con su contraparte. Por ejemplo, el análisis mostró que Liquidez corriente y Prueba ácida están correlacionadas. Según la metodología establecida por la Superintendencia de Compañías<sup>1</sup>, para calcular la variable Prueba ácida se requiere de la variable Liquidez corriente, es decir, Prueba ácida depende de Liquidez corriente. Con este fundamento, se decidió eliminar Prueba ácida y mantener Liquidez corriente. Un análisis similar se realizó para las variables restantes.

En la literatura existen otros métodos para seleccionar las variables predictoras que se incorporan en un modelo estadístico. Estos se basan ya sea en herramientas estadísticas o en herramientas de inteligencia artificial. El estudio de estos métodos está fuera del alcance del presente trabajo, el lector interesado puede consultar la referencia [55].

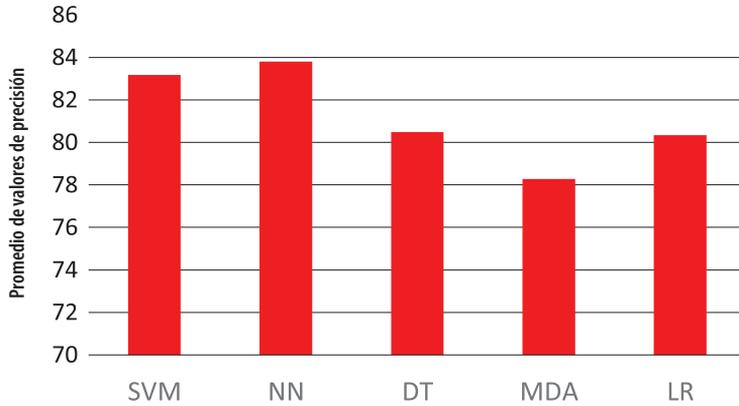
Una vez realizado el preprocesamiento de la base de datos, esta quedó conformada por 311 empresas y 13 indicadores financieros, así como también por la variable de respuesta que indica si la empresa sigue activa o no en el año 2018.

### **Elección del método estadístico**

Como se pudo apreciar en la Sección Modelos de quiebra, existen varios métodos matemáticos para construir los modelos de predicción de quiebra empresarial. Según Alaka [36], los más utilizados son:

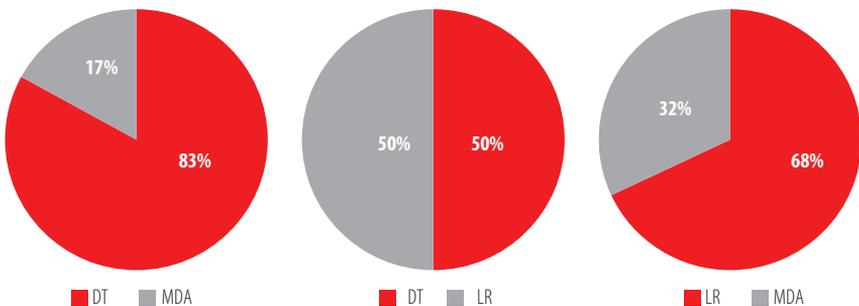
- Redes neuronales artificiales (NN).
- Support vector machines (SVM).
- Árboles de decisión (DT).
- Regresión logística (LR)
- Análisis discriminante multivariado (MDA).

De estos métodos, los dos primeros pertenecen al campo de la Inteligencia Artificial y los tres últimos al de la Estadística. En la Figura 2 se puede apreciar el rendimiento promedio que tienen estas herramientas a la hora de predecir la quiebra empresarial.



**Figura 2:** Precisión promedio de las herramientas de predicción de quiebra empresarial [36].

Como se puede apreciar, las redes neuronales alcanzan una precisión promedio de casi el 84 %, mientras que el análisis discriminante presenta el rendimiento más pobre con poco más del 78 %. Entre las herramientas estadísticas, la regresión logística y los árboles de decisión destacan en este aspecto. En el mismo estudio, Alaka [36] realiza un análisis comparativo exhaustivo del desempeño de los modelos de predicción de quiebra construidos con cada una de las herramientas mencionadas. En la Figura 3 se puede apreciar que tanto los árboles de decisión como la regresión logística tienen mejor rendimiento que el análisis discriminante multivariado. Hay que recordar que este último fue la herramienta escogida por Altman para desarrollar su famoso modelo Z-score.



**Figura 3:** Porcentaje de estudios que muestran que una herramienta es más precisa que otra [36].

Finalmente, Alaka [36] también propone un marco metodológico para seleccionar la herramienta más adecuada para construir un modelo de predicción de quiebra. Entre los criterios a considerar para seleccionar dicha herramienta están:



- La facilidad de interpretación de los resultados, donde el árbol de decisión es superior.
- Tipo de variables predictoras a considerar, pudiendo ser cuantitativas, cualitativas o ambas. Los árboles de decisión y la regresión logística pueden manejar ambos tipos, mientras que el análisis discriminante no lo hace.
- Sensibilidad a la correlación, donde el árbol de decisión es el menos afectado.
- Supuestos que deben cumplir los datos, donde una vez más el árbol de decisión se muestra como el más flexible.
- Tipo de relación entre las variables, donde la regresión logística exige que se relacionen por medio de una función logística, el análisis discriminante requiere relaciones lineales y el árbol de decisión no exige este tipo de supuesto.
- Tamaño de muestra requerido, que en este caso todas las herramientas requieren que esta sea grande.

Con base en los argumentos anteriores y en las características que posee la base de datos que se utiliza para construir el modelo de predicción de quiebra, la herramienta seleccionada para el presente trabajo es el árbol de decisión.

## MODELO DE PREDICCIÓN DE QUIEBRA PROPUESTO

En esta sección se explica el desarrollo y construcción de un modelo de predicción quiebra empresarial para las empresas del sector agroindustrial de la ciudad de Machala basado en árboles de decisión. Se detalla la construcción del modelo, su interpretación, validación y mejora. Luego, se realiza un análisis de su rendimiento al compararlo con otros modelos propuestos en la literatura. Finalmente, como caso de aplicación, se utiliza el modelo propuesto para pronosticar, cuatro años en el futuro, la probabilidad de quiebra de las empresas que forman parte de la población de estudio que se encuentran activas en el año 2018.

### Árbol de decisión para la quiebra empresarial

Tal como se mencionó en la Sección Árboles de decisión, los árboles de decisión son herramientas matemáticas bastante flexibles y simples pero a su vez potentes para la creación de modelos de clasificación y han mostrado ser una de las herramientas estadísticas con mayor precisión para el estudio de la quiebra empresarial [36]. Además tienen otras grandes ventajas tales como:

- Es un método no paramétrico, por lo que no requiere realizar supuestos a priori sobre la distribución de probabilidad de los datos.
- La representación gráfica del modelo que se obtiene es fácil de entender, interpretar y aplicar a nivel práctico.



- Requiere menos preprocesamiento de los datos que otras técnicas estadísticas. Por ejemplo, no es sensible a la presencia de datos atípicos y no requiere la normalización de las variables.
- El tipo de las variables no es relevante. El árbol se puede construir considerando tanto variables cuantitativas como cualitativas.

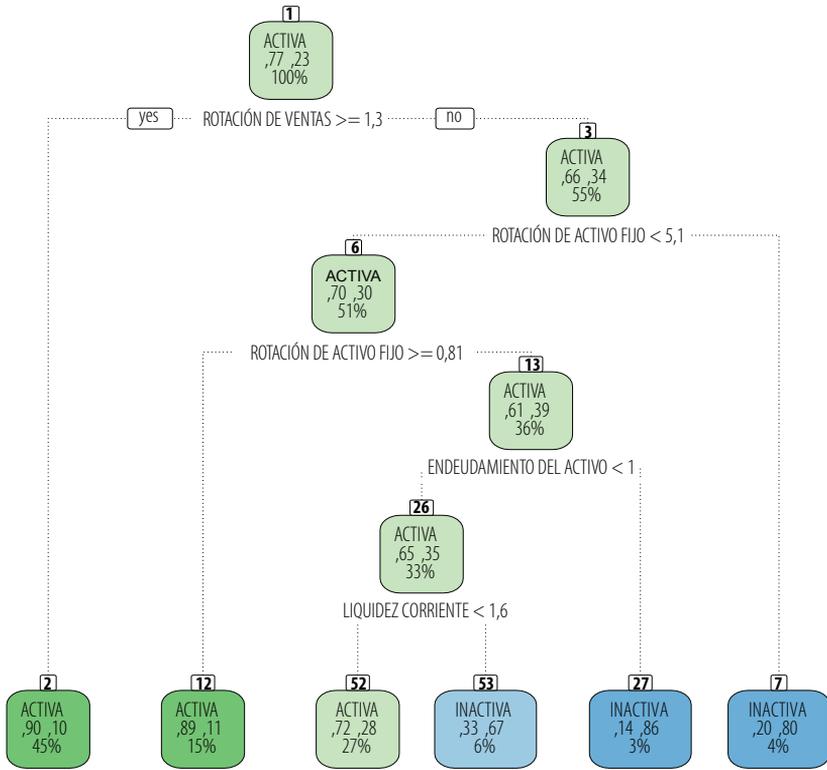
Debido a que en la base de datos que conforma la población de estudio se encontró la presencia de datos atípicos y por la escala de los valores se requeriría una normalización de estas, lo cual haría al modelo propuesto extremadamente dependiente de los datos utilizados, se decidió utilizar como técnica de modelado los árboles de decisión.

Para la construcción del modelo de predicción de quiebra basado en árboles de decisión se consideró que cualquier modelo de clasificación requiere que se divida aleatoriamente la base de datos en un conjunto de entrenamiento y otro de validación. La práctica empírica sugiere tomar el 80 % de los datos para el conjunto de entrenamiento y el restante para la validación [38]. La idea detrás de esta división es que los datos del conjunto de entrenamiento se usen para la construcción del modelo y los de validación para determinar qué tan bien funciona el modelo propuesto cuando se lo utiliza para clasificar datos que no forman parte de la muestra, esto permite determinar qué tan generalizable es el modelo construido.

Una vez separada la base de datos en un conjunto de entrenamiento y uno de validación, el árbol de decisión obtenido se muestra en la Figura 4. Este árbol fue construido usando el programa R considerando el 80 % de las 311 observaciones disponibles en la base de datos. Dentro de cada nodo se presenta la siguiente información:

- La etiqueta de clasificación que indica la categoría a la que debe asignarse cada empresa de la base de datos. Para el presente estudio, esta etiqueta presenta dos opciones: activa o inactiva.
- Las probabilidades a posteriori que indican la probabilidad de que la empresa pertenezca a dicha categoría al final del periodo de estudio. La probabilidad de la izquierda corresponde a la categoría de activa mientras que la de la derecha a la de inactiva.

El porcentaje de la muestra que se encuentra contenida en dicho nodo.



**Figura 4.** Árbol de decisión propuesto para la predicción de la quiebra empresarial

Para interpretar el árbol de decisión (Ver Figura 4) se procede de la siguiente manera:

- Si la rotación de ventas de una empresa es mayor igual a 1,3, se avanza por la rama hacia la izquierda, donde inmediatamente se la clasifica como activa, con una probabilidad del 90 %. Es decir, si una empresa tiene una rotación de ventas mayor o igual a 1,3, entonces tiene una probabilidad del 90 % de seguir activa cuatro años en el futuro.
- Si la rotación de ventas de una empresa no es mayor o igual a 1,3, se avanza por la rama hacia la derecha llegando al nodo 3. Este nodo indica que una empresa cuya rotación de ventas es menor a 1,3 tiene una probabilidad del 66 % de seguir activa al final del periodo de estudio. En este nodo se realiza una nueva pregunta: ¿es la rotación del activo fijo menor a 5,1? Si es así se avanza hacia el nodo 6, donde la probabilidad de que la empresa siga activa sube al 70 %. En este nodo se pregunta si la rotación del activo fijo es mayor igual a 0,81. Si es así se avanza hacia el nodo 12, donde se clasifica finalmente a la empresa como activa con una probabilidad del 89 %. En resumen, el árbol indica que una empresa con una rotación de ventas menor a 1,3 pero con una rotación del activo fijo entre 0,81 y 5,1 tiene una probabilidad de seguir activa del 89 %.



- Volviendo al nodo 3, si la rotación del activo fijo es mayor o igual a 5,1, entonces se avanza hacia la derecha al nodo 7, donde se clasifica a la empresa como inactiva con una probabilidad del 80 %. Es decir, una empresa con una rotación de ventas menor a 1,3 y con una rotación del activo fijo mayor a 5,1 tiene una probabilidad del 80 % de quebrar para el final del periodo considerado.

De forma similar, se pueden interpretar los demás nodos del árbol de decisión. Una vez construido el árbol de decisión, es necesario verificar la calidad de este. Para esto se utiliza el segundo conjunto de datos que se separó de la muestra, es decir, el conjunto de validación. Cada empresa que forma parte de este conjunto es clasificada usando el modelo propuesto y se contrasta si la clasificación asignada por el árbol es la misma que la asignada por la realidad, es decir, se determina si el árbol asigna una empresa que sigue activa como activa y a una empresa inactiva como inactiva. Este procedimiento produce la matriz de validación que se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Matriz de validación del modelo propuesto

	Activa	Inactiva
Activa	48	0
Inactiva	10	4

Fuente: Elaboración propia

En esta matriz se puede apreciar que de 48 empresas que están activas en 2018, a todas ellas el árbol las clasifica como activas, es decir, tiene una precisión del 100 %. Sin embargo, de las 14 empresas que ya no se encuentran operando en 2018, solo a cuatro de ellas la clasifica correctamente, es decir, tiene una precisión del 28,57 %. De manera global, el árbol tiene una confiabilidad/precisión del 83,87 %. A pesar que el modelo propuesto tiene un alto nivel de confiabilidad (comparado con el 72 % del modelo de Altman [4]), su habilidad para clasificar las empresas inactivas es muy baja. Para arreglar este problema se consideró que en la construcción de modelos de clasificación los grupos deben estar balanceados, es decir, que la cantidad de empresas activas sea aproximadamente igual a la cantidad de empresas inactivas [38]. Como esto no se cumple para la base de datos actual (239 activas/72 inactivas), se tomó una muestra aleatoria de 72 empresas activas, logrando así el equilibrio entre las clases [56]. Como resultado, se obtuvo un nuevo árbol de predicción quiebra mostrado en la Figura 5.

Para este nuevo modelo de predicción de quiebra, la matriz de validación se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3:** Matriz de validación del modelo mejorado

	Activa	Inactiva
Activa	11	3
Inactiva	3	11

Fuente: Elaboración propia



Si bien la precisión del nuevo modelo desciende al 78,57 %, el poder predictivo para las empresas inactivas sube al 78,57 %, lo cual es una mejora sustancial con respecto al árbol inicial (28,57 %). Para interpretar este nuevo modelo de quiebra se procede de igual forma que para el modelo inicial.

### Análisis del rendimiento del modelo propuesto

Uno de los principios fundamentales de la Estadística Inferencial establece que los resultados de un modelo estadístico son únicamente generalizables a la población de donde proviene la muestra con la cual se construyó dicho modelo [54]. Por lo anterior, es metodológicamente incorrecto tomar los modelos propuestos en la literatura y evaluarlos con la base de datos de este estudio. Sin embargo, por efectos de comparación, se toman los resultados reportados por los autores de dichos modelos en sus respectivos contextos.

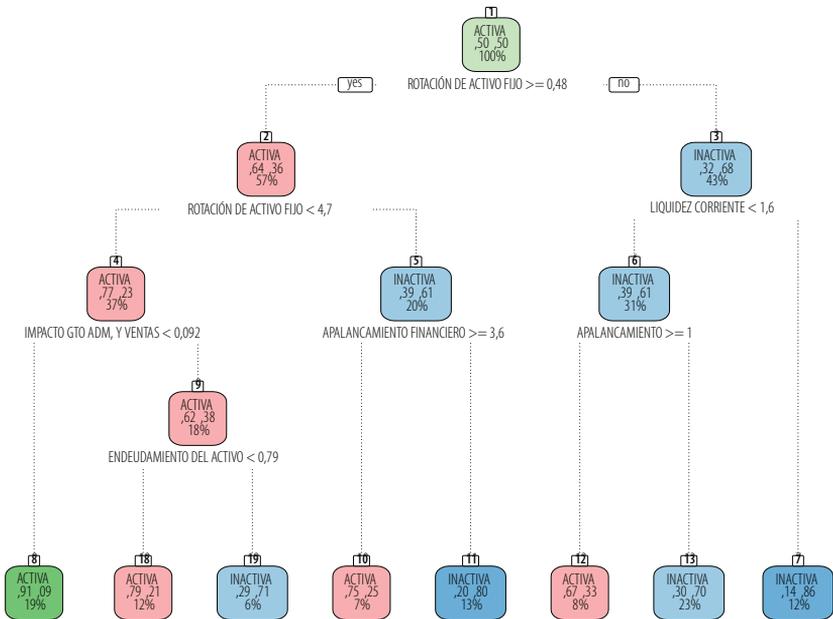


Figura 5: Árbol de decisión mejorado para la predicción de la quiebra empresarial.

Una de las medidas de desempeño más utilizadas para determinar la calidad de un modelo de clasificación es su precisión [38]. Si bien pueden existir otros indicadores, en el presente estudio se utiliza únicamente la precisión por ser el valor que se reporta con frecuencia en los modelos de predicción de quiebra. En la Tabla 4 se reporta el rendimiento de los principales modelos de predicción de quiebra empresarial propuestos en la literatura en los últimos tres años, así como también el de los trabajos pioneros en esta área. En la última fila de dicha tabla se presenta la precisión alcanzada por el modelo propuesto en esta investigación. Los lectores interesados en un análisis comparativo exhaustivo de los modelos existentes en la última década pueden referirse a los trabajos [10, 36].

**Tabla 4:** Precisión de modelos propuestos en la literatura

Año	Autor	Herramienta	Precisión
1966	Beaver [34]	UA <sup>2</sup>	76 %
1968	Altman [4]	MDA	29 %
1980	Ohlson [35]	LR	96 %
2018	Ayus [57]	LR	70 %
2018	Svabova [58]	MDA	93 %
2019	Durica [59]	DT	83 %
2019	Durica [60]	LR	88 %
2019	Korol [61]	DT	82 %
2020	Begovic [62]	DT	98 %
2020	Shrivastava [63]	LR	64 %
2020	Zorivcak [64]	LSDA	76 %
2020	<i>Nuestro modelo</i>	<i>DT</i>	<i>79 %</i>

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla 4, la mayoría de los modelos de predicción de quiebra propuestos en la literatura tienen una precisión reportada superior al 70 %, en sus respectivos contextos. Esto tiene mucho sentido puesto que el modelo base de predicción de quiebra sería lanzar una moneda, lo que otorga una precisión básica del 50 %. Con base en estos los resultados, el poder predictivo del modelo propuesto se encuentra dentro los estándares publicados en la literatura, por lo cual es un modelo con un rendimiento bastante aceptable dentro de su contexto.

### Aplicación del modelo para el ejercicio fiscal 2018

En el portal de información de la Superintendencia de Compañías se encuentra disponible el informe de indicadores financieros para el ejercicio fiscal 2018, el cual considera únicamente las empresas activas en dicho año. Se debe indicar que el informe correspondiente al año 2019 no se encuentra disponible a la fecha de realización de esta investigación, puesto que las empresas entregan sus estados financieros durante el transcurso del siguiente ejercicio fiscal. Después de verificar la situación legal de las empresas en el reporte disponible, se constató que actualmente 28 de ellas ya no se encuentran activas, lo cual puede deberse a que su situación legal cambió después de la publicación del informe.

Utilizando la base de datos del 2018 y después de eliminar las mismas variables correlacionadas indicadas en la sección Obtención de los datos y pre-procesamiento, se aplicó el modelo de predicción de quiebra propuesto en la Figura 5 obteniendo como resultado la Tabla 5.



**Tabla 5:** Pronostico para el ejercicio fiscal 2018

	Activa	Inactiva
Activa	245	190
Inactiva	5	23

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 5 se puede concluir que el modelo tuvo una precisión del 82,14 % al momento de clasificar una empresa inactiva como inactiva. Sin embargo, para las empresas que se encuentran actualmente operativas no se puede calcular esta precisión. Esto se debe a que no se puede conocer si las 245 empresas que el modelo clasifica como activas seguirán operativas cuatro años en el futuro. Por ahora, el modelo emite una alerta temprana para 190 de las compañías que se encuentran actualmente operando en el sector industrial competente a este trabajo de investigación. La información proporcionada por el modelo podría utilizarse como una guía para estudiar más a fondo la situación económica, financiera y comercial de estas compañías para orientarlas a que mejoren su productividad en caso de ser necesario.

## CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En el presente trabajo de investigación se construyó un modelo de predicción de quiebra empresarial para las empresas del sector agroindustrial domiciliado en la ciudad de Machala. Este se basa en los indicadores financieros del ejercicio fiscal 2014 para pronosticar la quiebra de una compañía cuatro años en el futuro (2018), por lo que el objetivo de este trabajo se cumplió. Tras realizar una revisión conceptual de las ventajas, desventajas y requisitos de diferentes técnicas cuantitativas para la generación de modelos predictivos, se seleccionó el árbol de decisión como la más adecuada para el contexto en estudio. Para la construcción del modelo de predicción de quiebra se consideró inicialmente una muestra de 311 empresas y 20 variables predictoras, la cual se redujo a un total de 144 empresas y 13 variables. Esto se hizo con la finalidad de obtener un conjunto de entrenamiento y validación adecuadamente balanceado entre empresas activas e inactivas. Con base en esto, se construyó el modelo de predicción de quiebra final el cual tiene un rendimiento/precisión del 78,57 %, lo que lo ubica dentro de los ocho trabajos recientes con mejor precisión publicados en la literatura consultada del tema en cuestión.

Adicionalmente a un buen rendimiento del modelo construido, también se obtuvieron otros resultados interesantes en el estudio de la quiebra en la población objetivo. Para clasificar aquellas empresas que seguirán activas cuatro años en el futuro, el modelo propuesto arrojó que los indicadores financieros más relevantes son:

1. Rotación del Activo Fijo, definido como la eficiencia que la organización tiene en el uso de sus activos fijos para generar ventas de sus productos o servicios. Según los resultados arrojados por el modelo, este indicador debe de oscilar entre 0,48 y 4,7, lo que revela una adecuada proporción entre los ingresos por ventas y la inversión en planta y equipo.



2. Impacto de Gastos Administrativos y de Ventas, referido como los gastos operacionales y administrativos que se deben incurrir para que la empresa funcione. Estos gastos pueden mermar fuertemente el crecimiento de una organización, por lo cual el modelo refiere que a menor valor de este indicador, menor es la probabilidad de quebrar en el futuro.
3. Endeudamiento del Activo, considerado como el nivel de autonomía financiera que tiene una empresa. Mientras menor sea este indicador, más solvencia financiera tiene. Este es el tercer indicador más relevante en la predicción de la supervivencia empresarial. Las organizaciones que tienen un alto impacto de gastos en administración y ventas pero un bajo endeudamiento del activo tienen muchas más posibilidades de seguir operando en el futuro que aquellas que no.

Como conclusión, los indicadores financieros que determinan la supervivencia de una empresa agroindustrial cuatro años en el futuro, según los resultados del modelo propuesto son: una rotación del activo fijo entre 0,48 y 4,7, un impacto de gastos en administración y ventas menor a 0,092 y un endeudamiento del activo menor a 0,79. De manera similar, los indicadores financieros más relevantes que vaticinan la quiebra de una empresa de la población objetivo son:

1. Liquidez corriente, referida como la capacidad que tiene la empresa de cubrir sus obligaciones en el corto plazo. Si este indicador es mayor a 1,6 (según el modelo propuesto), esto posiblemente indica un mal manejo de los activos, es decir, un exceso de liquidez poco productiva.
2. Apalancamiento, definido como el grado de utilización del propio patrimonio de la empresa. Si este indicador es mayor a 1, significa que la empresa está generando utilidades, caso contrario está a pérdida.
3. Apalancamiento financiero, que indica si es rentable o no el endeudamiento con terceros. En el caso de la población objetivo, para que la empresa sobreviva, este indicador debe ser superior a 3,6, caso contrario la probabilidad de quiebra es del 80 % en cuatro años.

Como conclusión se obtiene que los indicadores que determinan la quiebra de una empresa agroindustrial en la población de estudio, según el modelo propuesto son: una liquidez corriente mayor a 1,6, un apalancamiento menor a 1 y un apalancamiento financiero inferior a 3,6.

Finalmente, como trabajo futuro se pueden estudiar otras herramientas matemáticas para la construcción de esta clase de modelos de tal forma que se pueda aumentar su confiabilidad, así como también la incorporación de otras variables en el estudio. Por ejemplo, el modelo propuesto se basa únicamente en los indicadores financieros calculados para cada una de las empresas que componen la base de datos. No considera variables externas tales como la participación de mercado, efectos de las medidas micro y macro-económicas que se tomen en el país o en la provincia, entre otros. Sin embargo, a pesar de no considerar estos factores, el modelo cuenta con un nivel de confiabilidad aceptable comparado con otros modelos propuestos en la literatura reciente.



## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Johanna Rivadeneira y Ramiro Saltos: Conceptualización, Curación de los datos, y Análisis formal.

Johanna Rivadeneira, María Rivera y Raúl Carpio: Metodología.

Ramiro Saltos y Raúl Carpio: Supervisión y Validación, Redacción-correcciones.

Johanna Rivadeneira y María Rivera: Redacción del manuscrito original, edición y correcciones.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.



## REFERENCIAS

- [1] Waters, W. (2000). El desarrollo de las agroexportaciones en el Ecuador: la primera respuesta empresarial. En L. Martínez (Ed.), *Antología de estudios rurales* (pp. 291-306). FLACSO. <https://docplayer.es/41950425-El-desarrollo-de-las-agroexportaciones-en-el-ecuador-la-primer-respuesta-empresariap.html>
- [2] Sotomayor, J., Apolo, J. y Quispe, J. (2018). Estructura social y económica de la provincia de El Oro. En *La Provincia de El Oro: algunas consideraciones de los sectores productivos y empresariales*. Ediciones UTMACH.
- [3] Jaramillo, J. y Manguay, J. (2019). *Modelo de Monitoreo de Quiebras de Empresas mediante la integración del Modelo de Altman Z-Score con la Metodología de Gráficos de Control en el sector textil CIU C14* (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador. <http://200.12.169.19/handle/25000/20122/statistics>
- [4] Altman, E. I. (1968). Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. *The Journal of Finance*, 23 (4), 589-609. doi: <https://doi.org/10.2307/2978933>
- [5] Valencia, M., Tróchez, J., Vanegas, J. y Restrepo, J. (2016). Modelo para el análisis de la quiebra financiera en pymes agroindustriales antioqueñas. *Apuntes del CENES*, 35 (62), 147-168. <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0120-30532016000200006>
- [6] Agarwal, V. y Taffler, R. (2008). Comparing the performance of market-based and accounting-based bankruptcy prediction models. *Journal of Banking & Finance*, 32 (8), 1541-1551. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2007.07.014>
- [7] Altman, E. I., Haldeman, R. G. y Narayanan, P. (1977). ZETA™ analysis: A new model to identify bankruptcy risk of corporations. *Journal of Banking & Finance*, 1 (1), 29-54. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-4266\(77\)90017-6](https://doi.org/10.1016/0378-4266(77)90017-6)
- [8] Altman, E. I. y Hotchkiss, E. (2010). *Corporate Financial Distress and Bankruptcy* (Vol. 289). John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118267806.ch9>
- [9] Boritz, J. E., Kennedy, D. B. y Sun, J. Y. (2007). Predicting business failures in Canada. *Accounting Perspectives*, 6 (2), 141-165. doi: <https://doi.org/10.1506/G8T2-K05V-1850-52U4>
- [10] Jayasekera, R. (2018). Prediction of company failure: Past, present and promising directions for the future. *International Review of Financial Analysis*, 55, 196-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2017.08.009>
- [11] Morrison, D. G. (1969). On the interpretation of discriminant analysis. *Journal of Marketing Research*, 156-163. doi: <https://doi.org/10.2307/3149666>
- [12] Organización Internacional del Trabajo. (2020). *El COVID-19 y el mundo del trabajo: Repercusiones y respuestas* (1.ª ed.). <https://tinyurl.com/yaj6nan5>
- [13] CEPAL. (2020). *Informe Especial Covid-19 - América Latina y el Caribe ante la pandemia del COVID-19. Efectos económicos y sociales*. <https://tinyurl.com/ycemjtma>
- [14] Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *Respuestas del Covid-19 desde la ciencia, la innovación y el desarrollo productivo*. <https://tinyurl.com/yajvtph>
- [15] Dahik, A. (2020). *El Coronavirus: Respuestas Del Mundo Y Del Ecuador*. <https://tinyurl.com/y965m7c3>
- [16] Lucio, P. (2020). *Coronavirus: Acciones en el Mundo y Ecuador para salir adelante*. <https://www.usfq.edu.ec/sites/default/files/2020-04/koyuntura-express-7-abril-2020.pdf>
- [17] Decreto Ejecutivo N1061. (2020). <https://minka.presidencia.gob.ec/portal/usuarios/externos.jsf>
- [18] Decreto Ejecutivo N1056. (2020). <https://minka.presidencia.gob.ec/portal/usuarios/externos.jsf>
- [19] Montenegro, J. y Zambrano, L. (2020). *Coronavirus: La cuarentena liquidó a las pequeñas em-presas*. <https://tinyurl.com/ydb26qgm>
- [20] Romero, F., Melgarejo, Z. y Vera-Colina, M. (2015). Fracaso empresarial de las pequeñas y medianas empresas (pymes) en Colombia. *Suma de Negocios*, 6 (13), 29-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2015.08.003>
- [21] Romero, F. (2013). Alcances y limitaciones de los modelos de capacidad predictiva en el análisis del fracaso empresarial. *AD-minister*, (23), 45-70. <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-02792013000200004&script=sciabstract&tlng=es>



- [22] Paškevičius, A. y Jurgaityte, N. (2015). Reasons for bankruptcy of natural persons in Lithuania. *Ekonomika*, 94 (2), 144-160. doi: <https://doi.org/10.15388/Ekon.2015.2.8238>
- [23] López, F. y Pastor, I. (2015). Bankruptcy visualization and prediction using neural networks: A study of US commercial banks. *Expert Systems with Applications*, 42 (6), 2857-2869. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.025>
- [24] De Llano, P., Piñeiro, C. y Rodríguez, M. (2016). Predicción del fracaso empresarial: Una contribución a la síntesis de una teoría mediante el análisis comparativo de distintas técnicas de predicción. *Estudios de Economía*, 43 (2), 163-198. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-52862016000200001>
- [25] Rybárová, D., Braunová, M. y Jantošová, L. (2016). Analysis of the construction industry in the Slovak Republic by bankruptcy model. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 230, 298-306. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.09.038>
- [26] García-Marí, J., Sánchez-Vidal, J. y Tomaseti-Solano, E. (2016). Fracaso empresarial y efectos contagio. Un análisis espacial para España. *El trimestre económico*, 83 (330), 429-449. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31345267007>
- [27] Caro, N., Guardiola, M. y Ortiz, P. (2018). Árboles de clasificación como herramienta para pre- decir dificultades financieras en empresas Latinoamericanas a través de sus razones contables. *Contaduría y Administración*, 63 (1). doi: <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1148>
- [28] Kristóf, T. y Virág, M. (2020). A Comprehensive Review of Corporate Bankruptcy Prediction in Hungary. *Journal of Risk and Financial Management*, 13 (2), 35. doi: <https://doi.org/10.3390/jrfm13020035>
- [29] Depaz, C. y Lupaca, R. (2016). Origen, definición y modelos del fracaso empresarial: una revisión teórica. *Revista de Investigación Valor Contable*, 3 (1), 47-56. doi: <https://doi.org/10.17162/rivc.v3i1.1231>
- [30] Mures, M. y García, A. (2004). Factores determinantes del fracaso empresarial en Castilla y León. *Revista de Economía y Empresa*, 21 (51), 95-116. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1976597>
- [31] Camacho, G., Salazar, A. y León, C. (2013). *Modelo de estimación de quiebra en las empresas colombianas del sector textil y de confección* (Tesis de maestría). Colegio de Estudios Superiores de Administración. <http://hdl.handle.net/10726/1231>
- [32] Correa, A., Acosta, M. y González, A. (2003). La Insolvencia Empresarial: Un Análisis Empírico para la Pequeña y Mediana Empresa. *Revista de Contabilidad - Spanish Accounting Review*, 6 (12), 47-79. <https://revistas.um.es/rcsar/article/view/386811>
- [33] Rubio, M. (2008). Análisis del fracaso empresarial en Andalucía. Especial referencia a la edad de la empresa. *Cuadernos de Ciencias Económicas y Empresariales*, 1 (54), 35-56. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2856946>
- [34] Beaver, W. H. (1966). Financial ratios as predictors of failure. *Journal of accounting research*, 4, 71-111. doi: <https://doi.org/10.2307/2490171>
- [35] Ohlson, J. A. (1980). Financial ratios and the probabilistic prediction of bankruptcy. *Journal of accounting research*, 18 (1), 109-131. doi: <https://doi.org/10.2307/2490395>
- [36] Alaka, H. A., Oyedele, L. O., Owolabi, H. A., Kumar, V., Ajayi, S. O., Akinade, O. O. y Bilal, M. (2018). Systematic review of bankruptcy prediction models: Towards a framework for tool selection. *Expert Systems with Applications*, 94, 164-184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.10.040>
- [37] Balcaen, S. y Ooghe, H. (2006). 35 years of studies on business failure: An overview of the classic statistical methodologies and their related problems. *The British Accounting Review*, 38 (1), 63-93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bar.2005.09.001>
- [38] Hastie, T., Tibshirani, R. y Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>
- [39] James, G., Witten, D., Hastie, T. y Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1418-1>
- [40] Burges, C. J. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2 (2), 121-167. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1009715923555>



- [41] Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1 (1), 81-106. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00116251>
- [42] Blanco, A., Irimia, A. y Vázquez, M. (2016). Diseño de un modelo específico para la predicción de la quiebra de micro-entidades. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 22, 3-18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=233148815001>
- [43] Frydman, H., Altman, E. I. y Kao, D.-L. (1985). Introducing recursive partitioning for financial classification: the case of financial distress. *The Journal of Finance*, 40 (1), 269-291. doi: <https://doi.org/10.2307/2328060>
- [44] Gepp, A., Kumar, K. y Bhattacharya, S. (2010). Business failure prediction using decision trees. *Journal of Forecasting*, 29 (6), 536-555. doi: <https://doi.org/10.1002/for.1153>
- [45] Heo, J. y Yang, J. Y. (2014). AdaBoost based bankruptcy forecasting of Korean construction companies. *Applied soft computing*, 24, 494-499. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.08.009>
- [46] Kim, S. Y. y Upneja, A. (2014). Predicting restaurant financial distress using decision tree and AdaBoosted decision tree models. *Economic Modelling*, 36, 354-362. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.10.005>
- [47] Quirós, S. y Redondo, D. (2018). *Predicción de fragilidad financiera para sociedades anónimas colombianas mediante la aplicación de las técnicas Logit, Árboles de clasificación y boosting* (Tesis de maestría). Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/9830>
- [48] Shi, Y. y Li, X. (2019). A bibliometric study on intelligent techniques of bankruptcy prediction for corporate firms. *Heliyon*, 5 (12), e02997. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02997>
- [49] Morales, D. (2015). *Análisis de un modelo estadístico para evaluar la probabilidad de quiebra empresarial* (Tesis de Maestría). UEEs.
- [50] Chávez, N., Córdova, C. y Alvarado, P. (2017). Medición del riesgo de la gestión financiera de las compañías con la utilización del análisis discriminante: el caso de las industrias de la región 7 del Ecuador. *Revista Publicando*, 4 (13), 90-107. <https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/779>
- [51] Cueva, D., Cortes, S., Tapia, R., Tabi, W., Torres, J., Maza, C., Uyaguari, K. y González, M. (2017). Financial fragility of companies and estimation of a probabilistic model LOGIT and PROBIT: Ecuadorian case. *12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1-6. doi: <https://doi.org/10.23919/CISTI.2017.7975927>
- [52] Pérez, C. (2007). *Minería de datos: técnicas y herramientas*. Editorial Paraninfo.
- [53] Rokach, L. y Maimon, O. Z. (2015). *Data mining with decision trees: theory and applications* (2.ª ed.). World scientific.
- [54] Zurita, G. (2010). *Probabilidad y Estadística Fundamentos y Aplicaciones*. Ediciones del Instituto de Ciencias Matemáticas ESPOL, Guayaquil-Ecuador.
- [55] Guyon, I., Gunn, S., Nikravesh, M. y Zadeh, L. A. (2008). *Feature extraction: Foundations and Applications* (Vol. 207). Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-35488-8>
- [56] More, A. (2016). *Survey of resampling techniques for improving classification performance in unbalanced datasets*. doi: 10.48550/ARXIV.1608.06048
- [57] Ayús, A., Villegas, G., Castro, M. y Bocanegra, J. (2018). Modelación del riesgo de insolvencia en empresas del sector salud empleando modelos Logit. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 26, 128-145. <https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2757>
- [58] Svabova, L., Durica, M. y Podhorska, I. (2018). Prediction of default of small companies in the Slovak Republic. *Economics and Culture*, 15 (1), 88-95. doi: <https://doi.org/10.2478/jec-2018-0010>
- [59] Durica, M., Frnda, J. y Svabova, L. (2019). Decision tree based model of business failure prediction for Polish companies. *Oeconomia Copernicana*, 10 (3), 453-469. doi: <https://doi.org/10.24136/oc.2019.022>
- [60] Durica, M., Valaskova, K. y Janoskova, K. (2019). Logit business failure prediction in V4 countries. *Engineering Management in Production and Services*, 11 (4), 54-64. doi: <https://doi.org/10.2478/emj-2019-0033>
- [61] Korol, T. (2019). Dynamic bankruptcy prediction models for European enterprises. *Journal of Risk and Financial Management*, 12 (4), 185. doi: <https://doi.org/10.3390/jrfm12040185>



- [62] Begović, S. y Bonić, L. (2020). DEVELOPING A MODEL TO PREDICT CORPORATE BANKRUPTCY USING DECISION TREE IN THE REPUBLIC OF SERBIA. *Facta Universitatis, Series: Economics and Organization*, 17 (2), 127-139. doi: <https://doi.org/10.22190/FUEO191118010V>
- [63] Shrivastava, S., Jeyanthi, P. y Singh, S. (2020). Failure prediction of Indian Banks using SMOTE, Lasso regression, bagging and boosting. *Cogent Economics & Finance*, 8 (1), 1729569. doi: <https://doi.org/10.1080/23322039.2020.1729569>
- [64] Zoričák, M., Gnip, P., Drotár, P. y Gazda, V. (2020). Bankruptcy prediction for small-and medium-sized companies using severely imbalanced datasets. *Economic Modelling*, 84, 165-176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.04.003>

## Proceso editorial

Por favor, revise estas directrices para preparar su manuscrito, pues todos los manuscritos enviados a la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías deben cumplirlas. Estas directrices le ayudarán a estar seguro que su manuscrito está completo y que el proceso editorial se conducirá lo más ágil posible.

Asegúrese de revisar el Enfoque y Alcance de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías así como nuestros Criterios de Publicación para conocer lo que publicamos.

Lea nuestras Políticas Editoriales, incluyendo las Políticas de Sección, Proceso de Evaluación por Pares, Frecuencia de Publicación, Política de Acceso Abierto, y Requisitos de Autoría.

Todos los autores deben cumplir con los requerimientos de autoría establecidos de la política de Requisitos de Autoría de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías. Aquellos que hayan contribuido al trabajo pero que no cumplan estos requisitos puede ser mencionados en los Agradecimientos.

El Autor para correspondencia debe ingresar su identificador único ORCID al momento del envío del manuscrito (óptimamente, todos los doctores del manuscrito deberían contar su propio ORCID). +Info sobre ORCID.

Los nombres de los autores se publicarán exactamente como aparecen en el manuscrito. Por favor revise la información con cuidado para asegurarse de que es correcta.

**ACI Avances en Ciencias e Ingenierías** recibe manuscritos que presentan información original y la evaluación de los manuscritos se realiza a través de un proceso de revisión por pares (*peer-reviewed*) que toma en consideración una determinación objetiva de la robustez científica y metodológica, no en factores subjetivos como "impacto" o "interés".

Revisar los criterios de publicación de la revista y nuestras políticas del proceso de evaluación por pares en el siguiente enlace:

<http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/about/editorialPolicies>

Para la organización de los artículos y comunicaciones, la revista se divide internamente en tres secciones:

Sección A: Ciencias Exactas y Físicas

Sección B: Ciencias Biológicas y Ambientales

Sección C: Ingenierías.

ACI Avances en Ciencias e Ingenierías se adhiere a los lineamientos de autoría de la ICMJE. Revisa más detalles sobre los requisitos de autoría en el siguiente enlace: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/about/editorialPolicies>

### DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

Por favor, revise estas directrices para preparar su manuscrito, pues todos los manuscritos enviados a la revista **ACI Avances en Ciencias e Ingenierías** deben cumplirlas. Estas directrices le ayudarán a estar seguro que su manuscrito está completo y que el proceso editorial se conducirá lo más ágil posible. Asegúrese de revisar el Enfoque y Alcance de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías así como nuestros Criterios de Publicación, nuestras Políticas Editoriales, incluyendo las Políticas de Sección, Proceso de Evaluación por Pares, Frecuencia de Publicación, Política de Acceso Abierto, y Requisitos de Autoría en el siguiente enlace: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/about>

La revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías publica contribuciones en español e inglés, todas son sujetas a un proceso de revisión por pares, y se pueden enmarcar en una de las siguientes categorías:

**Artículo:** Un manuscrito que reporta conclusiones substanciales para el entendimiento de un problema, debiendo ser actualizado y exhaustivo en sus análisis y conclusiones, e incluir el conjunto completo de datos empíricos que soportan las ideas expuestas (se incluyen revisiones sistemáticas de la literatura y meta-análisis). Estos manuscritos usualmente tienen más de 2000 palabras y no hay límite máximo de palabras, figuras o tablas. Estos manuscritos deben tener divisiones con subtítulos (ver sección Organización del manuscrito).

**Comunicación:** Corresponde a un reporte conciso de un tema de investigación específico destinado a la presentación rápida de resultados novedosos pero de interés puntual. El tipo de información reportada es flexible, y puede incluir manuscritos que prueban nuevas metodologías, que describen observaciones de historia natural, o que presentan datos empíricos puntuales y novedosos. Estos manuscritos usualmente tienen menos de 2000 palabras y pueden incluir máximo tres tablas y tres figuras. El texto de estos manuscritos no tiene divisiones (ver sección Organización del manuscrito).

Ciertos manuscritos podrían ser reclasificados entre Artículos y Comunicaciones a discreción de los Editores de la revista y con el permiso del autor.

## PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

**Formato de archivo.** Para el envío inicial, los manuscritos pueden estar en cualquiera de los siguientes formatos: DOC, DOCX., RTF, o PDF.

Si utiliza Mendeley u otro paquete para sus referencias, debe transformar los campos de Mendeley en texto simple.

Se recomienda que los manuscritos que contengan ecuaciones sean producidos en LaTeX. Manuscritos producidos en LaTeX deben ser enviados en formato PDF (si el manuscrito es aceptado, se le solicitará el archivo \*.TEX).

**Tipo de letra.** Times de 12 puntos

Los encabezados deben ir en mayúsculas y centrados (aquellos descritos en la sección Organización del manuscrito).

En caso de incluir subtítulos adicionales a los encabezados, se los colocará en negrillas y con estilo de oración (primera letra en mayúscula y el resto en minúsculas).

El resto del texto no debe tener ningún tipo de formato adicional, excepto colocar palabras en negrillas y en cursiva. No usar tabulaciones, diferentes tamaños de letra, numeración o estilos para subtítulos, etc.

**Diseño de página.** Alineación a la izquierda (no justificado), textos a espacio seguido, hojas tamaño A4, márgenes de 2,5 cm a cada lado.

**Encabezados.** Los encabezados principales se especifican en la sección Organización del manuscrito. Adicionalmente puede haber hasta dos niveles más de subtítulos.

**Números de página.** Todas las páginas deben estar numeradas de manera secuencial en la esquina inferior derecha.

**Notas al pie.** No se debe colocar notas al pie, pues toda la información debe estar en el texto principal o en las referencias.

**Abreviaciones.** Defina las abreviaciones en la primera vez que las usa en el texto (incl. acrónimos, acortamientos, abreviaturas, y siglas).

Mantenga al mínimo el número de abreviaciones. No utilice abreviaciones no estandarizadas al menos que las utilice más de tres veces en el texto.

**Formato de referencias.** Siga el estilo APA (6a edición). Revise las directrices para citas y referencias.

**Ecuaciones.** Manuscritos que contengan ecuaciones se recomienda sean producidos con LaTeX.

Utilizar MathType para generar y desplegar ecuaciones, caso contrario también es adecuado Equation Editor.

Numere las ecuaciones al lado derecho entre paréntesis. Por ejemplo:  $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$  (1)

No utilice MathType o Equation Editor para colocar signos de variables, símbolos griegos, u operadores matemáticos en el texto general del manuscrito. En estos casos, inserte los símbolos como texto normal con los valores Unicode (hex) correctos.

**Lenguaje.** Escriba el texto y las leyendas de tablas y figuras de manera clara y sin ambigüedades, enfocado en una audiencia internacional. Siga las normas de escritura académica establecidas en el campo al cual corresponde el manuscrito.

Manuscritos en Inglés pueden usar Inglés Americano o Inglés Británico pero de manera consistente.

Manuscritos en Español deben seguir las recomendaciones de la Real Academia de la Lengua Española (con excepción del uso de tilde en "et al.>").

**Medidas, fechas y hora.** Use el Sistema Internacional de Unidades. Puede usar unidades específicas a la disciplina que no son SI solo cuando estas han sido ampliamente adoptadas en dicho campo científico. Coloque un espacio entre el número y el símbolo de la unidad, no coloque un punto al final del símbolo de la unidad, ejemplo: 4 km

Las fechas deben indicarse como Día Mes Año. No abrevie el mes. Ejemplo: 12 de febrero 2015, 14 January 2013

La hora debe seguir el formato de 24 horas, ejemplo: 13h00

**Numeración y porcentajes.** Escribir los números del 1 al 9 en palabras, a menos que sean unidades.

No incluya un espacio entre el valor y el símbolo de porcentaje, ejemplo: 45%

**Coordenadas geográficas.** Expresé las coordenadas geográficas en grados decimales. No reporte coordenadas en grados-minutos-segundos o en UTM. Incluya el sistema de referencia geodésico.

Use N/S para denotar latitud y E/W para denotar longitud, independiente el idioma del manuscrito.

### Nomenclatura

**Nombres científicos de especies** se escriben en cursiva. Escriba el género y la especie de manera completa en el título del manuscrito y la primera vez que mencione al organismo en el texto, abstract, resumen, y leyendas de tablas y figuras. Así mismo, escriba el género completo cada vez que lo mencione por primera ocasión en un párrafo o cuando inicie una oración. Luego de la primera mención en el párrafo se puede abreviar género utilizando sólo la primera letra.

**Genes, mutaciones, genotipos o alelos** se escriben en cursiva. Utilice el nombre recomendado consultando la base de datos apropiada de nomenclatura genética. Usualmente es recomendable indicar los sinónimos para el gen la primera vez que aparece en el texto. Los prefijos de genes tales como los usados para oncogenes o la localización celular deben mostrarse en caracteres de tipo romano (e.g., v-fes, c-MYC).

**Compuestos químicos** deben tener un nombre sistemático correcto, siguiendo los convenios de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Una vez que se ha proporcionado el nombre sistemático, es aceptable definir un nombre común o un acrónimo y para esto ser utilizado para el resto del texto, tablas y figuras. Los nombres generados por ChemDraw u otro software a partir de fórmulas gráficas introducidas deben ser verificados para guiones adicionales y otras desviaciones de las convenciones de la IUPAC. Los nombres sistemáticos o genéricos deben usarse para productos comerciales en lugar de nombres patentados o de marca registrada.

**Sustancias farmacéuticas** deben mencionarse bajo la Denominación Común Internacional (DCI), o INN (International Nonproprietary Name)

**Evidencia en estudios biológicos.** Si su manuscrito utiliza datos de organismos biológicos, se debe declarar explícitamente la disponibilidad de la evidencia bajo una de las siguientes opciones:

Especímenes voucher depositados en colecciones científicas abiertas al público (es necesario indicar el nombre de la colección y los números de catálogo de los especímenes).

Secuencias de aminoácidos o genes depositadas en GenBank o un repositorio equivalente (indicando el nombre del repositorio y los códigos de acceso).

Fotografías, grabaciones de audio o vídeo enviadas como parte de las figuras o como material suplementario del manuscrito.

Fotografías, grabaciones de audio o vídeo que han sido depositadas en un repositorio institucional o público (por ejemplo, Macaulay Library, o xeno-canto), para las cuales es necesario indicar el nombre del repositorio y citar el registro usando el formato de citación APA para recursos electrónicos e incluirlo en la sección de Referencias.

La colección de datos de organismos biológicos debe realizarse de acuerdo a la legislación nacional e internacional vigente. Es imprescindible que los permisos de investigación y colección otorgados por las autoridades competentes se indiquen en la sección de Agradecimientos del manuscrito.

**Datos y códigos.** Si su manuscrito se basa en análisis de datos sin procesar (raw data) o códigos, estos deben estar a disposición de los revisores. Por favor, envíelos por una de las siguientes vías:

- Como enlaces a un repositorio donde los datos son accesibles y citados en el manuscrito. Este repositorio puede ser institucional, comercial o de acceso abierto (por ejemplo, figshare o Dryad)
- Como archivos de Material Suplementario.

Si el manuscrito es aceptado, los datos deberán hacerse públicos de tal forma que los datos estén disponibles públicamente para todos los investigadores interesados.

Sin embargo, entendemos que pueden haber restricciones éticas y legales que prohíban la apertura de los datos, por lo que cuando exista legislación o marcos éticos locales que llamen a evitar o limitar la liberación de datos, los autores deben dejar estas limitaciones claras al momento del envío de su manuscrito (en la sección de Comentarios para el editor/a).

Posibles excepciones a la disponibilidad de datos públicos incluyen: datos que no pueden ponerse a disposición del público pues comprometería la confidencialidad o la privacidad del participante; o datos que de ponerse a disposición pública podrían presentar alguna amenaza, como revelar las ubicaciones de depósitos fósiles, especies en peligro de extinción, etc.

Si los datos sin procesar o los códigos pertenecen a terceros y Ud. no tiene permiso para publicarlos, debe presentar la fuente y la verificación del permiso de uso de los datos así como la Información de contacto donde un investigador interesado tendría que aplicar para obtener acceso a los datos pertinentes, en la sección Materiales y Métodos. Sin embargo, tenga en cuenta que los autores son responsables de asegurarse de que los datos estarán disponibles a partir de la publicación, de la misma manera que los autores obtuvieron los datos.

## ORGANIZACIÓN DEL MANUSCRITO

1. La primera página del manuscrito debe incluir las siguientes partes, cada una separada por una línea:

- **Título del artículo:** En negrillas, con máximo 300 caracteres, debe ser específico, descriptivo, conciso y comprensible para los lectores fuera del campo. Sólo la primera palabra y los nombres propios empiezan con mayúsculas. Puede dividirse en título y subtítulo, separados por el signo de puntuación dos puntos (:). Para revisiones sistemáticas o meta-análisis, el subtítulo debe incluir el diseño del estudio.
- **Título abreviado:** En negrillas, con máximo 100 caracteres, describe el tópico de estudio. Sólo la primera palabra y los nombres propios empiezan con mayúsculas.
- **Nombres de los Autores:** Presente los nombres de los autores tanto en la primera página del manuscrito

como en la plataforma de la revista. Para cada autor debe incluir el primer nombre, el segundo nombre (o su inicial, si la usa) y los apellidos. Los autores se separan entre sí por comas (no colocar y, and, &).

- **Afiliaciones:** Cada autor de la lista debe tener una afiliación. La afiliación debe incluir al menos el nombre de la organización o universidad y su ubicación. Las afiliaciones se asociarán con los autores por medio de superíndices numéricos. Múltiples afiliaciones por autor se separarán en líneas diferentes y con superíndices propios. Se marcará al autor responsable del manuscrito con un asterisco junto a los superíndices, asociado con la frase "Autor para Correspondencia / Corresponding Author, e-mail:" seguido por el correo electrónico. Si todos los autores comparten la misma afiliación o si hay un solo autor no usar superíndices numéricos. Si hay un solo autor, no incluir la frase "Autor Principal / Corresponding Author"
- **Título en idioma alternativo:** Si su manuscrito es en Español, el título alternativo es la traducción en Inglés, y viceversa.
- **Abstract:** En Inglés, redactado como un párrafo continuo de máximo 400 palabras. Detalla brevemente los principales objetivos del estudio; explica cómo se realizó el estudio, incluyendo cualquier organismo modelo utilizado, pero sin entrar en detalles metodológicos; resume los resultados más importantes y su significado. No debe incluir citas bibliográficas ni abreviaciones y no debe estar separado en párrafos.
- **Keywords:** Máximo 10 palabras o grupos de palabras en Inglés. Deben ser diferentes a lo que aparece en el título del manuscrito.
- **Resumen:** Es la traducción al Español del Abstract, y tiene sus mismas características.
- **Palabras clave:** Máximo 10 palabras o grupos de palabras en Español. Deben ser diferentes a lo que aparece en el título del manuscrito.
- Se puede incluir un tercer resumen en Portugués, Francés, Italiano, Alemán u otra lengua, si lo considera necesario.

2. Desde la siguiente página se presentarán el texto organizado por encabezados, luego las tablas y las figuras del manuscrito. La organización dependerá del tipo de contribución. Se sugiere usar una organización según el método científico, por ejemplo:

#### Organización de un manuscrito sometido

##### como **Artículo**

Introducción  
Materiales y métodos  
Resultados  
Discusión  
Agradecimientos  
Referencias  
Contribuciones de los autores  
Tablas  
Figuras

#### Organización de un manuscrito sometido

##### como **Comunicación**

Texto (sin divisiones)  
Agradecimientos  
Referencias  
Contribuciones de los autores  
Tablas  
Figuras

**Otras secciones pueden ser:** revisión de literatura, conclusiones, recomendaciones. La estructura del artículo será revisado por y evaluado el/los editor(es) y los revisores.

3. En los **Agradecimientos** se incluye:

- Declaración explícita de las fuentes de financiamiento que permitieron el desarrollo del trabajo.
- Los detalles de los permisos o autorizaciones para el desarrollo de la investigación y las instituciones que los emitieron.
- Aquellos que hayan contribuido al trabajo pero que no cumplan con los requisitos de autoría pueden ser mencionados en los Agradecimientos con una descripción de sus contribuciones.
- Los autores son responsables de asegurarse que toda persona nombrada en los agradecimientos está de acuerdo con eso.

4. La sección de **Contribuciones de los Autores** es necesaria cuando hay más de un autor. Se debe describir la contribución de cada uno de los autores para el desarrollo del artículo de manera explícita pero sucinta. La contribución puede ser:

- concepción de la investigación;
- diseño de la metodología;
- curación de datos para la investigación;
- administración del proyecto;
- adquisición, análisis o interpretación de los datos, incluyendo las labores de campo, laboratorio, experimentales, estadísticas, o el soporte técnico;
- adquisición de fondos;
- provisión de recursos, incl. equipos, materiales, reactivos, entre otros;
- desarrollo de software;
- supervisión o tutoría;
- validación y verificación de los resultados;
- redacción del manuscrito;
- revisión crítica del contenido intelectual del manuscrito;
- producción de tablas, figuras o material complementario.

#### **Ejemplo:**

María Álvarez y Pedro Pérez concibieron la investigación; Juan Norton y María Álvarez desarrollaron la metodología y realizaron el trabajo de campo; Juan Norton, Jonathan Castro y Pedro Pérez diseñaron el modelo y corrieron los análisis; Jonathan Castro y María Álvarez realizaron los análisis moleculares; Pedro Pérez proveyó reactivos; Juan Norton y Jonathan Castro redactaron el manuscrito; Juan Norton, Jonathan Castro, Pedro Pérez, María Álvarez y Pedro Pérez revisaron críticamente el contenido intelectual del manuscrito; Juan Norton tomó las fotografías de las figuras 1 y 3.

Recuerde que la autoría del manuscrito debe seguir los lineamientos de autoría de la ICMJE.

#### **5. Conflicto de interés**

El/los autor/es deben declarar la existencia de cualquier tipo de conflicto de interés en la publicación de la obra. Este apartado debe incluirse dentro del manuscrito antes de las referencias del mismo. La revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías sugiere una breve *Guía internacional sobre el Cdl*. Asimismo, la revista considera conflicto de interés (Cdl) cuando el autor o varios autores, durante los flujos de trabajo (redacción, revisión por pares, producción o publicación) mantienen vínculos con actividades o relaciones que puedan influir su juicio de forma inapropiada y así llevar a cabo conductas de investigación poco éticas que culminan con las malas prácticas académicas. Las situaciones más comunes en el ámbito del Cdl tienen que ver con relaciones financieras, parentescos, relaciones personales y rivalidad académica.

Al no declarar la Cdl, el manuscrito podrá ser rechazado por el comité editorial. Si un Cdl no revelado es publicado después del flujo editorial de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, el comité editorial tomará medidas de conformidad con la normativa del código de conducta del Committee on Publication Ethics y emitirá un comunicado público en el OJS.

#### **DIRECTRICES PARA REFERENCIAS**

- En el texto, usar citas numeradas colocadas al final de la oración entre corchetes. Los números de citas diferentes deben separarse por comas, a menos que sea un rango continuo de citas en cuyo caso se usará un guion. Ejemplos: [10] [10,15,22] [12-20].

- Numerar las citas secuencialmente según aparecen en el texto (NO en orden alfabético de las referencias).
- Citar los trabajos sin publicar, en preparación o en proceso de revisión como “(datos sin publicar)”; precedido por las iniciales y apellido del autor. Por ejemplo: A. Suárez (datos sin publicar)
- Se debe evitar las citas de información proveniente de correos electrónicos, cartas o documentos enviados entre colaboradores, pero si es absolutamente necesario, se deben referir como “com. pers.” cuando corresponden a comentarios sin respaldo de correspondencia, y como “in litt.” cuando hubo correspondencia escrita. En ambos casos, precedidos por las iniciales y apellido del colaborador y seguida del año. Por ejemplo: (J. Muñoz in litt. 2009) (J. Muñoz com. pers. 2010)
- Subtitular la lista de referencias como Referencias (no Bibliografía o Literatura Citada).
- Ordenar la lista de Referencias de acuerdo al orden secuencial que aparecen en el texto del manuscrito (NO en orden alfabético).
- El formato de las referencias debe seguir el estilo APA (6a Edición). Este estilo arma cada referencia con los siguientes componentes generales:
- Autores. (Año). Título de la obra. Datos de publicación.
- Ejemplos:

**Artículo en revista impresa:**

Andersson, L. G. (1945). Batrachians from East Ecuador, collected 1937, 1938 by Wm. Clarke-Macintyre and Rolf Blomberg. *Arkiv för Zoologi* (Stockholm), 37A(2), 1–88.

**Artículo en revista con URL:**

Ahlman, R. (2016). Green-winged Teal *Anas crecca carolinensis*, first record for Ecuador. *Cotinga*, 38, 40. Recuperado de <http://www.neotropicalbirdclub.org/wpcontent/downloads/C38online/Ahlman.pdf>

**Artículo en revista con DOI:**

Jacobsen, D., Schultz, R., & Encalada, A. (1997). Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biology*, 38(2), 247–261. doi: <http://www.dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00210.x>

**Libro impreso:**

Diamond, J. (2006). *The Third Chimpanzee: The evolution and future of the human animal*. New York: Harper Perennial.

**Libro con URL:**

Suber, P. (2102). *Open Access. The MIT Press Essential Knowledge Series*. Cambridge: The MIT Press. Recuperado de <http://bit.ly/oa-book>

**Libro con editores con DOI:**

Walsh, S. J., & Mena, C. F. (Eds.). (2012). *Science and conservation in the Galapagos Islands: frameworks & perspectives*. Vol. 1. New York: Springer Science & Business Media. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-5794-7>

**Capítulo de un libro impreso:**

Minogue, K. (2014). Does the idea of “self-interest” explain the character of modern free societies? En P. Lucio Paredes & S. Oleas (Eds.), *The Complexity of Liberty: Selected essays from the Mont Pelerin Society Special Meeting in Galápagos June 2013*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.

**Capítulo de un libro con DOI:**

Maldonado, M., Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega, H., Encalada, A. C., Carvajal-Vallejos, F. M., Rivadeneira, J. F., Acosta, F., Jacobsen, D., Crespo, A. & Rivera-Rondón, C. A. (2011). Biodiversity in aquatic systems of the Tropical Andes. En S. K. Herzog, R. Martinez, P. M. Jorgensen, & H. Tiessen (Eds.), *Climate change and biodiversity in the tropical Andes* (pp. 276–294). Paris/São José dos Campos: Inter-American

Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). Recuperado de <http://www.iai.int/wp-content/uploads/2014/06/book.pdf>

#### Disertación:

Brandt, M. (2003). Influencia del erizo lapicero (*Eucidaris thouarsii*) en la estructura de la comunidad submarina de la cara norte del Islote Caamaño, Galápagos (Tesis de Licenciatura). Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito.

#### Enciclopedia en línea (cita global de toda la enciclopedia):

Frost, D. R. (2016). Amphibian Species of the World: an Online Reference (Version 6.0). American Museum of Natural History. Recuperado el 5 de febrero de 2017 de <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>

#### Ficha en enciclopedia en línea con URL:

Frost, D. R. (2016) *Nymphargus buenaventura* (Cisneros-Heredia and Yáñez-Muñoz, 2007). En Amphibian Species of the World: an Online Reference (Version 6.0). American Museum of Natural History. Recuperado el 5 de febrero de 2017 de <https://web.archive.org/web/20170206001235/http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/Amphibia/Anura/Centrolenidae/Centroleninae/Nymphargus/Nymphargus-buenaventura>

#### Noticia en periódico en línea:

En el limbo futuro de telescopio en Arecibo (2017, enero 30). *El Universo*. Recuperado de <https://web.archive.org/web/20170206002227/http://www.eluniverso.com/vida-estilo/2017/01/30/nota/6023449/limbo-futuro-telescopio-arecibo>

- Separar cada autor con una coma, y colocar "&" antes del último autor. Las iniciales de los nombres de los autores van después de los apellidos. Indicar todos los autores y no usar et al.
- Incluir el número de la revista entre paréntesis luego del volumen, si está disponible.
- Separar el rango de páginas por un guion n (–). No confundir esto con un guion simple (-).
- Colocar el DOI (Digital Object Identifier) en todas las referencias que lo tengan disponible, precedido por "doi:". El DOI debe estar en formato de enlace largo: <http://doi.org/xxx.xxx.xxx>
- No colocar un punto después del DOI .
- Si un DOI no está disponible (debe hacer una búsqueda exhaustiva), colocar un enlace estable hacia el sitio web de la revista (por ejemplo, el enlace estable de JSTOR) o un repositorio institucional (por ejemplo, *Archive.org*), con el texto "Recuperado de". No colocar enlaces a páginas web personales, servicios no-permanentes de carga/descarga de archivos.
- Para incluir la dirección de Internet o URL de una página que podría cambiar en el futuro debe primero respaldar dicho URL en un archivo digital que resguarden dicha referencia para el futuro. Para esto puede usar Wayback Machine de Internet Archive <https://archive.org/web/> o el sistema *archive.is* <http://archive.is>. Esto debe ser hecho en particular para páginas que provienen de enciclopedias en línea, periódico de noticias, páginas personales o institucionales.
- Cuando se hace referencia a publicaciones en línea que tienen fechas específicas (como los blogs), se debe colocar (Año, Mes día) y no solo el año.
- Colocar Anónimo cuando no exista un autor determinado.
- Colocar n/f cuando no se conozca el año de publicación.
- Citar manuscritos aceptados para publicación como "in press" solamente si ya tiene la información de publicación del artículo (número de la revista y páginas). Artículos que no tengan esta información son considerados aceptados, pero no en prensa y serán citados como "datos en proceso de publicación" dentro del texto, pero no se incluirán en las Referencias Bibliográficas.

- No se aceptará literatura gris entre las referencias bibliográficas. La literatura gris corresponde a documentos que no están disponible por canales bibliográficos regulares (como bibliotecas o bases de datos en línea), y usualmente corresponde a reportes técnicos, informes y otros trabajos sin publicar. De ser en extremo necesario, su uso será autorizado por el Editor del manuscrito. Sin embargo, es preferible considerar la opción de colocar esa información como “datos sin publicar” o “comunicación personal”. De ser aprobada su inclusión como referencia, una copia del documento de literatura gris debe ser depositada en la Biblioteca de la USFQ.

### DIRECTRICES PARA TABLAS

- Citar tablas en el texto con numerales arábigos en el orden que aparecen. Ejemplos: “Tabla 1” “Tablas 1–3”
- Colocar las tablas luego del texto, cada una iniciará en su propia página.
- Las tablas deben alcanzar en una hoja A4 con márgenes de 2,5 cm, pudiendo esta orientarse de manera vertical y horizontal, según sea mejor para la apariencia de la tabla.
- Cada tabla debe tener su propia leyenda explicativa, la cual debe ser comprensible sin hacer referencia al texto y será colocada antes de la tabla. Cada leyenda empezará con el número de la tabla. Ejemplo:

TABLA 1. Comparación de los efectos...

- Incluir unidades en los encabezados de columnas y filas entre paréntesis.
- De ser necesarias, colocar notas al pie de la tabla enlazadas con los siguientes símbolos en el mismo orden: \*, †, ‡, §, ¶. Sin embargo, es preferible colocar cualquier aspecto importante como parte de la leyenda.

### DIRECTRICES PARA FIGURAS

- Avances en Ciencias e Ingenierías publica sin costo figuras a color, siempre y cuando se relacionen directamente con el manuscrito.
- El término Figura hace referencia a todo tipo de imágenes, incluyendo gráficos, dibujos, fotografías y mapas.
- Citar figuras en el texto con numerales arábigos en el orden que aparecen usando la abreviatura “Fig”. Ejemplo: “Figs. 1–3”
- En el envío inicial, las figuras deben ir en baja resolución, siempre que sean legibles, e incluidas en el archivo de texto del manuscrito, luego de las tablas. Sin embargo, una vez aceptado el manuscrito, las figuras deben ser enviadas en resolución alta (mínimo 300 dpi, recomendable 600 dpi) en uno de los siguientes formatos: \*.tiff, \*.eps, \*.emf, \*.bmp, como documentos separados del archivo de texto.
- Cada figura irá en su propia página y precedida por su leyenda. La leyenda será autoexplicativa, debiendo ser comprensible sin hacer referencia al texto y será colocada antes de la figura. Cada leyenda empezará con el número de la figura. Ejemplo:

FIGURA 1. Mapa de la región...

- Figuras dibujadas con líneas (line artwork) se preparan mejor en programas gráficos basados en vectores (e.g. Corel Draw, Illustrator, Freehand, Inkscape, ArcView). Por lo que es recomendable presentarlas en formato EPS. No use líneas de un ancho menor a 0.3 puntos.
- Las fotografías en blanco y negro, fotografías a color y mapas y gráficos realizados en programas basados en raster (e.g. Photoshop, Gimp) es recomendable que sean enviadas en formato \*.tiff. Para archivos \*.tiff, note que la resolución es irrelevante, es importante el tamaño en píxeles, por lo que recomendamos un tamaño mínimo de 1000 píxeles.
- Todo manuscrito que incluya un sitio de estudio debe incluir un mapa del mismo. Dicha figura debe: (1) ir rodeada de un borde con líneas delgadas, (2) estar geográficamente referenciado con algunas marcas de latitud y longitud y con un pequeño mapa insertado que indique la localización general, (3) tener una barra

- de escala en km, (4) tener una flecha que indique el Norte (no usar una rosa de los vientos), y (5) tener líneas de referencia como límites de países, carreteras, ríos o elevaciones, extendiéndose hasta el borde.
- Para todas las figuras use líneas con un grosor entre 0.3-1.0 puntos y tamaños de letra de 12 puntos.
- Todas las letras y textos usados dentro de las figuras deben ir en Times.
- Si es que desea agregar varias imágenes como una sola figura compuesta o crear una lámina con varias imágenes que ocupe toda una página, no se preocupe por el diseño de la misma. En el primer envío del manuscrito no debe armar dicha figura, sino que debe colocar la leyenda de la figura y luego pegar cada imagen separada. Cada imagen debe tener su propia denominación a través de literales en mayúsculas (ej. A) colocados en la esquina inferior derecha de cada imagen. Cuando el manuscrito avance en el proceso de publicación, el equipo de diseño de la revista se ocupará de armar y diseñar sus imágenes compuestas o láminas.
- Recuerde que las figuras serán ajustadas al tamaño de una o dos columnas en una página A4, por lo que todos los elementos de la imagen deben ser lo suficientemente grandes para ser legibles después de la reducción de tamaño, en especial los textos internos y las líneas.
- Eliminar espacios blancos o vacíos innecesarios alrededor de las figuras.
- Incluir los créditos respectivos de la figura en la leyenda. Recuerde que es responsabilidad del autor tener los permisos necesarios para poder reproducir la figura bajo la Licencia Creative Commons de la revista.
- Si usa un mapa como una figura, debe citar la fuente del mapa. De ser posible, use mapas que sean de uso público o que permitan su uso irrestricto. Si usa Google Earth o Google Maps, debe seguir los lineamientos de atribución de Google.

### DIRECTRICES PARA MATERIAL SUPLEMENTARIO

- Los autores pueden publicar material suplementario junto a su manuscrito. Este material corresponde a información que complementa o provee soporte al manuscrito publicado y que se podrá descargar como archivos independientes.
- Diferentes tipos de información pueden ser incluidos como material suplementario: textos extensos sobre metodologías, bases de datos, archivos de vídeo, de audio, fotográficos y otros respaldos audiovisuales, entre otros.
- Los Materiales Suplementarios reemplazan a los Apéndices.
- Estos materiales serán citados al final del manuscrito con enlaces al portal de la revista donde estarán a disposición del público de manera gratuita.
- Si el material suplementario está compuesto por texto, debe ser presentado con el mismo formato general requerido para el manuscrito.
- De ser necesario, citar archivos de Material Suplementario en el texto siguiente el siguiente formato: Fig. S1, Tabla S1, Datos S1, Vídeos S1, Artículo S1, Audio S1. Donde la S indica que es material suplementario, y el número indica la secuencia numérica de dicho material.
- Para maximizar compatibilidad, sugerimos que envíe su Material Suplementario en los siguientes formatos: Imágenes en JPG, EPS o PNG; tablas en XLS o XLSX; textos en PDF; vídeos en AVI, MOV o MP4, y archivos de audio en WAV o MP3.
- Sets grandes de datos suplementarios se pueden presentar en formato comprimido (zip o tar).

### DIRECTRICES SOBRE NOMENCLATURA BIOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE NUEVAS ESPECIES

- ACI Avances en Ciencias e Ingenierías cumple con los requisitos establecidos por los diferentes códigos de nomenclatura sobre la validez para la descripción de nuevas especies y la disponibilidad de los artículos en

línea como trabajos publicados, incluyendo el International Code of Zoological Nomenclature y el International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants.

- La revista se encargará de obtener los registros y el GUID (LSID) en Zoobank, IPNI y Mycobanl o Index Fungorum.
- Todos los artículos y comunicaciones de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías están siendo depositados en Internet Archive [Archive.org](http://Archive.org) y en el repositorio USFQ.
- Los autores deben adherirse a los lineamientos establecidos por los códigos internacionales de nomenclatura respectiva al organismo tratado.
- Las descripciones de especies nuevas de seres vivos o los análisis taxonómicos deben seguir lo establecido en el respectivo código de nomenclatura.
- Cuando un taxón biológico es mencionado por primera vez, se debe escribir su nombre común (como nombre propio) seguido por su nombre científico en cursiva, por ejemplo: Oso de Anteojos *Tremarctos ornatus*. No colocar el nombre científico o el nombre común entre paréntesis. Más adelante en el manuscrito se puede usar solamente el nombre científico o el nombre común.
- Si el manuscrito corresponde a un análisis taxonómico o si existe controversia en relación a la nomenclatura del organismo estudiado, presentar el nombre del taxón seguido por los datos de autoría taxonómica al mencionarlo por primera. Los datos de autoría taxonómica de nombres zoológicos son los apellidos de los descriptores y el año de descripción, separados por una coma, ejemplo: *Grallaria ridgelyi* Krabbe et al., 1999. La autoría taxonómica de nombres botánicos debe seguir lo especificado en The International Plant Names Index. Colocar la autoría taxonómica entre paréntesis solo si existió un cambio a nivel del género. Cuando hay tres o más descriptores utilizar "et al." sin cursivas.

### ENVÍO DEL MANUSCRITO

1. Todos los manuscritos sometidos a la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías deben ser enviados a través del portal en línea. En la sección Envíos en Línea podrán registrarse y crear un Nuevo Envío.
2. Si manuscrito tiene más de un autor, por favor incluya la información de todos los autores en el sistema (incluyendo sus correos electrónicos).
3. Al momento de someter su manuscrito, debe indicar el nombre, institución y correo electrónico de por lo menos cuatro posibles revisores que podrían hacer la evaluación de pares académicos de su manuscrito. Estas personas deben ser capaces de proveer una evaluación objetiva de su manuscrito, por lo que no pueden pertenecer a la institución de ninguno de los autores, ni estar involucrados en el estudio de manera directa o indirecta. El equipo editorial de la revista se reserva el derecho de seleccionar a los revisores sugeridos al momento del envío del manuscrito o de buscar a otros revisores.
4. Para el envío inicial, el manuscrito debe consistir de un solo archivo que incluya: el texto, las tablas y figuras. Las tablas y las figuras deben ir luego del texto (no intercaladas en el texto). Cada tabla y figura irá en su propia página y estará precedida por su leyenda. En caso de enviar Material Suplementario, deberá ser enviado como archivos separados y subidos al momento del envío inicial.
5. Si es que algunas de las figuras de su manuscrito es una figura compuesta por varias imágenes, no debe armar dicha figura sino que debe colocar la leyenda de la figura y luego pegar cada imagen separada. Cada imagen debe tener su propia denominación a través de literales en mayúsculas (ej. 5A) colocados en la esquina inferior derecha de cada imagen.
6. La revista mantendrá comunicación directa con el autor para correspondencia, quien es el responsable de someter el manuscrito, recibir las revisiones, enviar el manuscrito revisado, aprobar la corrección de originales y las pruebas de imprenta.

## LISTA DE COMPROBACIÓN PARA LA PREPARACIÓN DE ENVÍOS

Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

- El estudio presenta los resultados de investigación científica primaria.
- El envío no ha sido publicado previamente ni se ha sometido a consideración en otra publicación.
 

**NOTA:** ACI Avances en Ciencias e Ingenierías apoya a los autores que desean compartir su trabajo de manera temprana a través de archivos/repositorios de prepublicaciones (preprint servers/repositorios), incluyendo arXiv, bioRxiv, figshare, PeerJ Preprints, SSRN, Zenodo, entre otros. De igual forma consideramos manuscritos que han salido únicamente como tesis en repositorios institucionales o trabajos que han sido presentados en actas de conferencias.
- Todas las metodologías de análisis, tanto experimentales, estadísticas y otras, se han realizado bajo estándares técnicos de alta calidad y se describen en suficiente detalle para garantizar su reproducibilidad.
- Todas las conclusiones se pasan en la interpretación justificada y apropiada de los resultados. Los autores deben evitar exagerar el alcance de sus conclusiones y si bien pueden discutir el posible impacto de sus resultados deben identificar sus ideas como hipótesis y no como conclusiones.
- Los textos están escritos de una manera entendible y clara, teniendo un correcto uso del lenguaje. Los manuscritos aceptados por la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías pasan por una corrección del lenguaje y estilo, sin embargo errores en el uso del lenguaje pueden nublar el correcto entendimiento del contenido y provocar evaluaciones negativas por parte los revisores.
- El estudio debe cumplir con todos los estándares aplicables de ética en la experimentación e integridad científica. Todos los estudios relacionados con seres vivos, líneas celulares, muestreo de campo o que tengan potenciales implicaciones de bioseguridad deben contar con las aprobaciones de un comité de ética institucional / IRB, así como con todos los permisos legales requeridos por el país donde se realiza la investigación.
- El manuscrito sigue estándares utilizados por la comunidad de su disciplina científica y garantiza la disponibilidad de los datos. La disponibilidad de los datos se puede realizar colocándolos como material suplementario del manuscrito o depositándolos en repositorios digitales confiables.
- Todos los autores han participado en el desarrollo del manuscrito, lo han leído y están de acuerdo con su envío a la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, y de ser aceptado, están de acuerdo que sea publicado según a la *Política de Acceso Abierto de la revista*.
- Todos los autores cumplen con los requisitos de autoría detallados en la *Política de Autoría*.
- El envío inicial del manuscrito consiste de un solo archivo, que incluye: el texto, las tablas y figuras en el mismo archivo. Las tablas y las figuras van luego del texto (no intercalarlas con el texto). Cada tabla y figura está en su propia página y está precedida por su leyenda. En caso de enviar Material Suplementario, se lo envía como archivos separados.
- Si es que hay figuras compuesta por varias imágenes, se colocó la leyenda de la figura y luego se pegó cada imagen separada. Cada imagen tiene su propia denominación a través de literales en mayúsculas (ej. A) colocados en la esquina inferior derecha de cada imagen.
- Siempre que sea posible, se proporcionan DOI o direcciones URL estables para las referencias.

## AVISO DE DERECHOS DE AUTOR/A

**Los autores que publiquen en la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías aceptan los siguientes términos:**

- La revista está considerada como una publicación de acceso abierto (*open access*) regida bajo los parámetros de la Licencia de reconocimiento de Creative Commons.

- Los autores conservarán sus derechos de autor y garantizarán a la revista el derecho de primera publicación de su obra, la cual estará simultáneamente sujeta a la [Licencia de reconocimiento de Creative Commons](#) que permite a terceros compartir la obra siempre que se indique su autor y su primera publicación esta revista.
- Los autores podrán adoptar otros acuerdos de licencia no exclusiva de distribución de la versión de la obra publicada, pudiendo de esa forma publicarla en un volumen monográfico o reproducirla de otras formas, siempre que se indique la publicación inicial en esta revista.
- Se permite y se recomienda a los autores difundir su obra a través de Internet:
- Antes del envío a la revista, los autores pueden depositar el manuscrito en archivos/repositorios de pre-publicaciones (preprint servers/repositories), incluyendo arXiv, bioRxiv, figshare, PeerJ Preprints, SSRN, entre otros, lo cual puede producir intercambios interesantes y aumentar las citas de la obra publicada (Véase [El efecto del acceso abierto](#)).
- Después del envío, se recomienda que los autores depositen su artículo en su repositorio institucional, página web personal, o red social científica (como Zenodo, ResearchGate o Academia.edu).

### **DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD**

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines.

**aci**  
avances  
en ciencias e  
ingenierías



**USFQ**  
**PRESS**